الجزء الأوّل

الفيزياء

1

أنماط الحركة والاتّزان

1.1 أرسطو والحركة

2.1 مفهوم جاليليو في القصور الذّاتيّ

3.1 الكتلة ـ مقياس القصور الذّاتيّ

4.1 القوّة المحصّلة

5.1 قاعدة الاتّزان

6.1 قوة الدّعم

7.1 الاتّزان التّحريكيّ (الاتّزان الدّيناميكيّ)

8.1 قوة الاحتكاك

9.1 السرعتان؛ القياسيّة والمتّجهة

10.1 التّسارع

■ قبل أكثر من ألفي عام، فهم علماء اليونان بعض الفيزياء كما نفهمها اليوم. لقد كان لديهم معرفة جيدة عن فيزياء الأجسام الطّافية وبعض خصائص الضَّوء، ولكنهم وقعوا في حالة من الإرباك فيما يتعلق بالحركة. لقد كان أرسطو أحد الأوائل الذين درسوا الحركة جدّيًّا، حيث كان أحد الفلاسفة المميزين في اليونان القديمة. وقد حاول توضيح الحركة عن طريق تصنيفها.

1.1 أرسطو والحركة

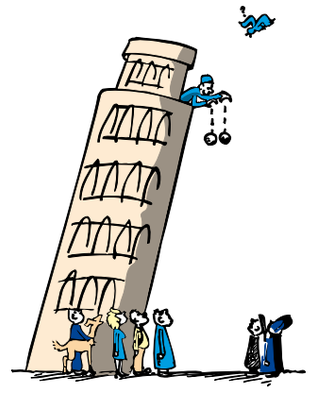
قسّم أرسطو *(Aristotle)* الحركة إلى نوعين: *طبيعية وغير طبيعية (عنيفة)*. فالحركة الطّبيعيّة مرتبطة بطبيعة الأجسام، مثل جسيمات خفيفة كدخان متصاعد، وأجسام ثقيلة كسقوط صخرة. كما أنّ حركة النجوم المشاهدة في ليلة مظلمة هي حركة طبيعية كذلك. ومن جهة أخرى، فإنّ الحركة غير الطبيعية تنتج عن قوى الدفع أو السّحب لجسم ما. لقد اعتقد أرسطو أنّ القوانين الطّبيعيّة يمكن فهمها بالتّفكير المنطقيّ.

لقد أصرّ أرسطو على شيئين، وبقيا دون تحقق لأكثر من ألفي عام: الأول هو أنّ الأجسام الثقيلة، بالضرورة، تسقط أسرع من الأجسام الخفيفة. والآخر هو أنّ الأجسام، بالضرورة، تقع تحت تأثير قوى لتبقى في حالة حركة.

لقد عُكست هذه الأفكار تمامًا في القرن السّادس عشر من قبل جاليليو الذي قام بإجراء تجربة أعظم من المنطق السّائد في ذلك الوقت لاكتشاف القوانين الطبيعية. فقد نقض جاليليو فكرة أنّ الأجسام الثقيلة تسقط أسرع من الأجسام الخفيفة في تجربة برج بيزا المائل المشهورة. وجد من خلال إسقاط أجسام مختلفة الوزن – مستثنيًا تأثير مقاومة الهواء – أنّ هذه الأجسام تسقط على الأرض بالتّزامن.

لمعلوماتك

■ بدلًا من قراءة فصول هذا الكتاب بتأنٍّ، جرِّب القراءة بسرعة ولكن أكثر من مرة. إنك تتعلم الفيزياء بشكل أفضل عندما تعيد القراءة بشكل متكرر. ففي كلّ مرة سيتولد لديك فهم أفضل. وإن لم تستطع فهم بعض الأشياء مباشرة فلا تقلق، فالمهم هو الاستمرار في القراءة وإعادتها.



الشّكل 1.1

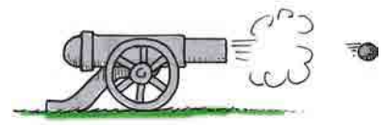
تجربة جاليليو المشهورة.

■ نقطة فحص

هل من الحصافة التفكير بأنّ الأرض كما هي في الموقع المناسب، وأنّ القوّة المحركة لها لا تُصدّق كما تصوّر ذلك أرسطو. وكذلك أنّ الأرض في حالة سكون في هذا الكون؟ *(فكّر، وصغ إجابتك، ثم تفحص تفكيرك أدناه.)*

هل كانت هذه إجابتك؟

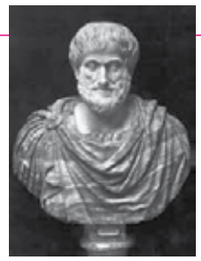
إنّ الفطرة السليمة نسبية تبعًا للوقت والمكان. وتعدّ رؤى أرسطو منطقية ومتوافقة مع المشاهدات اليومية. وما لم تصبح ملمًّا بالفيزياء الواردة في هذا الكتاب، فإنّ تصورات أرسطو فيما يتعلق بالحركة تتفق والفطرة السليمة *(مقبولة من العديد من أُناس غير متعلمين في هذه الأيام)*. ولكن، كلما تزودت بمعلومات جديدة حول قوانين الطبيعة، فإنك غالبًا ما تجد الفطرة السّليمة ترتقي فوق تفكير أرسطو طاليس.



الشّكل 2.1

هل من قوة تجعل قذيفة المدفع تستمر في الحركة بعد أن تغادر فوهة المدفع؟

أرسطو طاليس (Aristotle) (322-384 قبل الميلاد)



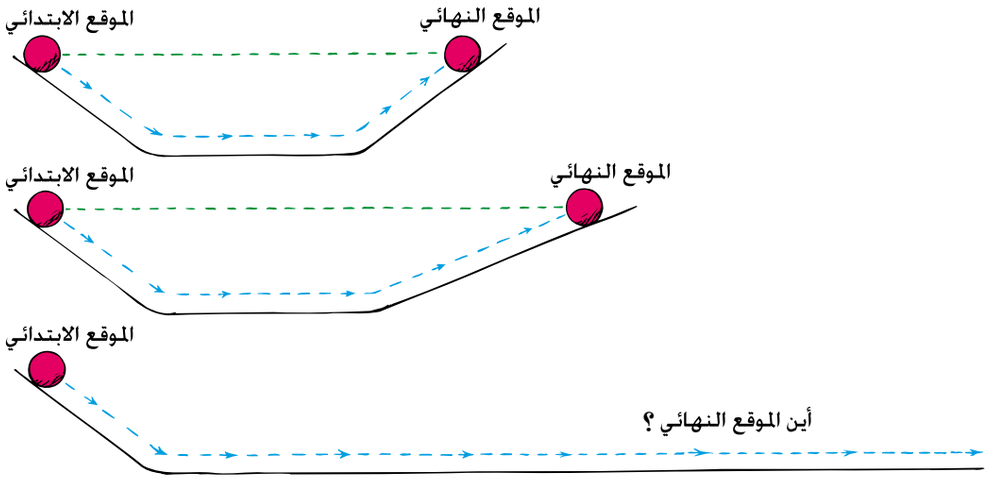
كان أرسطو أبرز فيلسوف علمي وتربويّ في عصره. ولد في اليونان، وهو ابن الطبيب الشّخصيّ لملك مكدونيا. دخل أرسطو أكاديمية أفلاطون في سنّ السّابعة عشرة حيث عمل وتعلم مدة عشرين سنة، حتى وفاة أفلاطون. وقد أصبح بعد ذلك معلّمًا لابن الإسكندر الكبير، ثمّ أسس مدرسته الخاصة بعد ذلك بثماني سنوات. كان هدف أرسطو تنظيم المعرفة المتوافرة في حينه، كما نظم إقليدس الهندسة. لقد قدم أرسطو ملاحظات حرجة، وجمع عينات، كما أنه جمع المعلومات المتوافرة عن العالم الفيزيائي (الكون) جميعها، ولخّصها وصنّفها. ولقد أصبح نهجه المنظم منهجًا علميًّا متبعًا في الغرب. وبعد وفاته، حفظت مدوناته في كهف قريب من منزله، ثم بيعت إلى مكتبة الإسكندرية. وبعد ذلك طُمس نتاجه العلمي في معظم أوربا في فترة عصورها المظلمة، كما أنّ أعماله الثقافية فقدت ونسيت، ثم أعيدت في عهد الإمبراطوريتين البيزنطية والإسلامية. ثمَّ أعيد إدخال بعض كتبه إلى أوربا خلال القرنين الحادي عشر والثاني عشر، وأعيدت ترجمتها إلى اللاتينية. قامت الكنيسة ذات القوّة المهيمنة سياسيًّا وثقافيًّا في أوربا الغربية بحظر أعمال أرسطو في البداية، ولكنها وافقت على إدماجها في تعاليم الكنيسة بعد ذلك.

2.1 مفهوم جاليليو في القصور الذّاتيّ

اختبر جاليليو (Galileo) فكرته الثورية بالتجربة. لقد لاحظ أنه على السّطح المائل، وبمجرد أن يتحرك جسم ما، فإنه يستمر في حركته ما لم يكن هناك تأثير لقوى أخرى. وبعبارة سهلة، فإنّ **القوّة** هي دفع أو سحب. فضلا عن أنّ القوّة (Force) ضرورية لكي يبدأ الجسم حركته، فقد وجد جاليليو أنه ما دام هناك حركة، فإنه لا ضرورة للقوة لاستمرارها . إلا ضرورة وجود القوّة للتغلب على الاحتكاك (هناك تفصيل حول الاحتكاك في الجزء 8.1). وفي حالة غياب الاحتكاك، فإنّ الجسم المتحرك لا يحتاج إلى قوة للاستمرار في حركته. لقد علّل جاليليو أنّ الكرة المتحركة على سطح أفقي تتحرك إلى الأبد في غياب الاحتكاك. وتتحرك الكرة تلقائيًّا من خلال **قصورها الذّاتيّ (Inertia)**.

لقد كانت هذه بداية العلم الحديث؛ فبالتجربة وليس بالتأمل الفلسفي تُختبر الحقيقة.

الشّكل 3.1
حركة كرة على سطوح مختلفة.



الشّكل 4.1
كرة تتدحرج أسفل سطح مائل على الجهة اليسرى تؤدي إلى التدحرج إلى الارتفاع نفسه من جهة اليمين. الكرة تتدحرج مسافة أكبر كلما قلت زاوية ميل السّطح إلى اليمين.

جاليليو جاليلي (Galileo Galilei)(1564-1642)

ولد جاليليو في مدينة بيزا (إيطاليا) في السنة نفسها التي ولد فيها شكسبير، وتوفي فيها مايكل أنجلو. درس جاليليو الطب في جامعة بيزا، ثم تحول إلى دراسة الرياضيات. ولقد كان له اهتمام مبكر في الحركة بحيث أصبح يحمل أفكارًا مختلفة عمن حوله ممن تبنوا أفكار أرسطو للأجسام الساقطة. ومن ثمَّ غادر بيزا للتدريس في جامعة بادوا، وأصبح مؤيدًا لنظرية الفلكي البولوني كوبرنيكوس الجديدة في النظام الشمسي. لقد كان جاليليو من أوائل الذين بنوا تلسكوبًا، وأول من وجهه ليلا في اتجاه السماء، حيث اكتشف وجود جبال على القمر، كما اكتشف أقمار كوكب المشتري. وبسبب نشر مكتشفاته باللغة الإيطالية بدلًا من اللاتينية، كما هو متوقع من عالم حسن السمعة، وبسبب اختراع الصحافة المطبوعة أيضًا، فقد أصبحت أفكاره في متناول العديد من الناس. ولكن بعدئذٍ، أصبح منبوذًا من الكنيسة، ومنع من التدريس ومن تبني توجهات كوبرنيكوس. حجز جاليليو نفسه عن الناس قرابة خمسة عشر عامًا، بعد ذلك، نشر بجرأة ملاحظاته واستنتاجاته التي كانت تتعارض مع مبدأ الكنيسة. وكانت النتيجة أنه وجد نفسه مذنبًا. ثم أجبر أن يتبرأ من اكتشافاته. وبعد ذلك أصبح رجلا مسنًّا، عليل الجسد، محبطًا. وحكم عليه بالإقامة المنزلية الجبرية الدائمة. وعلى الرغم من ذلك، أكمل دراساته في الحركة. وقد هُرِّبت كتاباته خارج إيطاليا، حيث تم نشرها في هولندا. لقد تضررت عينا جاليليو مبكرًا بسبب مشاهدته للشمس من خلال التلسكوب، مما سبب له الإصابة بالعمى في 74 من عمره، ثمّ توفي بعد أربع سنوات.

لمعلوماتك

■ ولد كلّ من جاليليو ووليام شكسبير في العام 1564 نفسه. وفي عام 1632 نشر جاليليو أول معالجاته الرياضية في الحركة، بعد ثلاثة عشر عامًا من بلوغ الرحّالة جبل بلايموث.

■ **نقطة فحص**

الكرة التي تتدحرج على سطح مستوٍ تنتهي بالوقوف. كيف استطاع أرسطو تفسير هذا السلوك؟ كيف فسره جاليليو؟ كيف يمكنك تفسيره؟

هل كانت هذه إجابتك؟

كما ذكرنا، فكّر في أسئلة اختبر معلوماتك في هذا الكتاب ***قبل*** أن تقرأ الإجابات. عندما تعُد إجاباتك أولا تجد نفسك قد تعلمت أكثر – أكثر كثيرًا!

يقول أرسطو: من المحتمل أن تقف الكرة لأنها تسعى إلى حالة السكون الطبيعية. أما جاليليو فيقول: من المحتمل أن تتغلب قوة الاحتكاك على توجه الكرة الطبيعي للاستمرار في الحركة – هذا الاحتكاك يتغلب على القصور الذّاتيّ للكرة ويجعلها تقف. يمكنك فقط الإجابة عن آخر سؤال!

■ 3.1 الكتلة – مقياس القصور الذّاتيّ

كلّ جسم مادي له قصور ذاتي. كيف يعتمد هذا القصور على كمية المادة – كلما زادت كمية المادة زاد القصور الذّاتيّ. وللدلالة على كمية المادة لجسم ما، نستخدم عبارة الكتلة – كلما زادت كتلة جسم ما – أي كلما زادت كمية المادة – زاد قصورها الذّاتيّ. إنّ **الكتلة** (Mass) هي مقياس القصور الذّاتيّ لجسم مادي.

وبلغة دارجة، فإن الوزن يعني **(Weight)** الكتلة. لذا، نقول إنّ جسمًا ما له كمية أكثر من المادة إذا كان أثقل. هذا لأننا اعتدنا قياس المادة من خلال جذب الأرض لها. ولكن مفهوم الكتلة أساسي أكثر من الوزن؛ فهي كمية أساسية، وهي تغيب تمامًا عن انتباه معظم الناس. ومع ذلك، فإننا نشير أحيانًا إلى الوزن بشكل غير مقصود على أنه القصور الذّاتيّ. فعلى سبيل المثال، إذا حاولت معرفة أيّ من جسمين صغيرين أثقل من الآخر، فإنك ربما تهز كلّا منهما بيديك ذهابًا وإيابًا بطريقة ما بدلا من رفعهما. وبهذا، يمكنك أن تقرر أيّ الجسمين تواجه صعوبة أكبر في تحريكه. وقد تتساءل: أيهما أكبر مقاومة *لتغيير* حركته؟ إنّ ما تقوم به في الحقيقة أنّك تقارن بين القصور الذّاتيّ للجسمين.

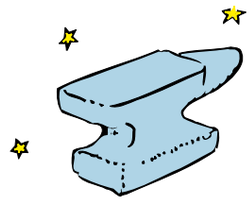
من السهل الخلط بين فكرتي الكتلة والوزن. ونستطيع أن نعرف كلًّا منهما كالتالي:

***الكتلة: كمية المادة المتجمعة في جسم ما. وهي كذلك مقياس للقصور الذّاتيّ أو الإبطاء الذي يظهره الجسم استجابة لأيّ جهد لتحريكه أو إيقافه، أو تغيير حالة حركته بأيّ شكل.**

الوزن: القوّة المؤثرة في جسم ما بسبب الجاذبية.

الوحدة المعيارية للكتلة هي **الكيلوجرام (Kilogram)**، اختصارًا كجم. أما الوزن فيقاس بوحدات القوّة (مثل الباوندات). إنّ الوحدة العلمية للقوة هي **النيوتن**، وتختصر N، التي سنستخدمها في هذا الكتاب. واختصارها يكتب بحرف كبير نسبة إلى شخص ما.

يتناسب كلّ من الكتلة والوزن معًا طرديًا* . إذا ضاعفنا كتلة جسم ما فإنّ وزنه يتضاعف. وإذا أنقصنا



الشّكل 5.1

السندان في الفضاء الخارجي وراء الشّمس على سبيل المثال يمكن أن يكون عديم الوزن، ولكن له كتلة.

* يتناسبان طرديًا معًا، يعني انهما يرتبطان معًا بشكل مباشر. فإذا غيّرت أحدهما فإنّ الآخر يتغير بشكل متناسب. ثابت التناسب هو *g*، التّسارع الناجْ عن الجاذبية. كما سنرى لاحقًا، الوزن= *mg* (الكتلة x التّسارع الناجْ عن الجاذبية) حيث 1كجم (9.8م/ث^2)=9.8 نيوتن. وسنقوم في الفصل الخامس بتطوير تعريف الوزن ليصبح قوة جذب الجسم المؤثرة في ركيزة. (مثال: التأثير في ميزان زنبركي/ نابضي).

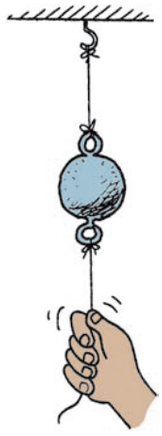
الكتلة إلى النصف فإنّ الوزن يقل إلى النصف أيضًا. وبسبب ذلك، فإنّ الكتلة والوزن غالبًا ما يتم استبدال أحدهما بالآخر. كذلك، فإنّ هناك لبسا بين الكتلة والوزن أحيانًا؛ لأنّ من المألوف تقدير كمية المادة في جسم ما (كتلته) بمقدار انجذابه إلى الأرض (وزنه). أما الكتلة فلا تعتمد على الجاذبية. إنّ الجاذبية على سطح القمر، على سبيل المثال، هي أقل كثيرًا منها على الأرض، وأنّ وزنك على سطح القمر أقلّ كثيرًا من وزنك على سطح الأرض. أما كتلتك فهي نفسها في كلا الموضعين.

لا تخلط بين الكتلة والحجم (Volume). عندما نفكر في جسم له كتلة كبيرة فإننا غالبًا ما نفكر في جسم كبير. إنّ كبر حجم جسم ليس بالضرورة طريقة جيدة لتحديد كتلته. أيّ السيارتين تحريكها أسهل من الأخرى: سيارة لعبة تعمل على بطارية أم سيارة ضخمة فارهة؟ وهكذا نجد أن الكتلة ليست وزنًا ولا حجما.

وفيما يلي مثال مناسب للتمييز بين الكتلة والوزن: كرة ثقيلة معلقة بسلك كما في الشّكل 7.1. ينقطع السّلك العلوي عندما يُسحب السّلك السفلي بقوة تزداد تدريجيّا. في حين ينقطع السّلك السفلي عندما يهز بشكل مفاجئ. أيّ الحالتين السّابقتين توضح وزن الكرة، وأيهما توضح كتلتها؟ لاحظ أنّ السّلك العلوي فقط هو الذي يتحمل وزن الكرة. وهكذا، عندما يُسحب السّلك السفلي تدريجيّا فإنّ الشّدّ الناتج عن السّحب ينتقل إلى السّلك العلوي. وعليه، فإنّ مجموع الشّدّ في السّلك العلوي هو عبارة عن قوة سحب مضاف إليها وزن الكرة. وينقطع السّلك العلوي عند الوصول إلى نقطة القطع. ولكن، عندما يهز السّلك السفلي بشكل مفاجئ، فإنّ كتلة الكرة – تميل إلى البقاء في حالة سكون. لذا فإنها تكون مسؤولة عن القطع في السّلك السفلي.

الشّكل 6.1

يجد رائد الفضاء في الفضاء الخارجي صعوبة في هز السّندان العديم الوزن كما هو على الأرض. إذا كانت كتلة السّندان أكبر من كتلته، فأيهما يهز أكثر السّندان أم رائد الفضاء؟



الشّكل 7.1

لماذا تقطع الزيادةُ البطيئة المتتابعة في القوّة المؤثرة نحو الأسفل الحبلَ المتصل مع الكرة من أعلى، في حين تقطع الزيادةُ المفاجئة في القوّة الحبلَ المتصل مع الكرة من أسفل؟

الشّكل 8.1

لماذا لا يسبب الضرب بالمطرقة الأذى لها؟

نقطة فحص

1. هل لقالب حديديّ كتلته 2 كجم قصور ذاتيّ ضعف ما لقالب حديديّ كتلته 1كجم؟ ضعف كتلته؟ ضعف حجمه؟ ضعف وزنه عندما يوزنان في المكان نفسه؟
2. هل لقالب حديديّ كتلته 2 كجم قصور ذاتيّ ضعف ما لعنقود من الموز كتلته 1 كجم؟ ضعف كتلته؟ ضعف حجمه؟ ضعف وزنه عندما يوزنان في المكان نفسه؟
3. كيف تتغير كتلة سبيكة ذهبيّة بتغيّر المكان؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم للأسئلة جميعها: فقالب الحديد الذي كتلته 2 كجم له ضعف عدد الذرات. لذا له ضعف الكمية من المادة، أي ضعف الكتلة وكذلك ضعف الوزن. كلا القالبين من المادة نفسها. ولهذا، فإنّ القالب الذي كتلته 2 كجم له ضعف الحجم.
2. لكيلوجرامين من *أيّ شيء* ضعف القصور الذّاتيّ، وكذلك ضعف كتلة كيلو جرام واحد. ولأنّ الكتلة والوزن يتناسبان طرديّا في المكان نفسه، فإنّ وزن كيلوجرامين من شيء ما هو ضعف وزن كيلوجرام واحد من الشيء نفسه. وما عدا الحجم، يكون الجواب للأسئلة جميعها نعم. إنّ الحجم والكتلة يتناسبان معًا فقط في حالة أن يكون نوع المادة هو نفسه؛ أي في حالة أن يكون لهما الكثافة نفسها).(الكثافة هي الكتلة/ الحجم، كما سنشرح في الفصل الخامس.) الحديد أكثف كثيرًا من الموز. وهكذا، فإنّ كيلوجرامين من الحديد تشغل حجمًا أقلّ من حجم كيلوجرام واحد من الموز.
3. ليست على الإطلاق! تتكون من عدد الذرات نفسه بغض النظر عن الموقع. وعلى الرغم من أنّ الوزن يمكن أن يختلف باختلاف الموقع، إلا أن لها الكتلة نفسها في أي مكان. وهذا يبين لماذا نفضل استخدام الكتلة بدلا من الوزن في الدراسات العلمية.

كيلوجرام واحد يزن 9.8 نيوتن

إنّ حقيبة من أيّ مادة كتلتها كيلوجرام واحد على سطح الأرض تزن 9.8 نيوتن. أما بعيدًا عن سطح الأرض حيث قوة الجاذبية أقل (على سطح القمر مثلا) فإنّ وزن الحقيبة يكون أقلّ.

وما عدا الحالات التي تكون الدقة فيها ضرورية، فإننا نقرب 9.8 إلى 10. وهكذا، فإنّ كيلوجراما واحدا من جسم ما على سطح الأرض يزن 10 نيوتن. إذا كنت تعرف الكتلة بالكيلوجرام وتريد الوزن بالنيوتن، فإنك تضرب عدد الكيلو جرامات في الرقم 10. أمّا إذا كنت تعرف الوزن بالنيوتن، فاقسم على 10 لتجد الكتلة بالكيلوجرامات. وكما ذُكر سابقًا، فإنّ الكتلة والوزن يتناسبان معًا طرديًا.

الشّكل 9.1

1كجم من المسامير يزن 9.8 نيوتن، وهذا يساوي 2.2 باوند.

4.1 القوّة المحصّلة

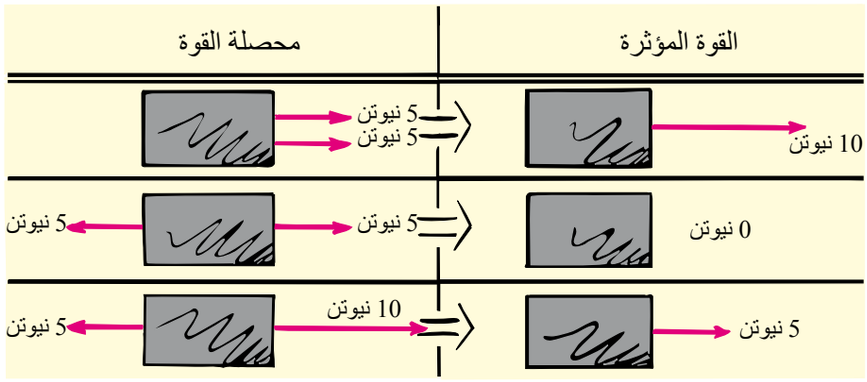
بعبارة بسيطة، القوّة عبارة عن دفع أو سحب. إنّ الأجسام لا تزيد سرعتها ولا تقللها، ولا تغيّر اتجاهها إلا بتأثير قوة. وعندما نقول قوة، فإننا نقصد بذلك القوّة الكلية أو القوّة المحصّلة المؤثرة في جسم ما. وعلى الأغلب هناك أكثر من قوة مؤثرة. فمثلًا عند قذف كرة البيسبول، فإنّ القوى المؤثرة فيها هي الجاذبية، والاحتكاك مع الهواء، وقوة الدفع المؤثرة فيها من العضلات. لذا، فإنّ محصلة القوى المؤثرة في الكرة هي محصلة هذه القوى مجتمعة. وهي محصلة القوى التي تعمل على تغيير حالة حركة الجسم.

فمثلًا، نفترض أنك سحبت صندوقًا بقوة 5 نيوتن (أكثر قليلًا من باوند واحد). إذا قام صديقك بسحب الصندوق نفسه معك، وأثر بقوة 5 نيوتن أيضًا وفي الاتجاه نفسه فإنّ القوّة المحصّلة على الصّندوق عندئذٍ تكون 10 نيوتن. أمّا إذا سحب صديقك الصّندوق نفسه بالقوّة نفسها ولكن في الاتجاه المعاكس، فإنّ القوّة المحصّلة على الصّندوق هي صفر. والآن، إذا قمت بزيادة قوة السّحب إلى 10 نيوتن، وسحب صديقك الصّندوق بقوة 5 نيوتن في الاتجاه المعاكس، فإنّ القوّة المحصّلة تكون 5 نيوتن في اتجاه تأثير قوتك. وهذا واضح في الشّكل 10.1.

القوى في الشّكل 10.1 موضحة بالأسهم. القوى كميات متجهة. **والكمية المتّجهة (Vector Quantity)** لها مقدار (كمية) وكذلك اتجاه (في أي اتجاه). وإذا تمّ تمثيل الكمية المتّجهة بسهم، فإنّ طول السهم يمثل المقدار (الكمية)، في حين يمثل اتجاهُ السهم اتجاهَ الكمية المتّجهة. ويسمى هذا السهم **متجها** (ستجد تفصيلا أكثر فيما يتعلق بالمتجهات في الفصل القادم وكذلك في الملحق ج *في العلوم الفيزيائية المفاهيمية، كتاب التمارين*).

العلاقة بين الكيلوجرام والباوند هي أنّ 1 كجم يزن 2.2 باوند على سطح الأرض. (هذا يعني أنّ 1 باوند يساوي 4.45 نيوتن).

إنّ محصلة القوّة صفر على جسم ما لاتعني أنّ الجسم يجب أن يكون ساكنًا ولكن حالة حركته تبقى دون تغيير. يمكن أن يكون ساكنًا أو متحركًا بانتظام على خطّ مستقيم.



الشّكل 10.1

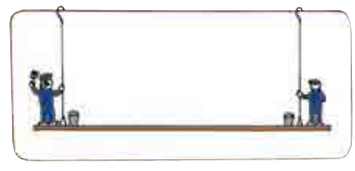
محصلة القوّة.

مقالة شخصية

عندما كنت في المدرسة الثانوية نصحني محام بعدم التسجيل في صفوف العلوم والرياضيات، وأن أركز بدلًا من ذلك على مواهبي الفنيّة الواضحة. لقد أخذت بنصيحته. وبعدها بدأت أهتم بسلسلة الرسوم الهزلية وبالملاكمة. ومع ذلك لم أنجح في أيّ من المجالين وبعد أن أنهيت مدة خدمتي العسكرية، جربت حظي في الرسم الزيتي حيث قادني شتاء بوستن البارد نحو الجنوب إلى ميامي في فلوريدا. وقد كان هذا في سن السادسة والعشرين حيث حصلت على عمل في رسم لوحات الإعلانات. ولقد التقيت بصديق مبدع هو بيرل جراي. ومثلي تمامًا، لم يدرس بيرل الفيزياء مطلقًا في المدرسة الثانوية، لكنه كان شغوفًا بالعلوم بشكل عام، وقد عبّر عن شغفه هذا بإثارة العديد من الأسئلة عندما كنا نرسم معًا.

أتذكر بيرل عندما سألني عن الشّد في الحبال التي تثبّت السّقالة التي نقف عليها. السّقالة هي ببساطة لوح خشبي مستوٍ ثقيل معلق بحبلين. نقر بيرل على الحبل عند جهة السّقالة القريبة منه وطلب إلي فعل الشيء نفسه في الجهة القريبة مني. كان يقارن بين الشد في كلا الحبلين لمعرفة أيهما أكبر. لقد كان بيرل أثقل مني، وقد تنبأ بأنّ الشد في الحبل من جهته أكبر، شبيهًا بسلك القيثارة المشدود بقوة، فإنّ الحبل ذا الشد الأكبر يتوتر بنغمة أعلى. ولأن حبل بيرل له نغمة أعلى يمكن فهم ذلك لأنّ حبله يسند ثقلًا أكبر.

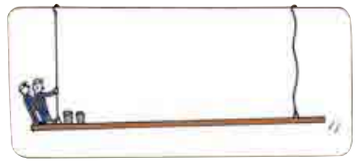
عندما تحركت في اتجاه بيرل لاستعارة ريشة



الرسم، سألني إذا ما قد تغير الشد في كلا الحبلين. هل الشد في الحبل من جهة بيرل يزداد كلما اقتربت منه أكثر؟

لقد اتفقنا سابقًا على أنّ الشد يجب أن يزداد؛ لأنّ مزيدًا من الوزن سوف يتحمله حبل بيرل. ولكن، ماذا عن حبلي أنا؟ هل قلّ الشّدّ به؟ لقد اتفقنا على أنّ هذا هو الحال؛ لأنّ حبلي يتحمل الآن مقدارًا أقلّ من الوزن الكلي. لم أكن أعلم في ذلك الوقت أنني كنت أناقش فيزياء.

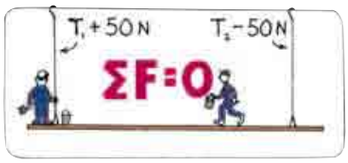
كنت وبيرل نضخم الأمور لندعم آراءنا (كما يفعل الفيزيائيون). إذا وقفنا نحن الاثنين على طرف واحد من السّقالة وانحنينا نحو الخارج، فإنه من السهل التخيل أنّ الطرف الآخر سوف يرتفع كما ترتفع الأرجوحة، وأنّ الحبل الذي يربط الطرف الآخر سوف يرتخي. وعليه، فإنّ الشد في ذلك الحبل يتلاشى. وبعد ذلك، اتفقنا على أنّ الشّدّ في حبلي سوف يقلّ تدريجيًا عندما كنت أتحرك في اتجاه بيرل، فقد كان من الممتع طرح مثل هذه الأسئلة لنرى إن كان بإمكاننا الإجابة عنها.



ولكن هناك سؤال لم نستطع الإجابة عنه، ألا وهو ما إذا كان نقصان الشد في حبلي عندما كنت أتحرك بعيدًا عنه مساويًا لمقدار زيادة الشد في حبل بيرل. فعلى سبيل المثال، إذا نقص الشد في حبلي بمقدار 50 نيوتن، فهل سيزداد الشد في حبل بيرل بالمقدار نفسه أيضا، 50 نيوتن؟

(في ذلك الوقت، كنا نستخدم الباوند، لكننا هنا نستخدم وحدة القوّة، النيوتن). هل سيكون مقدار الزيادة 50 نيوتن بالضبط؟ وإذا كان الحال كذلك، فهل من الممكن أن تكون مجرد صدفه؟ لم أعرف الإجابة عن هذا السؤال إلا بعد سنة عندما تركت أعمال الدهان وذهبت إلى الجامعة لتعلم المزيد من العلوم*، وذلك بسبب المحاكاة التي أجراها بيرل.

لقد تعلمت في الجامعة أنّ أيّ جسم ثابت مثل سقالة الدهان التي عملت عليها مع بيرل هو جسم متزن. لذا، فإنّ محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ أي أنّ محصلة الشد في الحبال مساوية للوزن بالإضافة إلى وزن السّقالة. إنّ خسارة 50 نيوتن على أحد الطرفين سيتم تعويضها بزيادة 50 نيوتن على الطرف الآخر.



إنّ سرد هذه القصة الحقيقية هو لتوضيح أنّ تفكير المرء يختلف عندما تكون هناك قاعدة توجهه. الآن عندما أنظر إلى أيّ جسم غير متحرك، فإنني أعلم أنّ القوى المؤثرة جميعها فيه يلغي بعضها بعضا.

سوف ننظر إلى الطبيعة بشكل مختلف عندما نعلم قوانينها. إنها تجعل الطبيعة أبسط وأسهل للفهم. ودون قوانين الفيزياء، فإننا نميل إلى الخرافات وسنرى شيئا عجيبا. من المدهش أنّ كلّ شيء متصل بأي شيء آخر على نحو رائع من خلال مجموعة صغيرة من القوانين. وما الفيزياء إلا دراسة قوانين الطبيعة.

* أنا مدين لبيرل جراي للمحاكاة التي قدمها لأنها أعطتني الدافع لإكمال دراستي. لقد توقفت عن الاتصال ببيرل مدة 40 سنة. ثم توصلت إليه عن طريق أحد طلاب صفي في المختبر في سان فرانسيسكو جيسين ويشتير الذي كان عبارة عن مخبر خاص، حيث استطاع العثور على (بيرل) عام 1998. لقد توطدت الصداقة بيننا واستمرت محادثاتنا الشائقة. لقد تعرفت من خلال بيرل إلى قدرتي على التدريس. الآن، تعرفت أيضًا جاكي فريسكو وهو في عمر التسعينيّات حيث يستمر في إلهام الناس نحو مستقبل أفضل من خلال كتبه ومسلسلاته الوثائقية، ومؤخرًا من خلال أحد أفلامه "تصميم المستقبل".

5.1 قاعدة الاتّزان

إذا ربطت حبلا حول كيس يحوي 2 باوند من الطحين، ثم علقته بمقياس زنبركي (الشّكل 11.1)، فإنّ الزنبرك يستطيل حتى تصبح قراءته 2 باوند. يكون الزنبرك في حالة الاستطالة تحت تأثير قوة استطالة تسمى "شد". المقياس الزنبركي تمت معايرته في المختبر ليقرأ القوّة نفسها مثل 9 نيوتن. كل من الباوند والنيوتن وحدة للوزن، كما أنهما وحدتان *للقوة*. كيس الطحين ينجذب في اتجاه الأرض بقوة جذب 2 باوند، وهي تعادل 9 نيوتن. إذا علّقت ضعف كمية الطحين على المقياس نفسه، فستجد أنّ قراءته 18 نيوتن.

هناك قوتان تؤثران في كيس الطحين: الأولى قوة شد تؤثر نحو الأعلى، والأخرى قوة وزن تؤثر نحو الأسفل. القوتان على الكيس متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، وبالتالي تلغي إحداهما الأخرى. وهكذا يبقى الكيس في حالة سكون.

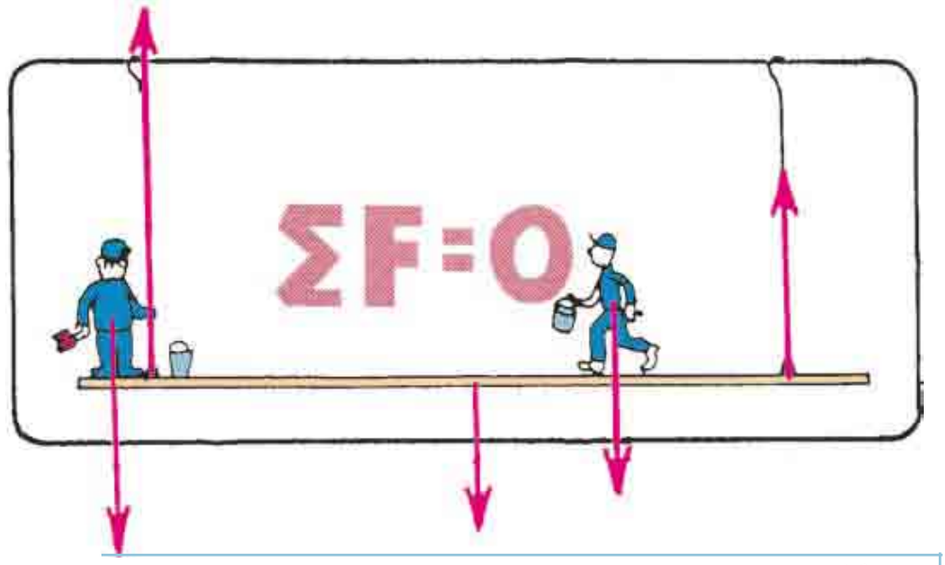
عندما تكون القوّة المحصّلة على شيء ما صفرًا نقول إنّ الجسم في حالة *"اتزان ميكانيكي"**. وبالرموز الرياضية، فإنّ **قاعدة الاتّزان هي**

$$\sum F = 0$$

حيث يشير الرمز $\sum$ إلى "المجموع المتجه"، وF ترمز إلى "القوى" المؤثرة في جسم معلق في حالة سكون، مثل كيس الطحين. وتنصّ القاعدة على أنّ القوى المؤثرة في الجسم في اتجاه الأعلى تتوازن مع قوى أخرى تؤثر نحو الأسفل بحيث يساوي المجموع المتجه صفرًا. (في الكميات المتّجهة يؤخذ في الحسبان الاتجاه. وهكذا، إذا كانت القوى في اتجاه الأعلى موجبة، فإنّ القوى في اتجاه الأسفل تكون سالبة، وعليه يساوي المجموع المحصل صفرًا.)

نلاحظ في الشّكل 12.1 القوى المهمة لبيرل وباول على سقالة الرسم. مجموع قوى الشد نحو الأعلى مساوٍ لمجموع وزنيهما ووزن السّقالة. لاحظ كيف أنّ قيمة متجهين نحو الأعلى تساوي قيمة ثلاثة متجهات نحو الأسفل. والقوّة المحصّلة على السّقالة تكون صفرًا. وهكذا يمكننا القول إنها في حالة اتزان ميكانيكي.

الشّكل 11.1
بيرل جراي، أول من أوجد قوى الشد، كيس من الطحين وزنه 2 باوند معلق بميزان زنبركي، ويظهر الوزن والشد في الميزان وهو 9 نيوتن تقريبًا.



الشّكل 12.1
مجموع المتجهات إلى أعلى يساوي مجموع المتجهات إلى أسفل. $\sum F = 0$ الحمالة الخشبية (السّقالة) في حالة اتزان.

هل يمكنك مشاهدة إثبات أن $\sum F = 0$ في الجسور وكذلك في الإنشاءات التي حولك؟

نقطة فحص

إذا تعلقت بأرجوحة ساكنة، فما الشد في الحبلين العموديين الداعمين للأرجوحة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الشّدّ في كلّ حبل يجب أن يساوي نصف وزنك. وبهذه الطريقة فإنّ $\sum F = 0$.

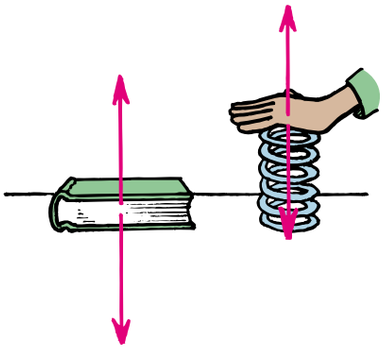
* سنرى في الملحق ب أنّ هناك شرطًا آخر للاتزان الميكانيكي، وهو أنّ محصلة العزوم تساوي صفرًا.

6.1 قوة الدّعم

تأمل كتابًا موضوعًا على سطح طاولة في حالة سكون. إنّ هذا الكتاب يكون في حالة اتزان. ما القوى المؤثرة في الكتاب؟ إحدى هذه القوى ناجٌ عن الجاذبية – وزن الكتاب. ولأنّ الكتاب متزن، فإنه يجب أن يكون هناك قوة أخرى تؤثر فيه لكي تساوي القوّة المحصّلة صفرًا - قوة نحو الأعلى معاكسة لقوة الجاذبية. إنّ الطاولة تؤثر بمثل تلك القوّة نحو الأعلى، وتسمى **القوة الداعمة**. هذه القوّة الداعمة غالبًا ما تسمى القوّةَ العمودية، ويجب أن تساوي *وزن* الكتاب*. بافتراض أنّ القوّة نحو الأعلى موجبة، فإنّ القوّة نحو الأسفل (الوزن) تكون سالبة، ومجموع القوتين يساوي صفرًا. إنّ محصلة القوّة على الكتاب تكون صفرًا. ويمكن صياغتها بطريقة أخرى كما يلي، $\sum F = 0$.

ولكي تفهم أنّ الطاولة تدفع الكتاب إلى أعلى على نحو أفضل، قارن بحالة ضغط الزنبرك (الشّكل 13.1). إذا دفعت بالزنبرك نحو الأسفل، فتستطيع الشعور بضغط الزنبرك على يدك. وبالمثل، فإنّ الكتاب الموضوع على الطاولة يضغط ذرات الطاولة التي تسلك سلوكًا مشابهًا لزنبركات ميكروسكوبية. يضغط وزن الكتاب على الذرات نحو الأسفل، في حين تضغط الذرات على الكتاب نحو الأعلى. وبهذه الطريقة، فإنّ الذرات المنضغطة تنتج قوة داعمة (عمودية).

عندما تقف على ميزان حمّام، فإنّ هناك قوتين تؤثران في الميزان: الأولى قوة سحب الجاذبية نحو الأسفل، وهي وزنك، والأخرى نحو الأعلى، وهي قوة دفع السّطح نحو الأعلى. حيث تقوم هاتان القوتان بضغط زنبرك مُعايَر لإظهار وزنك (الشّكل 14.1). في الواقع، يظهر الميزان القوّة الداعمة (العمودية). عندما تزن نفسك بميزان في حالة سكون، فإنّ قوة الدّعم ووزنك لهما القيمة نفسها.



الشّكل 13.1
القوّة العمودية نحو الأعلى التي تؤثر بها الطاولة في الكتاب تساوي قوة الجاذبية للأسفل. قوة دفع الزنبرك على يدك تساوي القوّة التي تضغط بها يدك على الزنبرك للأسفل.

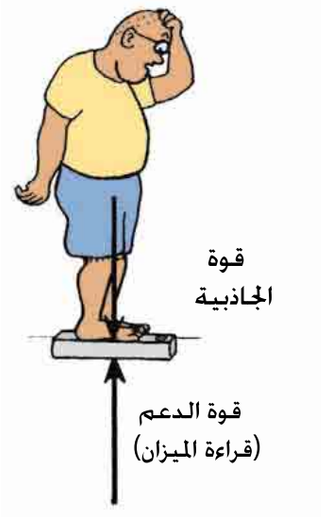
نقطة فحص

افترض أنك تقف على ميزانين بحيث يتوزع وزنك بينهما بالتساوي. فما قراءة كلّ منهما ؟ ما الذي يحدث إذا كنت تقف عليهما بحيث يكون الوزن المؤثر في إحدى القدمين أكبر من الأخرى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

مجموع قراءة الميزانين تمثل وزنك. لأنّ مجموع قراءتيهما تساوي القوّة الداعمة من الأرض والتي تعاكس وزنك. وعليه، فإنّ محصلة القوى عليك تساوي صفرًا. وهذا يعني أنّ محصلة المتجه $\sum F = 0$. إذا كنت تقف على كلّ من الميزانين بشكل متساوٍ ، فإنّ كلّ ميزان سيقرأ نصف الوزن.

أما إذا كنت منحنيًا على أحدهما أكثر من الآخر، فإنّ أكثر من نصف الوزن يُقرأ على ذلك الميزان، في حين يُقرأ أقلّ من نصف الوزن على الميزان الآخر. ولهذا، يبقى مجموع قراءة الميزانين مساويًا لوزنك. فعلى سبيل المثال، إذا قرأ أحد الميزانين ثلثي وزنك، فإنّ الميزان الآخر يقرأ الثلث الأخير منه. وفي الحالات جميعها، فإنّ $\sum F = 0$.



الشّكل 14.1
قوة الدّعم نحو الأعلى تساوي قوة الجاذبية نحو الأسفل.

7.1 الاتّزان التّحريكيّ (الاتّزان الدّيناميكيّ)

عندما لا يتحرك جسم ما، فإنّ محصلة القوى على هذا الجسم تساوي صفرًا؛ أي أنّ الجسم يكون في حالة اتزان. وبدقة أكثر، نقول إنّ الجسم يكون في حالة اتزان سكوني. إلا أنّ حالة السكون هذه هي إحدى أشكال الاتّزان. فإذا تحرك جسم ما بسرعة ثابتة على خط مستقيم، فإنه يكون أيضًا في حالة اتزان. عندئذٍ، نقول إنه في حالة *اتزان ديناميكي*.

* تؤثر هذه القوّة بشكل متعامد مع السّطح. وعندما نقول "متعامد مع" نقصد بذلك أنه " يصنع زاوية قائمة مع". وعليه، تسمى هذه القوّة بالقوّة العمودية.

وما إن يتحرك الجسم، وإذا لم تؤثر فيه قوة محصلة تغير من حالة حركته، فإنّ سرعته لا تتغير. وعليه، يكون في حالة اتزان حركي. وسواء أكان **الاتّزان سكونيًا** أم حركيًا، فإنّ $\Sigma F = 0$.

ومن المهم معرفة أنه إذا خضع جسم ما لتأثير قوة واحدة فقط، فلا يمكن أن يكون في حالة اتزان سكونيّ أو حركيّ. وأنّ القوّة المحصّلة لا يمكن أن تساوي صفرًا. فقط في حالة عدم وجود قوة على الإطلاق، أو وجود قوتين أو أكثر بحيث تكون محصلتها صفرًا، عندئذ، يمكن أن يكون الجسم في حالة اتزان. ويمكننا تفحص ما إذا كان جسم ما في حالة اتزان وذلك بملاحظة ما إذا كان ذلك الجسم يخضع لتغير في حركته.

لندرس دفع طاولة على أرضية غرفة صفّ دراسي. إذا تم تحريك تلك الطاولة بسرعة ثابتة، دون تغير في حركتها، فإنها تكون متزنة. وهذا يؤكد لنا أنّ هنالك أكثر من قوة تؤثر فيها— مثل قوة الاحتكاك بينها وبين أرضية الغرفة. وحقيقة أنّ القوّة المحصّلة على الطاولة تساوي صفرًا، يعني أنّ قوة الاحتكاك يجب أن تساوي قوة دفعنا للطاولة مقدارًا وتعاكسها اتجاهًا.

الشكل 15.1
عندما تكون قوة الدفع على طاولة تساوي قوة الاحتكاك بينها وبين الأرض، فإنّ محصلة القوى عليها تكون صفرًا. وعندها، تتحرك الطاولة دون تغيير في السّرعة.

8.1 قوة الاحتكاك

الاحتكاك هو قوة الممانعة التي تعيق الحركة، أو تمنع حركة جسم فوق جسم آخر ملامس له. يحدث هذا عند دلك جسم بشيء آخر*. يحدث الاحتكاك في كلّ من المواد الصلبة والسائلة والغازية. القاعدة المهمة في الاحتكاك أنه يؤثر دائمًا في الاتجاه المعاكس للحركة؛ فإذا قمت بدفع جسم صلب على سطح نحو اليمين، فإنّ قوة الاحتكاك تؤثر في الجسم في اتجاه اليسار. يقع القارب المندفع إلى الشرق تحت تأثير محركه وتحت تأثير قوة احتكاكه مع الماء نحو الغرب. وعند سقوط جسم نحو الأسفل في الهواء، فإنّ قوة الاحتكاك، **مقاومة الهواء(Air Resistance)**، تؤثر نحو الأعلى. ومرة أخرى للتأكيد: يؤثر الاحتكاك دائمًا في اتجاه معاكس للحركة.

لمعلوماتك

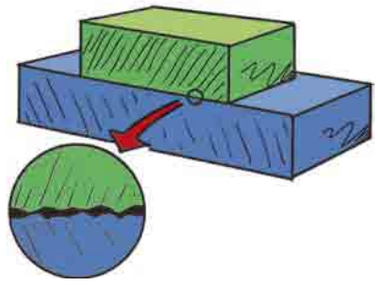
■ سنقوم في الفصل السّادس بشرح الاتّزان الحراري، أمّا في الملحق ب فسنشرح الاتّزان الدّورانيّ.

■ **نقطة فحص**

عندما تدفع قطعة أثاث بحيث تنزلق بسرعة ثابتة على سطح غرفة المعيشة (بتعبير آخر تكون في حالة اتزان) فإنّ هناك قوتين أفقيتين تؤثران فيها؛ الأولى قوة دفعك لها، والأخرى قوة الاحتكاك المؤثرة في الاتجاه المعاكس. أيّ القوتين أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

أيضًا بالنسبة إلى كلتا القوتين فإنهما متساويتان. وإذا افترضت أنّ دفعك موجب، فإنّ الاحتكاك يكون سالبًا. وحيث إنّ قطعة الأثاث المدفوعة متزنة، فهل يمكننا القول إنّ القوتين تندمجان معًا وتساويان صفرًا؟ تعتمد قوة الاحتكاك بين سطحين على نوع المواد المتلامسة ومقدار ضغط بعضها على بعض. وينشأ الاحتكاك بسبب وجود النتوءات السّطحية، وكذلك «لزوجة» الذرات على سطحي المادتين (الشّكل 16.1). إنّ الاحتكاك بين المقعد الذي حُرّك على سطح أملس مشمّع يكون أقل منه بين المقعد وسطح خشن. وإذا كان السّطح مائلا، فإنّ الاحتكاك يكون أقلّ؛ لأنّ ضغط الجسم يكون أقلّ في حالة السّطح المائل (في هذا الفصل لن ندرس السّطوح المائلة).



الشكل 16.1
ينشأ الاحتكاك بسبب التماس المتبادل للتشوهات في السّطوح المتماسة. حتى السّطوح التي تبدو ملساء، فهي سطوح مشوهة عندما تشاهد في المستوى الميكروسكوبيّ (دون المجهري).

* الاحتكاك ظاهرة في غاية التعقيد. فهو يعدّ تجريبيا (يكتسب من مدى واسع من التجارب) وتنبؤاته تقريبية (كذلك تبنى على التجربة) وهذا عكس معظم مبادئ الفيزياء.

وهكذا فإننا نرى أنه عندما تدفع قطعة أثاث على أرضية الغرفة بحيث تنزلق، فإنّ قوة دفعك وقوة الاحتكاك المعاكسة لها تؤثران في الحركة. وعندما تدفع بقوة أكبر بحيث تتساوى تلك القوّة مع قوة الاحتكاك، فإنّ القوّة المحصّلة على قطعة الأثاث تساوي صفرًا، وبسبب ذلك تنزلق بسرعة ثابتة. لاحظ أننا نتكلم عما تعلمناه حاليًا: أي عدم حدوث تغيير على الحركة عندما تكون $\sum F = 0$.

■ **اختبر معلوماتك**

1. افترض أنك أثرت بقوة 50 نيوتن أفقيًا في طاولة ثقيلة غير متحركة، وموضوعة على أرضيّة صفّ مدرسيّ. تبقى الطّاولة ساكنة، وتشير إلى أنّ 50 نيوتن ليست كافية لتحريكها. كيف تعمل قوة الاحتكاك بين الطاولة وأرضية الصّفّ مقارنة بقوة دفعك؟
2. بدفعك بقوة أكبر – ولنقل 55 نيوتن – بحيث تبقى الطّاولة دون انزلاق. ما قوة الاحتكاك المؤثّرة فيها ؟
3. بدفعك أكثر فأكثر بحيث تتحرك الطاولة. وبمجرد أن تحركت الطاولة وكنت تدفع بقوة 60 نيوتن فإنّ هذا كافٍ لانزلاقها بسرعة ثابتة. ما قوة الاحتكاك المؤثرة فيها ؟
4. ما القوّة المحصّلة على الطّاولة المتحركة إذا كانت قوة دفعك 65 نيوتن، وقوة الاحتكاك بينها وبين أرضية الصّفّ 60 نيوتن.

هل كانت هذه إجابتك؟

1. قوة الاحتكاك هي 50 نيوتن في الاتجاه المعاكس. والاحتكاك يعاكس الحركة التي يمكن أن تحصل في الحالات كلّها. وبما أنّ الطاولة ساكنة، فهذا دليل على أنّ . $\sum F = 0$.
2. تزداد قوة الاحتكاك إلى 55 نيوتن. ومرة أخرى $\sum F = 0$.
3. قوة الاحتكاك 60 نيوتن؛ لأنه عندما تكون الحركة بسرعة ثابتة، فإنّ $\sum F = 0$.
4. القوّة المحصّلة هي 5 نيوتن؛ لأنّ نيوتن $\sum F = 65\ \text{N} - 60\ \text{N}$. في هذه الحالة، تكتسب الطاولة سرعة، تتسارع، كما سنرى.

■ 9.1 السرعتان؛ القياسيّة والمتّجهة

السّرعة القياسيّة

قبل عصر جاليليو، صنّف الناس حركة الأشياء ببساطة إلى"بطيئة"و"سريعة". وقد كانت مثل هذه الأوصاف غامضة. أما جاليليو، فقد كان أول من قام بقياس السّرعة القياسيّة وذلك بمقارنة المسافة المقطوعة مع الزّمن اللازم لقطع تلك المسافة. لقد عرّف **السّرعة القياسيّة (Speed)** بأنها المسافة المقطوعة في وحدة الزّمن المستغرق.

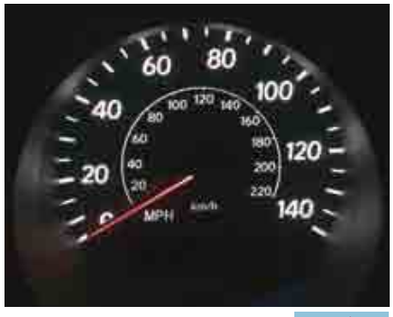
السّرعة القياسيّة = المسافة المقطوعة / الزّمن المستغرق .

فعلى سبيل المثال، إذا قطع سائق دراجة هوائية مسافة 20 كيلو مترًا في ساعة واحدة، عندها تكون سرعته القياسيّة 20 كم/ساعة. أما إذا قطع 6 م في ثانية واحدة، فتكون سرعته القياسيّة 6 م/ث. أي دمج لوحدات المسافة والزّمن يمكن أن يستخدم للسرعة – كيلو متر لكلّ ساعة (كم/ساعة) سنتيمتر لكلّ يوم (سرعة حلزون مريض) أو أي شيء ملائم ومفيد. رمز الشَرْطة المائلة (/) يقرأ "لكلّ" ويعني "مقسوم على". وفي الفيزياء، وحدة القياس المفضلة للسرعة هي متر لكلّ ثانية (م/ث). ويحتوي الجدول 1.1 على مقارنة بين بعض السّرع بوحدات مختلفة.

السّرعة القياسيّة اللحظيّة

إنّ الأشياء المتحركة غالبًا ما تختلف سرعتها. فعلى سبيل المثال، سيارة تتحرك على شارع بسرعة 50 كم/ساعة، ومن ثمَّ تقلّل من سرعتها إلى 0 كم/ساعة عند الإشارة الضوئية الحمراء، وتزيد سرعتها إلى30 كم/ساعة فقط بسبب كثافة السير. ويمكنك أن تعرف سرعة سيارة عند أيّ لحظة بالنظر إلى عداد السّرعة. فالسّرعة عند أيّ لحظة هي *السّرعة اللحظية* .

الشّكل 17.1
كلما زادت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن فإنّ الحصان يكون أسرع.



الشّكل 18.1
كلما زادت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن فإنّ كانت السيارة أسرع.

عندما تُعطى مخالفة سير بسبب السّرعة، فهل تكون السّرعة المكتوبة على المخالفة هي سرعتك اللحظية أم متوسط سرعتك؟

الجدول 1.1 سُرعة تقريبية بوحدات مختلفة

12 ميل/ساعة = 20 كم/ساعة = 6 م/ث (كرة البولينج)
25 ميل/ساعة = 40 كم/ساعة = 11 م/ث (عدّاء جيد جدًا)
37 ميل/ ساعة = 60 كم/ساعة = 17 م/ث (أرنب سريع)
50 ميل/ ساعة = 80 كم/ساعة = 22 م/ث (تسونامي)
62 ميل/ ساعة = 100 كم/ساعة = 28 م/ث (فهد سريع)
75ميل/ساعة = 120 كم/ساعة = 33 م/ث (كرة خفيفة مقذوفة)
100ميل/ ساعة = 160 كم/ساعة = 44 م/ث (كرة بيسبول مقذوفة)

متوسط السّرعة القياسيّة

عند التخطيط لرحلة بالسيارة، غالبًا ما يرغب السّائق في معرفة زمن الرحلة، ومتوسط السّرعة خلالها. كيف نُعرّف متوسط السّرعة القياسيّة؟

متوسط السّرعة القياسيّة = مجموع المسافة المقطوعة / الزمن المستغرق

يمكن حساب متوسط السّرعة القياسيّة بسهولة. فعلى سبيل المثال، عندما تقطع السيارة مسافة 80 كم في ساعة واحدة، فإنّ متوسط السّرعة القياسيّة يكون 80 كم/ساعة. وبالمثل، عندما تقطع مسافة 320 كم في أربع ساعات،

فإنّ متوسط السّرعة القياسيّة = مجموع المسافة المقطوعة / الزمن المستغرق = 320 كم / 4 ساعة = 80 كم/ساعة.

لاحظ أنه عندما تكون المسافة بالكيلومترات (كم) مقسومة على الزمن بالساعات (ساعة)، فالجواب يكون كيلو متر لكلّ ساعة (كم/ساعة). ولأنّ متوسط السّرعة القياسيّة هو مجموع المسافة المقطوعة مقسومًا على مجموع الزمن المستغرق، فإنّ ذلك لا يشير إلى السرعة اللحظية المتعددة خلال تلك المسافة. إنّ السّرعة اللحظية في معظم الحالات غالبًا ما تكون مختلفة عن متوسط السّرعة.

إذا كنا نعرف السّرعة القياسيّة والزمن المستغرق فإنه يمكن إيجاد المسافة المقطوعة بسهولة. وبإعادة ترتيب بسيط للتعريف أعلاه، فإننا نحصل على أنّ

مجموع المسافة المقطوعة = متوسط السّرعة القياسيّة X الزمن المستغرق

فعلى سبيل المثال، إذا كان متوسط سرعتك في رحلة مدتها 4 ساعات 80 كم/ساعة، فإنّ مجموع المسافة المقطوعة 320 كم.

■ نقطة فحص

1. ما متوسط سرعة حصان يعدو مسافة 100 متر في 8 ثوانٍ؟ وماذا إذا قطع مسافة 50 مترًا في 4 ثوانٍ؟
2. إذا تحركت سيارة بمتوسط سرعة 60 كم/ساعة لمدة ساعة واحدة، فإنها تقطع مسافة 60 كم.
   أ- ما المسافة المقطوعة في 4 ساعات إذا كانت تتحرك بالمعدل نفسه؟
   ب- وفي زمن 10 ساعات؟

هل كانت هذه إجابتك؟

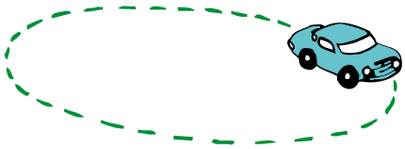
(هل قرأت ذلك وفكرت فيه قبل أن تفسره؟ كما ذكرنا سابقًا، فكّر قبل أن تُجيب. ليس عليك التعلم أكثر، بل التمتع أكثر بالتعلم).

1. في كلتا الحالتين، الإجابة هي 12.5 م/ث:
   متوسط السّرعة القياسيّة = مجموع المسافة المقطوعة/الزمن المستغرق = 100م/8ث = 12.5 م/ث
2. المسافة المقطوعة هي متوسط السّرعة × الزمن المستغرق
   أ. المسافة=60 كم/ساعة × 4 ساعة=240 كم
   ب. المسافة=60 كم/ساعة × 10 ساعة=600 كم.

السّرعة المتّجهة

عندما نعرف كلّا من مقدار سرعة جسم ما واتجاهه، فإننا نعرف **سرعته المتّجهة (Velocity)**. فمثلا، مركبة تسير بسرعة 60 كم/ساعة نعرف قيمة سرعتها. ولكن عندما نقول إنها تتحرك بسرعة 60 كم/ساعة في اتجاه الشمال، فإننا نحدّد سرعتها المتّجهة. السّرعة القياسيّة (*speed*) تصف سرعة الحركة، في حين تصف السّرعة المتّجهة سرعةَ الحركة واتجاهها. وكما ذُكر سابقًا، فإنّ كمية السّرعة المتّجهة والتي تعين كلًّا من المقدار والاتجاه تسمى كمية متجهة. *السّرعة المتّجهة* هي كمية متجهة. (شرحت المتجهات في الملحق ج . كما أنها فُصلت بشكل مناسب في *كتاب مفاهيم العلوم الفيزيائية، كتاب التمارين*).

إنّ السرعة القياسية الثابتة تعني السّرعة التي لا يزيد مقدارها ولا يقلّ. ومن جهة أخرى فإن السّرعة المتّجهة الثابتة تعني ثباتًا في مقدار السّرعة وفي اتجاهها. إنّ الاتجاه الثابت هو خط مستقيم؛ أي أنّ مسار الجسم ليس منحنيًا. وهكذا ، فإن السّرعة المتّجهة الثابتة تعني حركة على خط مستقيم بسرعة مقدارها ثابت؛ أي حركة دون تسارع.



الشّكل 19.1
على الرّغم من أنّ السيارة يمكنها المحافظة على قيمة سرعة ثابتة على مسار دائري، إلّا أنّها لا تحافظ على سرعة ثابتة. لماذا؟

نقطة فحص

"تتحرك إحداهن بسرعة قياسية ثابتة وفي اتجاه ثابت" . صغ العبارة نفسها باختصار.

هل كانت هذه إجابتك؟

"إنها تتحرك بسرعة متجهة ثابتة" .

السّرعة المتّجهة هي سرعة قياسية مضاف إليها اتجاه.

السّرعةُ كميةٌ نسبيّة

كلّ شيء يكون متحركًا دائمًا. حتى عندما تعتقد أنك جالس، فإنك في الحقيقة تخلق في الفضاء. إنك تتحرك بالنسبة إلى الشّمس والنجوم، مع أنك ساكن بالنسبة إلى الأرض. في هذه اللحظة، تكون سرعتك بالنسبة إلى الشّمس 100,000 كم/ساعة تقريبًا. وهذه السّرعة أيضًا تكون أكبر بالنسبة إلى مركز المجرة.

عندما نشرح السّرعة* أو السّرعة المتّجهة لشيء ما، نقصد السّرعة أو السّرعة المتّجهة بالنسبة إلى شيء آخر. فعلى سبيل المثال، عندما نقول إنّ مكوكًا فضائيًّا يتحرك بسرعة 30,000 كم/ساعة ، فإننا نقصد بالنسبة إلى الأرض أسفل المكوك. أو عندما نقول: سيارة سباق تصل سرعتها إلى 300 كم/ساعة، فإننا نقصد بذلك بالنسبة إلى الطريق. ما لم يذكر غير ذلك، فإنّ السرعة جميعها المشروحة في هذه الكتاب هي بالنسبة إلى سطح الأرض. إذن، فالسّرعة نسبيّة.

نقطة فحص

تتحرك بعوضة جائعة مع النسيم بسرعة 3 م/ث وهي تشاهدك جالسًا على أُرجوحة. ما سرعتها؟ وفي أيّ اتجاه تحلّق فوقك لكي تتناول غذاءها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

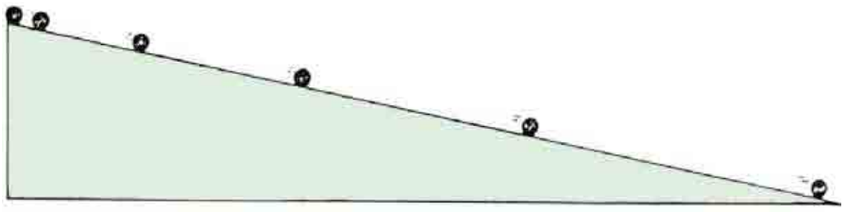
يجب أن تحلّق البعوضة في اتجاهي مَعَ الريح. فعندما تكون فوقي مباشرة يجب أن تطير بسرعة 3 م/ث عكس اتجاه الريح لكي ترفرف ساكنة. وما لم تلسع البعوضة جلدي بقوة عند هبوطها، فإنه يجب عليها الاستمرار في طيرانها بسرعة 3 م/ث لكي تبتعد عن حالة الإجهاد. وهذا يبين لماذا تكون الريح معيقًا فاعلًا للسعها.

الشّكل 20.1
بالرّغم من أنك قد تكون ساكنًا بالنسبة إلى سطح الأرض، إلا أنك متحرك بسرعة 100,000 كم/ساعة بالنسبة إلى الشّمس.

10.1 التّسارع

تخضع معظم الأشياء المتحركة لتغيرات في حركتها. ونقول عندئذٍ إنها تخضع لتسارع. لقد كان جاليليو أول من استنبط مفهوم التّسارع، حيث طّور هذا المفهوم بتجاربه على السّطوح المائلة. لقد وجد أنّ الكرات المتدحرجة نحو أسفل سطح مائل تتدحرج أسرع وأسرع. إنّ سرعتها تتغير وهي تتدحرج. فضلا عن ذلك، فإنّ الكرات المتدحرجة تكتسب مقدار السّرعة نفسه في الفترات الزمنية المتساوية.

* عندما نذكر السّرعة من الآن فصاعدًا، فإننا نعني السّرعة القياسيّة.



الشّكل 21.1
تكتسب الكرة المتدحرجة مقدار السّرعة نفسه في فترات زمنية متساوية. الكرة تحت تأثير تسارع ثابت.

لقد عرَّف جاليليو معدل التغير في السّرعة بأنه **التّسارع (acceleration).***

التّسارع = التغير في السّرعة / الفترة الزّمنيّة

يمكن اختبار التّسارع عندما تكون في سيارة أو حافلة متحركة. عندما يضغط سائق الحافلة على دواسة الوقود، فإنّها تكتسب سرعة. ونقول عندئذٍ إنها تتسارع. وهكذا، يمكننا ملاحظة السّبب في إطلاق تسمية "مسارع" على دواسة الوقود! عندما نضغط على الكوابح، فإنّ العربة تتباطأ. ويعدّ هذا أيضًا تسارعا؛ لأنّ سرعة العربة تتغير. وعندما يتباطأ شيء ما، غالبًا ما يسمى ذلك تباطؤا (*decelera-tion*).

هل يمكنك ملاحظة أنّ السّيارة لها ثلاث وسائل تغيّر بها سرعتها هي: دواسة الوقود (المسارع)، والكوابح، وعجلة المقود.

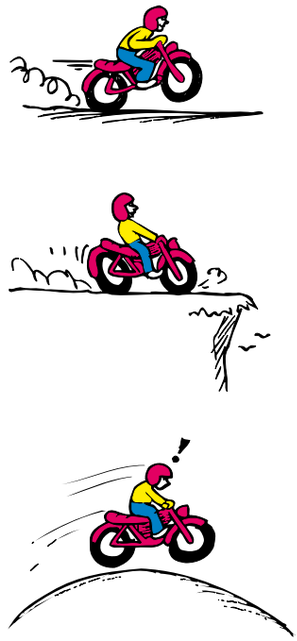
وبمراعاة أنّ سيارة متحركة تزداد سرعتها بازدياد. وبافتراض أنك زدت سرعتك في ثانية واحدة من 30 كم/ساعة إلى 35 كم/ساعة. وفي الثانية الثانية زادت السّرعة من 35 كم/ساعة إلى 40 كم/ساعة وهكذا. لقد قمت بتغيير سرعتك بـ 5 كم/ساعة في كلّ ثانية. إذن

التّسارع = التغير في السّرعة / الفترة الزمنية = 5 كم/ساعة ÷ 1 ثانية = 5 كم/ساعة.ثانية

في هذا المثال، يكون التّسارع 5 كم/ساعة.ثانية (تختصر 5 *km/h.s*).**

لاحظ أنّ وحدة الزمن تظهر مرتين؛ الأولى تعود إلى وحدة السّرعة، والأخرى للفترة الزمنية التي تتغير السّرعة خلالها. ولاحظ كذلك أنّ التّسارع ليس فقط التغير في السّرعة؛ بل إنه التغير في السّرعة لكلّ ثانية أيضا. فإذا تغيرت السّرعة أو اتجاهها أو تغير كلاهما، فإنّ السّرعة المتّجهة تتغير.

إذا انعطفت السيارة حتى ولو لم تتغير سرعتها، فإنها تكون قد تسارعت. ما السّبب في ذلك؟ يحدث التّسارع لأنّ اتجاه السّيارة قد تغيّر. ويُعزى التّسارع هنا إلى التّغير في السّرعة المتّجهة. وعليه، فإنّ التّسارع يشمل التّغيّر في مقدار السّرعة، والتّغيّر في اتجاهها أيضًا، أو التغير في كلٍّ من مقدار السّرعة واتجاهها معًا. الشّكل 22.1 يوضح ذلك.



الشّكل 22.1
نقول إنّ الجسم متسارع إذا كان هناك تغيّرًا في حالة حركته.

---

* يستعمل الحرّف اليوناني Δ (دلتا) غالبًا رمزا إلى "التغير في" أو "الاختلاف في" باستخدام رمز "دلتا". التّسارع $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ حيث Δv التغير في السّرعة، و Δt التغير في الزمن (الفترة الزمنية). لذا، نرى أنّ $v = at$. وهنالك تفصيل أكثر عن الحركة الخطية في الملحق ب.

** عندما نقسم كم/ ساعة على ثانية (كم/ساعة ÷ ثانية) فإنه يمكن صياغة ذلك بالشّكل الآتي:
كم/ساعة × 1/ث = كم/ساعة.ثانية (بعض الكتب المقررة ترمز إليها بالشّكل م/ث^2 = م/ث.ث = م/ث × 1/ث (والتي يمكن كتابتها أيضًا بالشّكل م/ث/ث أو م.ث$^{-2}$).

الجدول 2.1 السّرعة المكتسبة لسقوط حُرّ ومسافة السقوط

زمن السّقوط (ثانية)	السّرعة المكتسبة (م/ث)	المسافة السقوط (م)
0	0	0
1	10	5
2	20	20
3	30	45
4	40	80
5	50	125

عندما تكون فوق تل فإنّ ذلك يكسبك سرعة كوينشي جونز.

أمسك حجرًا أمام رأسك (وليس عليه!) وأسقطه. إنه يتسارع خلال سقوطه. فإذا كانت القوّة الوحيدة المؤثرة في الجسم الساقط هي قوة الجاذبية، وإنْ لم يكن هنالك أيّ تأثير لمقاومة الهواء فنقول إنّ الجسم في حالة **سقوط حرّ**. للأجسام الساقطة جميعها سقوط حر في الحيز نفسه والتّسارع نفسه. إذا سقط جسم على سطح الأرض بشكل حرّ فإنه يكتسب سرعة بمعدل 10 م/ث في كلّ ثانية. كما هو مدون في الجدول 2.1.

التّسارع = التغير في السّرعة / الفترة الزمنية = 10 م/ث ÷ 1 ث = 10 م/ث^2

إننا نقرأ تسارع السّقوط الحرّ على أنه 10 م لكلّ مربع ثانية. (بدقة أكبر 9.8 م/ ث^2). وهذا هو نفسه عندما نقول إنّ التّسارع هو 10 م في كلّ ثانية. لاحظ مرة أخرى أنّ وحدة الزمن - الثانية - تظهر مرتين: تظهر في المرة الأولى في وحدة السّرعة، وفي المرة الأخرى في الزمن الذي تتغير السّرعة خلاله.

■ **نقطة فحص**

تزداد سرعة سيارة من 60 كم/ساعة إلى 65 كم/ساعة في ثانيتين. في حين تتحرك دراجة هوائية من السكون إلى 5 كم/ساعة. أيهما ذات تسارع أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

كلتاهما لهما التّسارع نفسه: لأنّ كلّا منهما يكتسب مقدار السّرعة نفسه في الفترة الزمنية نفسها. كلتاهما تتسارع بمقدار 2.5 كم/ساعه.ثانية.

لماذا يكون تسارع جميع الأجسام الساقطة بشكل حرّ هو نفسه؟ ترقّب الجواب عن هذا السّؤال في الفصل الثّالث.

في الشّكل 23.1، يمكن تصور سقوط حرّ لصخرة مثبت فيها عداد سرعة. عندما تسقط الصخرة، فإنّ عداد السّرعة يبين أنّ سرعة الصّخرة تزداد بمقدار 10 م/ث في كلّ ثانية. هذه الكمية 10 م/ث والتي تكتسب في كلّ ثانية هي تسارع الصّخرة. السّرعة المكتسبة والمسافة المقطوعة في السّقوط* موضحة في الجدول 2.1.

---

* مسافة السقوط خلال السّقوط: d = متوسط السّرعة المتّجهة x الزّمن

d = [(السّرعة الابتدائية + السّرعة النهائية) / 2] x الزّمن

$$d = \frac{0 + gt}{2} \times t$$

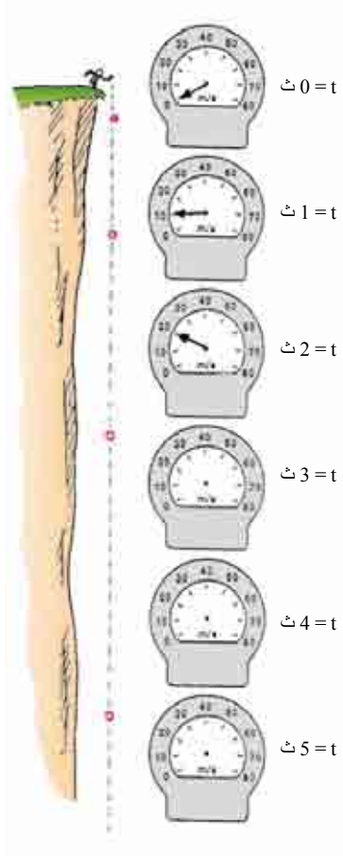
$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

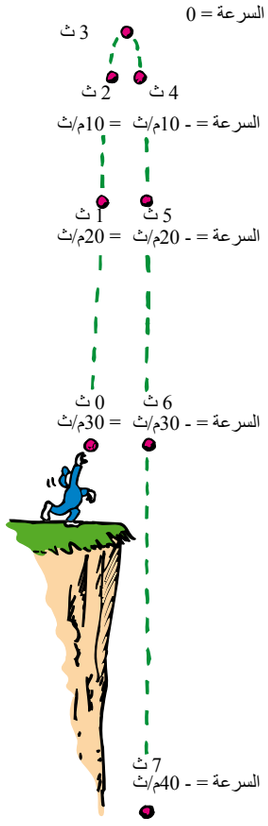
(لمزيد من التفاصيل: انظر الملحق ب.)

الشّكل 23.1

تخيّل جسمًا ضخمًا يسقط ويتصل به عداد سرعة. بعد كلّ ثانية من زمن سقوط الجسم، تجد أنّ سرعته تزداد بالمقدار نفسه: 10م/ثانية. الرسم التخطيطي لا يحوي عداد سرعة عند الأزمان

t = 3 ث ، و t = 4 ث و t = 5 ث.





الشّكل 24.1

المعدل الزمني لتغير السّرعة في كلّ ثانية هو نفسه.

(تسارع السّقوط الحرّ مفصّل بشكل أكبر في الملحق ب. وفي كتاب *العلوم الفيزيائية المفاهيمية*. كتاب التمارين.) نلاحظ أنّ المسافة المقطوعة في السّقوط الحرّ بدءا من السكون تتناسب بشكل مباشر مع مربع زمن السّقوط. وعلى صورة معادلة فإنّ

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

حركة ما نحو الأعلى ونحو الأسفل موضحة في الشّكل 24.1. الكرة تترك يد الرامي بسرعة 30 م/ث. وتسمى هذه السّرعة السّرعة الابتدائية. في الشّكل يتم استخدام ما هو متفق عليه + نحو الأعلى و – نحو الأسفل. الإشارة السالبة لقيم السّرعة نحو الأسفل تشير إلى الاتجاه نحو الأسفل. الأكثر أهمية هو ملاحظة أنّ فترات المواقع في الثانية الواحدة تعود إلى تغيرات السّرعة بمقدار 10 م/ث.

استخدم أرسطو المنطق ليُرَّسخ أفكاره المتعلقة بالحركة. في حين لجأ جاليليو إلى التجربة. وضح جاليليو أنّ التجربة تسبق المنطق في تفحص المعرفة. كما أنّه كان مهتمًّا بكيفية حركة الأشياء أكثر من اهتمامه بسبب تحركها. أما إسحق نيوتن، فقد كان الطريق مهيأ أمامه لكي يكوّن علاقات إضافية عن مفاهيم الحركة.

زمن التحليق

يملك بعض الرياضيين والراقصين مهارات قفز كبيرة. فعندما يقفزون إلى الأعلى، يبدو أنهم معلقون في الهواء، وكأنهم يتحدّون الجاذبية. اسأل أصدقاءك لتقدير وقت التحليق لقفزة كبيرة. ما الوقت الذي يقضيه اللاعب أو اللاعبة في الهواء؟ في الأغلب، سيقضون وقتًا يتراوح بين ثانيتين وثلاث ثوان. أمّا في الواقع، فإنّ الوقت هو أقلّ من ثانية واحدة فقط. إنّ توهّم وقتٍ أطول هو واحد من مجموعة أوهام لدينا تتعلق بالطبيعة.

للناس في العادة مجموعة أوهام لها علاقة بمقدار الارتفاع العموديّ الذي يستطيع الإنسان القفز إليه. معظم زملائك في الصّفّ الدّراسيّ لا يستطيعون القفز أعلى من 0.5 متر. هؤلاء الزملاء يمكنهم بسهولة تجاوز سياج ارتفاعه 0.5 متر. ولكن لتحقيق هذا الهدف؛ فإنّ أجسامهم سترتفع قليلا. إنّ ارتفاع السياج يختلف عن الارتفاع الذي يصل إليه "مركز الجاذبية" للشخص الذي يقوم بالقفز. كما أنّ العديد من الأشخاص يستطيعون تجاوز سياج ارتفاعه متر واحد. ولكن نادرًا ما نجد شخصًا يستطيع دفع مركز جاذبيته إلى ارتفاع متر. حتى أنّ بطل لعبة كرة السلة "مايكل جوردن" لم يستطع رفع مركز جاذبيته لأكثر من ارتفاع 1.25 م على الرغم من أنه يستطيع القفز إلى أعلى من السلة التي ارتفاعها أكثر من 3 أمتار.

إنّ أفضل طريقة لقياس قابلية القفز تتم بالقفز العموديّ. قف وواجه الجدار، واجعل قدميك ملتصقتين بالأرض وذراعيك ممدودتين إلى الأعلى. ضع إشارة على الجدار لتبيّن المدى الذي يمكنك تحقيقه ثم اقفز. ضع إشارة أخرى تشير إلى أقصى ارتفاع يمكنك تحقيقه. المسافة بين هاتين الإشارتين تقيس مقدرتك على القفز العموديّ. إذا كانت هذه المسافة أكثر من 0.6 م فأنت متميّز.

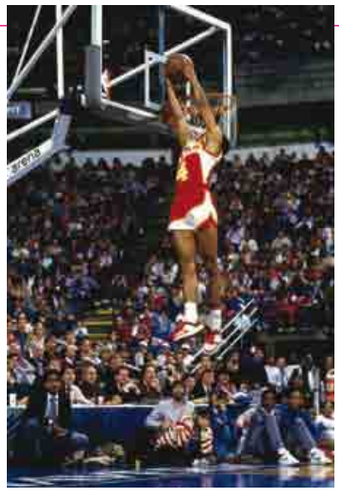
هنا الفيزياء. عندما تقفز إلى الأعلى، فإنّ قوة القفز تؤثر فقط عندما تكون قدماك ملامستين للأرض. كلما زادت هذه القوّة، زادت قوة الإقلاع. وبالتالي، فإنّ هذا يؤدي إلى قفزة أعلى. وفي اللحظة التي تغادر قدماك الأرض، فإنّ سرعتك العمودية تنخفض مباشرةً بمعدل ثابت g، وهو 10 م/ث^2. وعندما تصل إلى أقصى ارتفاع فإنّ سرعتك العمودية تساوي صفرًا. بعد ذلك، فإنك تبدأ الهبوط، وسرعتك في الهبوط تزداد تمامًا بالمعدل g نفسه. إذا هبطت بالوضعية نفسها التي أقلعت بها فإنّ زمن إقلاعك مساوٍ تمامًا لزمن سقوطك؛ وبالتالي فإنّ زمن التحليق مساوٍ لزمني الصّعود والهبوط معًا. وفي أثناء فترة التحليق، لا تؤثر أيّ حركة من حركات اليدين أو القدمين في طول فترته.

وكما هو مشار إليه في الملحق ب، فإنّ العلاقة بين زمن الصّعود أو زمن الهبوط مع الارتفاع العمودي يُحسب بالعلاقة التالية:

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

إذا كان الارتفاع العمودي d معلومًا، فإنّ العلاقة يمكن ترتيبها بحيث تصبح:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$



إحدى الملاحظات المهمة أنه لا يوجد أيّ لاعب سلة استطاع تجاوز 1.25 م كارتفاع عموديّ. ولمعرفة الوقت الذي استغرقه اللاعب مرتفعًا عن الأرض؛ دعنا نستخدم 1.25م بدلا من d، وكذلك قيمة g الدقيقة ألا وهي 9.8 م/ث^2. لمعرفة زمن الصعود أو زمن الهبوط؛ نصف زمن التحليق (مسار واحد)، فنحصل على

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}} = \sqrt{\frac{2(1.25)_{\text{m}}}{9.8_{\text{m/s}^2}}} = 0.50\text{s}$$

ضاعف هذا الزمن (لأنّ هذا الزمن هو زمن اتجاه واحد صعودًا أو هبوطًا) لتجد أنّ زمن التحليق الكليّ هذا 1 ثانية يتجاوز الرقم القياسيّ لأفضل الرياضيين. لقد ناقشنا الحركة العمودية، ولكن ماذا عن القفز السّريع؟ وكما سنرى في الوحدة الرابعة، فإنّ زمن التحليق يعتمد فقط على السّرعة العمودية للاعب لحظة القفز. عندما يكون اللاعب في حالة قفز في الهواء، فإنّ سرعته الأفقية ثابتة، أما سرعته العمودية فتخضع لتسارع. الفيزياء خادعة!

ملخّص المصطلحات

القصور الذّاتيّ Inertia: الخاصية التي تمانع بها الأجسام أيّ تغيّر في حركتها.

الكتلة Mass: كمية المادة في الجسم. وبتعريف أكثر تحديدًا، هي مقياس القصور أو الركود الذي يسلكه الجسم استجابة لأيّ مؤثر يعمل على تحريكه أو إيقافه، أو أيّ تغيير في حالة حركته.

الوزن Weight: بتعبير بسيط، القوّة الناتجة عن الجاذبية على أيّ جسم. وأكثر تحديدًا، فإنه قوة الجاذبية التي يضغط بها جسم ضد السّطح الذي يحمله.

الكيلوجرام Kilogram: وحدة كتلة. كيلو جرام واحد (يرمز إليه كجم) هو لتر واحد من الماء عند درجة حرارة 4°س.

القوّة Force: بتعبير بسيط، دفع أو سحب.

النيوتن Newton: الوحدة العلمية للقوة.
الحجم Volume: مقدار الحيّز الذي يشغله الجسم.
القوّة الصّافية Net force: دمج القوى جميعها التي تؤثر في جسم ما.
الكمّيّة المتّجهة Vector quantity: كمية يلزم لوصفها كلّ من مقدارها واتجاهها.
المتّجه Vector: هو سهم يمثّل مقدار كمية ما واتجاهها.
قاعدة الاتّزان Equilibrium rule: المجموع المتجه للقوى المؤثرة في جسم غير متسارع. وهذا يساوي صفرًا $\Sigma F = 0$
قوة الدّعم Support force: قوة تدعم جسمًا ضد الجاذبية. وغالبًا ما تسمى *القوّة العمودية*.
الاحتكاك Friction: قوة الممانعة التي تعارض الحركة أو محاولة حركة جسم فوق جسم آخر، أو خلال مائع.
مقاومة الهواء Air resistance: قوة الاحتكاك المؤثرة في جسم ما نتيجة حركته في الهواء.
السّرعة القياسيّة Speed: المسافة المقطوعة في وحدة الزمن.
السّرعة المتجهة Velocity: سرعة جسم مع تحديد اتجاه حركته.
التّسارع Acceleration: معدل تغير السّرعة المتّجهة مع الزمن؛ التغير في السّرعة المتّجهة يمكن أن يكون في المقدار أو الاتجاه، أو كليهما. وعادة يقاس بوحدات م/ث^2.
السّقوط الحرّ Free fall: سقوط تحت تأثير الجاذبية فقط - سقوط مع إهمال مقاومة الهواء.
زمن التّحليق Hang time: الزّمن الذي ترتفع خلاله قدم شخص ما فوق السّطح خلال قفزة عموديّة.

أسئلة مراجعة

كل فصل في هذا الكتاب يختتم بمجموعة من أسئلة المراجعة والتمارين. وبعض الفصول تحوي مسائل. صممت ***أسئلة المراجعة*** *بحيث تساعدك على الفهم الشامل، والحصول على أساسيات مادة الفصل. وعليك ملاحظة أنّ الإجابة عن بعض الأسئلة موجودة خلال الفصول. تركز* ***التمارين*** *على التفكير، وليس تذكّر المعلومات. وتهدف إلى فهم التعريفات والمبادئ والعلاقات في مادة الفصل. وفي حالات متعددة يكون الاهتمام بتمارين محددة لمساعدتك على تطبيق الأفكار الفيزيائية في حالات مألوفة. إذا استطعت فقط تغطية بعض الفصول في هذا الكتاب، فمن المتوقع منك الإجابة عن بعض التمارين لكلّ فصل. ويجب أن تكون الإجابات جملا كاملة مع تفصيلات أو رسومات عندما تكون قابلة للتطبيق. إنّ وجود عدد كبير من التمارين يترك لمدرسك خيارات متعددة من الواجبات.* ***أما المسائل*** *فتكون تمارين ذات أساس رياضيّ حيث تساعد الحسابات على استيعاب المفاهيم.*

1.1 أرسطو (Aristotle) والحركة

1. ما اعتقاد أرسطو فيما يتعلق بالسّرعة النّسبيّة لسقوط أجسام ثقيلة وأخرى خفيفة؟
2. هل اعتقد أرسطو أنّ القوى ضرورية لاستمرار حركة الأجسام المتحركة، أم اعتقد أنه بمجرد حركتها فإنها تُحرِّك نفسها؟

2.1 مبادئ جاليليو في القصور الذاتي

3. ما فكرة أرسطو التي لم يؤيدها جاليليو من خلال تجارب السّطح المائل؟
4. أيّ طريقتي جاليليو سادت في نشر المعرفة: الفلسفيّة أم التجريبيّة؟
5. ما الاسم الذي أعطي للخاصية التي تقاوم بها الأجسام التغيرات في حركتها؟

3.1 الكتلة ـ مقياس القصور الذّاتيّ

6. أيّ مما يلي يعتمد على الموضع: الوزن أم الكتلة؟
7. أين يكون وزنك أكبر: على الأرض أم على القمر؟ وماذا عن كتلتك؟
8. ما وحدات القياس لكلّ من الوزن والكتلة؟
9. إذا كان وزن كيلوجرام واحد 9.8 نيوتن على الأرض. فهل وزنه على القمر أكثر أم أقلّ ؟

4.1 القوّة المحصّلة

10. ما القوّة المحصّلة على صندوق يُدفع بقوة 50 نيوتن في اتجاه اليمين، وبقوة 20 نيوتن في اتجاه اليسار؟
11. ما الكميتان الضّروريتان لأيّ كمية متجهة؟

5.1 قانون الاتّزان

12. ما القوّة التي تنشأ في حبل نتيجة سحبه من نهايتيه في اتجاهين متضادين؟
13. ما مقدار الشد الناشئ في حبل عموديّ يحمل كيسًا من التفاح وزنه 20 نيوتن وهو في حالة سكون؟
14. ماذا تعني $\Sigma F = 0$ ؟

6.1 قوة الدّعم

15. لماذا تسمى قوةُ الدّعم القوّة العمودية غالبًا؟
16. عندما تزن نفسك على ميزان، فكيف تعمل قوة الدّعم المؤثرة فيك من الميزان بالمقارنة مع قوة الجاذبية بينك وبين الأرض؟

7.1 الاتّزان التّحريكيّ

17. كرة بولنج ساكنة، وكرة أخرى مماثلة تتدحرج أسفل مسار مائل بسرعة ثابتة. أيّهما في حالة اتزان؟ أم أنّ كلتيهما في حالة اتزان؟ وضّح إجابتك.
18. إذا سُحب جسمٌ بسرعة ثابتة، فكيف تعرف مقدار الاحتكاك المؤثر فيه مقارنةً بقوة السحب؟

8.1 قوة الاحتكاك

19. كيف يؤثر اتجاه قوة الاحتكاك مقارنة بالسّرعة لجسم منزلق؟
20. إذا دفعت قطعة أثاث ثقيلة نحو اليمين بحيث انزلقت، فما اتجاه الاحتكاك عليها؟
21. افترض أنك دفعت قطعة أثاث ثقيلة نحو اليمين، ولكن ذلك لم يكن كافيًا لكي تنزلق. فهل هنالك قوة احتكاك تؤثر فيها؟

9.1 السرعتان؛ القياسيّة والمتّجهة

22. ميّز بين السرعتين؛ القياسيّة والمتّجهة.
23. لماذا نقول إنّ السّرعة المتّجهة هي متجه، أما السّرعة القياسيّة فلا؟
24. إلامَ يشير مقياس السّرعة في العربة؛ إلى متوسط السّرعة أم إلى السّرعة اللحظية؟
25. كيف يمكنك أن تكون ساكنًا ومتحركًا بسرعة 100,000 كم/ساعة في الوقت نفسه ؟

10.1 التّسارع

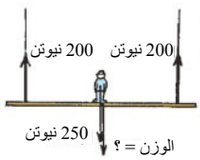
26. ميّز بين السّرعة المتّجهة والتّسارع.
27. ما تسارع جسم يتحرك بسرعة ثابتة؟ وما القوى المحصّلة المؤثرة فيه في هذه الحالة؟
28. ما تسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا على سطح الأرض؟

تمارين

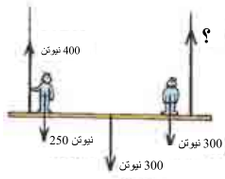
● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

لا تنزعج من عدد التمارين الكبير في هذا الكتاب. إذا كان مقررك يتطلب تغطية عدد من الفصول من هذا الكتاب فإنّ مدرّسك سيحدّد بعض التمارين فقط من كلّ فصل.

1. ● تتحرك الكويكبات في الفضاء لبلايين السنين. ما الذي يجعلها في حركة مستمرة؟
2. ● يحمل مسبار (مجسّ) الفضاء صاروخًا إلى الفضاء الخارجي. ما الذي يجعل المسبار يستمر في حركته بعد أن يترك الصاروخ؟
3. ● تتباطأ كرة البولنج المتدحرجة على مسارها تدريجيًا. كيف فسّر كلّ من أرسطو وجاليليو هذه الملاحظة؟
4. ● ما فكرة أرسطو طاليس التي عارضها جاليليو في تجربة برج بيزا المائل بتجاربه على السّطح المائل؟
5. ● عندما تتدحرج كرة على سطح مائل نحو الأسفل، فإنها تكتسب سرعة بسبب الجاذبية. ولكن عندما تتدحرج نحو الأعلى على السّطح المائل، فإنها تخسر سرعة بسبب الجاذبية. لماذا لا تقوم الجاذبية بدور عندما تتدحرج الكرة على السّطح الأفقيّ؟
6. ● ما الكمية الفيزيائية التي تقيس مقدار القصور الذّاتيّ لجسم ما؟
7. ● أيّهما يملك كتلة أكبر: 2 كجم من صوف وسادة، أم قطعة صغيرة من الحديد ذات 3 كجم؟ أيهما أكبر حجمًا؟ لماذا تختلف إجاباتك؟
8. ● هل يفقد الشخص الذي يتبع حمية كتلةً أم وزنًا؟
9. ● أجرى هيويت تجربة عملية في غرفة الصف وذلك عندما استلقى على ظهره، في حين وُضع سندان حداد على صدره. قام مساعد هيويت بالضرب على السندان بشاكوش قويّ، ومع ذلك لم يتأذّ هيويت. ما وجه الشبه بين الفيزياء في هذه التجربة وتلك الموضحة في الشّكل 8.1؟
10. ● ما كتلتك بالكيلوجرامات؟ ما وزنك بالنيوتن؟
11. ● قوة الجاذبية على القمر (1/6) قوة الجاذبية على الأرض فقط. ما وزن جسم على القمر إذا كانت كتلته 10كجم على الأرض؟
12. ● يبين الشّكل سقالة دهان في حالة اتزان ميكانيكي. والشخص الذي يقف عند منتصفها يزن 250 نيوتن، والشد في كلّ من الحبلين 200 نيوتن. ما وزن السّقالة؟

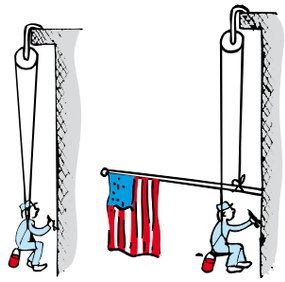


13. ■ سقالة تزن 300 نيوتن، ويقف فوقها عاملا دهان؛ أحدهما يزن 250 نيوتن، والآخر 300 نيوتن، كما في الشّكل. إذا كانت قراءة الميزان الأيسر 400 نيوتن، فماذا يجب أن تكون قراءة الميزان الأيمن؟



14. ■ نيل نيوتن متعلق بنهايتي حبل، وفي حالة سكون كما في الشّكل. ماذا يجب أن تكون قراءة الميزان مقارنة مع وزنه؟

15. ■ يتأرجح هاري "عامل الدهان" سنة بعد أخرى على كرسي متأرجح. إذا كان وزنه 500 نيوتن، والحبال المجهولة لها نقطة قطع عند 300 نيوتن. لماذا لا ينقطع حبل التعليق المربوط به كما في الشّكل التالي؟ في أحد الأيام، كان هاري يدهن بالقرب من قاعدة سارية علم. وبهدف التغيير، قام بربط النهاية الحرّة للحبل مع قاعدة السارية بدلا من الكرسي المتأرجح، كما في الشّكل الأيمن. لماذا اقتربت نهاية رحلة هاري مبكرًا؟



16. ● إذا انزلق لاعب هوكي على الجليد بسرعة ثابتة، فهل يكون في حالة اتزان ميكانيكيّ؟ لماذا؟ وإن كان الجواب بالنفي فلماذا؟

17. ● إذا كنت تدفع أفقيًا عربة تحمل طاولة مكتبك بحيث انزلقت العربة على السّطح واكتسبت سرعة قليلة، فقارن بين الاحتكاك المؤثر في العربة وقوة دفعك.

18. ● عندما تضع كتابًا على طاولة، فإنّ الطاولة تؤثر للأعلى بقوة في الكتاب. لماذا لا تجعل قوةُ دفع الطاولة على الكتاب إلى الأعلى الكتابَ يرتفع عنها ؟

19. ■ إبريق فارغ وزنه W موضوع على طاولة. ما القوّة الداعمة التي تؤثر من الطاولة في الإبريق؟ وما قوة الدّعم المؤثرة عندما يُملأ الإبريق بماء وزنه W؟

20. ● لكي تحرّك خزانة ثقيلة على أرضية أفقية وبسرعة ثابتة، فإنك تؤثّر بقوة أفقية مقدارها 600 نيوتن. هل قوة الاحتكاك المؤثرة في الخزانة تكون أكبر من 600 نيوتن، أم أقلّ، أم تساويها ؟ وضّح إجابتك.

21. ● افترض أنّ طاولتك داخل غرفة نومك وفي حالة سكون. إذا بدأت أنت وصديقك برفعها، فهل تزيد القوّة الداعمة من الأرض على الطاولة؟ أم تقلّ؟ أم تبقى ثابتة؟ ماذا يحدث للقوة الداعمة على قدمك وكذلك على قدم صديقك؟

22. ● صحِّح كلام صديقك الذي يقول: "عربة تدور حول منحنى دائريّ بسرعة متجهة ثابتة 100كم/ساعة".

23. ● ما سرعة الاندماج عندما تصطدم سيارة سرعتها 100كم/ساعة بمؤخرة سيارة أخرى تسير بسرعة 98 كم/ساعة وفي الاتجاه نفسه؟

24. ● أنت موجود داخل سيارة تتحرك بسرعة معروفة، وتلاحظ سيارة أخرى تتحرك في اتجاهك وبالسّرعة نفسها لسيارتك. فما سرعة اقتراب السّيارة بالنسبة إليك؟ قارن ذلك بسرعة سيارتك.

25. ● يقود هاري هوتشوت قاربا خفيفا يجري في ماء ساكن بسرعة 8 كم/ساعة. ما مدى نجاحه في قيادة هذا القارب في نهر يجري بسرعة 8 كم/ساعة، وفي عكس اتجاه حركة القارب؟

26. ● افترض أنّ جسما يرتبط به عداد سرعة ويسقط بشكل حرّ. ما مقدار الزّيادة في سرعة سقوطه بعد كلّ ثانية من السّقوط؟

27. ● في التّمرين السّابق، إذا كان الجسم يرتبط به عداد قياس المسافة، فما المعادلة الأكثر مواءمة والتي تعطي المسافة المقطوعة في الثانية الواحدة؟ هل تكون قراءة المسافة هي نفسها، أم تختلف للثواني المتتابعة؟ وضّح.

28. ● إذا قذف لاعبٌ الكرةَ عموديّا إلى الأعلى، فما مقدار تناقص سرعتها في كلّ ثانية خلال ارتفاعها؟ مع افتراض عدم وجود مقاومة للهواء، ما مقدار تزايد سرعتها في كلّ ثانية خلال سقوطها؟ ما الزمن اللازم خلال ارتفاعها؟ وما الزمن اللازم لهبوطها؟

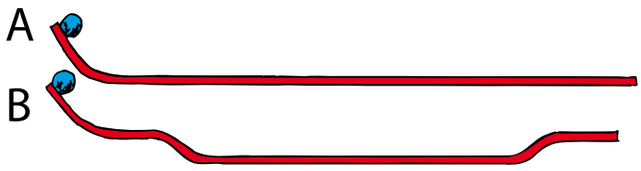
29. ■ يجلس شخص عند حافة منحدر (الشّكل 24.1) يرمي كرة أفقيّا بسرعة ما، وكرة أخرى عموديّا نحو الأسفل بالسّرعة نفسها. بإهمال مقاومة الهواء، أيّ الكرتين يكون لها سرعة أكبر عندما تصطدم بالأرض؟

30. ● ما تسارع سيارة تتحرك بسرعة ثابتة 100كم/ساعة خلال 100 ثانية؟ اشرح إجابتك وبيّن لماذا يكون هذا السّؤال تمرينا في قراءة متأنيّة كما هو في الفيزياء أيضًا.

31. ● يقول يعقوب: إنّ التّسارع هو كيفية سرعة مسيرك. أما كاتلين فتقول: إنّ التّسارع هو كيفية الحصول على سرعة أكبر بشكل أسرع. أي القولين يعدّ صحيحًا؟

32. ● يسقط جسم سقوطًا حرّا من السّكون، ما تسارعه في نهاية الثانية الخامسة من سقوطه؟ وفي نهاية الثانية العاشرة؟ وضّح إجابتك (ميّز بين السّرعة والتّسارع).

33. ■ كرتان A وB، تركتا تسقطان معًا من السّكون عند النهاية اليسرى لمسارين لهما الطّول نفسه كما في الشّكل. أيّ الكرتين تصل نهاية المسار أولا؟



34. ■ بالرجوع إلى المسارين أعلاه.

(أ) هل تتدحرج الكرة B أسرع على الجزء السّفليّ من المسار B من تدحرج الكرة A على المسار A ؟

(ب) هل السّرعة المكتسبة من الكرة B المتحركة أسفل الجزء الإضافي المنخفض من المسار، تكون نفس الجزء المفقود من السّرعة عند ارتفاعها في نهاية المسار الأيمن – هل هذا يعني أنّ كلتا الكرتين A وB لهما السّرعة نفسها عند نهاية كلا المسارين.

(ج) على المسار B، هل يكون متوسط سرعة الانحدار نحو الأسفل، أو الارتفاع إلى الأعلى هو متوسط سرعة الكرة A نفسه خلال الزمن نفسه؟

(د) عمومًا، أيّ الكرتين A وB لها متوسط سرعة أكبر؟ (هل ترغب في تغيير إجابتك للمسألة السّابقة؟).

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● أوجد القوّة المحصّلة الناجمة عن قوة 30 نيوتن وقوة 20 نيوتن فيما يلي:
(أ) كلتا القوتين تؤثران في الاتجاه نفسه.
(ب) القوتان في اتجاهين متعاكسين.
2. ● تلزم قوة أفقية مقدارها 100 نيوتن لدفع قطعة أثاث على سطح بسرعة ثابتة.
(أ) ما القوّة المحصّلة المؤثرة في قطعة الأثاث؟
(ب) ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة في قطعة الأثاث المنزلقة؟
(ج) ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة عندما تكون قطعة الأثاث ساكنة على السّطح الأفقي؟
3. ● احسب متوسط سرعة كرة تنس تقطع طول الملعب كاملاً، 24 م في 0.5 ث.
4. ● احسب متوسط السّرعة المتّجهة (بوحدة الـ كم في السّاعة) التي يركض بها لاري في اتجاه مخزن يبعد 4 كم، ويقطع المسافة خلال 30 دقيقة.
5. ● احسب تسارع كرة تبدأ الحركة من السكون وتتدحرج أسفل منحدر، وتكتسب سرعة 25 م/ث في خمس ثوانٍ.
6. ● وسّع الجدول 2.1 (حيث قيمة من 0 ث إلى 5 ث) إلى (0 ث إلى 10 ث)، مع افتراض عدم وجود مقاومة هواء.
7. ■ تقود ليليان دراجتها الهوائية على طريق مستقيم بمتوسط سرعة متجهة v.
(أ) اكتب معادلة توضح المسافة التي تقطعها مع الزمن t.
(ب) إذا كانت سرعة ليليان المتوسطة هي 7.5 م/ث خلال 50 دقيقة، فبيّن أنّ المسافة المقطوعة هي 2300 م.
8. ■ تتحرك سيارة سباق على مسار دائريّ نصف قطره r.
(أ) اكتب معادلة متوسط سرعة السيارة عندما تقطع دورة كاملة في زمن t.
(ب) إذا كان نصف قطر المسار 400 م، والزّمن اللازم لإتمام دورة هو 40 ث، فبيّن أنّ متوسط السّرعة على المسار هو 63 م/ث.
9. ■ تقذف كرة نحو الأعلى بسرعة ابتدائية 30 م/ث.
(أ) بيّن أنّ الزّمن اللازم لكي تصل الكرة أعلى نقطة هو ثلاث ثوان.
(ب) بين أنّ الارتفاع الذي تصل إليه هو 45 م (أهمل مقاومة الهواء).
10. ■ تقذف كرة نحو الأعلى بسرعة كافية بحيث تمكث في الهواء عدة ثوان.
(أ) ما سرعة الكرة عندما تصل أعلى نقطة؟
(ب) ما سرعتها قبل ثانية واحدة من وصولها أعلى نقطة؟
(ج) ما التغير في سرعتها خلال تلك الثانية؟
(د) ما سرعتها بعد ثانية واحدة من وصولها أعلى نقطة؟
(هـ) ما التغير في سرعتها خلال تلك الثانية؟
(و) ما التغير في السّرعة المتّجهة خلال فترة ثانيتين بدءًا من ثانية قبل أعلى نقطة وحتى ثانية بعد أعلى نقطة؟ (تنويه: السؤال عن السّرعة المتّجهة وليس القياسيّة).
(ز) ما تسارع الكرة خلال أيّ فترة زمنية وعند اللحظة التي تكون عندها السّرعة صفرًا؟
11. ♦ بدءًا من السكون، التغير في سرعة جسم ما = at. وهذا يعني أنّ $v_f - v_0 = at$ أو $t = \frac{v_f - v_0}{a}$. المسافة المقطوعة من جسم ما تحسب بالعلاقة $d = v\ t$. حيث $v = \frac{v_f + v_0}{2}$. ابدأ من $d = v\ t$ وبالتعويض المناسب بيّن أنّ $d = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2a}$.

لاحظ أنّ هذه المعادلة لا تحوي زمنا. لذا، فإنّها تستخدم في حالة عدم إعطاء الزّمن في المسألة.

12. ♦ جسيم مشحون بشحنة كهربائية، ويتسارع بانتظام من السّكون إلى سرعة v عندما يقطع مسافة x.
(أ) بيّن أنّ تسارع الجسيم $a = \frac{v^2}{2x}$.
(ب) إذا بدأ الجسيم من السّكون بحيث أصبحت سرعته 1.8×10^7 م/ث بعد أن قطع مسافة 0.10 م، فبيّن أنّ تسارع الجسيم 1.6×10^{15} م/ث^2.

أنشطة استكشافية

1. جدّتك مهتمة بتقدمك الأكاديميّ، وكمعظم الجدّات، فإنّها تملك خلفية علمية بسيطة ومن الممكن أن تشكل الرياضيات معضلة لها. اكتب لها رسالة دون استخدام المعادلات الرياضية، واشرح لها الفرق بين السّرعة والتّسارع. وأخبرها كذلك عن سبب الخلط الذي يقع فيه زملاؤك بين هذين المفهومين، مع ذكر بعض الأمثلة التي تزيل هذا اللبس.
2. قف بجانب حائط، وضع إشارة عند أعلى نقطة يمكنك الوصول إليها، ثمّ اقفز عموديّا إلى الأعلى، وضع إشارة جديدة عند أعلى نقطة تصلها. المسافة بين الإشارتين هي مسافة القفز العمودية لك. استخدمها لحساب زمن التحليق.
3. اختر أيّ طريقة لمعرفة سرعة سيرك ماشيًا وراكضًا.
4. اذهب أبعد من النشاط السابق وحاول السير في الغرفة بتسارع ثابت. (ليس سهلا!)

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا تمكنت من استيعاب هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 مما يلي. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى فصل آخر.

اختر الإجابة المناسبة فيما يلي:

1. ترتبط فكرة القصور الذّاتيّ غالبًا بـ:
أ- الكتلة.
ب- الوزن.
ج- الحجم.
د- الكثافة.

2. تكون كتلة 1 كجم من الحديد على الأرض:
أ- أقلّ على القمر.
ب- نفسها على القمر.
ج- أكبر على القمر.
د- نفسها في أيّ مكان.

3. يكون وزن 1 كجم من الحديد على الأرض:
أ- أقلّ على القمر.
ب- نفسه على القمر.
ج- أكبر على القمر.
د- نفسه في أيّ مكان.

4. عندما نقول إنّ 1 كجم يزن 9.8 نيوتن، فإننا نقصد بذلك أنّ:
أ- 1 كجم هو 1 نيوتن.
ب- هذا صحيح على سطح الأرض.
ج- هذا صحيح في كلّ مكان.
د- الكتلة والوزن هما الشيء نفسه.

5. يطبَّق قانون الاتّزان $\Sigma F = 0$ ، على:
أ- أجسام وأنظمة ساكنة.
ب- أجسام وأنظمة تتحرك بانتظام على خط مستقيم.
ج- أ+ب.
د- لاشيء مما ذكر.

6. إذا وقفت على ميزانين بحيث تكون كلّ قدم على ميزان، والوزن يتوزع بالتساوي، فإنّ كلّ ميزان يقرأ:
أ- وزنك .
ب- نصف وزنك.
ج- صفرًا.
د- أكثر من وزنك.

7. يرتبط الفرق بين السرعتين المتّجهة والقياسيّة غالبًا بـ:
أ- التّسارع.
ب- المقدار.
ج- الاتجاه.
د- كلّ ما ذكر.

8. عندما تزداد سرعة كرة بالمقدار نفسه في وحدة الزمن، فإنّ تسارعها:
أ- يزداد أيضًا في كلّ ثانية.
ب- يقلّ في كلّ ثانية.
ج- يكون ثابتًا.
د- لا شيء مما ذكر.

9. عندما يسقط جسم سقوطًا حرًّا، فإنه يكتسب 10 م/ث في كلّ ثانية من سقوطه. وعليه، فإنّ تسارعه يكون:
أ- 10 م/ث.
ب- 10 م/ث لكلّ ثانية.
ج- أ+ب.
د- لاشيء مما ذكر.

10. يسقط جسم سقوطا حرّا. فإذا كانت سرعته في لحظة ما 30 م/ث، فإنّ سرعته بعد ثانية واحدة تصبح:-
أ- نفسها.
ب- 35 م/ث.
ج- أكبر من 35 م/ث.
د- 60 م/ث.

إجابات إختبار الاستعداد للقراءة

أ، ج، ج، ب، د، ج، د، ج، أ، ج

الفصل 1 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 1.21، 1.23، 1.24

أشرطة فيديو

- قانون نيوتن الأول (القصور الذاتي)
- خدعة مفرش المائدة القديمة
- لفافة ورق المرحاض
- القصور الذاتي للأسطوانة
- القصور الذاتي للسندان
- تعريف وحدة النيوتن
- تعريف السرعة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة
- تغير السرعة المتجهة
- تعريف التسارع
- أمثلة رقمية على التسارع
- السقوط الحر: ما مقدار سرعته؟
- السقوط الحر: إلى أي بعد؟
- شرح تسارع السقوط الحر

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

قوانين نيوتن في الحركة

2

1.2 قانون نيوتن الأول في الحركة

2.2 قانون نيوتن الثّاني في الحركة

3.2 القوى وتفاعلاتها

4.2 قانون نيوتن الثّالث في الحركة

5.2 خلاصة قوانين نيوتن الثّلاثة

لقد هيّأت أعمال جاليلو الوضع لإسحاق نيوتن الذي ولد بعد فترة قصيرة من وفاة جاليلو سنة 1642. استطاع نيوتن وهو في سنِّ الثالثة والعشرين صياغة قوانينه الثّلاثة المشهورة في الحركة وتطويرها، والتي أكملت هدم فيزياء أرسطو طاليس. وقد ظهرت هذة القوانين الثلاثة بدايةً في واحد من أشهر الكتب في التاريخ، ألا وهو Newton's Philosophia Naturalis Principia Mathematica والذي غالبا ما يبسط بعنوان Principia (المبادئ الرّياضيّة في الفلسفة الطّبيعيّة لنيوتن). يعدّ القانون الأوّل إعادة صياغة لمبدأ جاليليو في القصور الذّاتيّ، في حين يرتبط القانون الثاني بالتسارع وسببه، أمّا القانون الثالث فهو قانون الفعل وردّ الفعل.

إن قوانين نيوتن الثلاثة في الحركة هي أساس الميكانيكا في الوقت الحاضر، وهي ذاتها القوانين التي أوصلت الإنسان الى القمر.

---

*العنوان اللاتيني يعني"المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية".

انظر سيرة نيوتن في الصفحة 53.

1.2 قانون نيوتن الأول في الحركة

يمكنك التّفكير بالقصور الذّاتيّ بتعبير آخر على أنه "الكسول" (أو مقاومة التغيير).

يسمّى **قانون نيوتن الأول في الحركة (Newton's First law of motion)** عادة *قانون القصور الذاتي*، وهو إعادة صياغة لفكرة جاليلو.

يستمر كلّ جسم في حالتي سكونه أو سرعته المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر فيه قوة صافية.

إنّ الكلمة المفتاحية في هذا القانون هي *الاستمرار*: أي أنّ أيّ جسم ما *يستمر* بفعله مهما حصل ما لم تؤثّر فيه قوة. إذا كان الجسم ساكنا، فإنه يستمر في حالة سكونه. وقد وُضّح هذا ببراعة عند سحب غطاء طاولة من أسفل أطباق موضوعة على سطحها، بحيث بقيت هذه الأطباق في حالة سكونها الابتدائية*. ومن جهة أخرى، إذا كان جسم ما متحرّكًا، فإنه *يستمر* في حركته دون تغيير في سرعته أو اتّجاهه. وهذا واضح بالنسبة إلى مسبار فضائيّ مستمر الحركة في الفضاء الخارجيّ. وتسمّى هذه الخاصيةُ للأجسام التي تقاوم التغيرات في حركتها **القصورَ الذاتيَّ (Inertia)**.

الشّكل 1.2
القصور الذاتيّ في الفعل.

■ نقطة فحص

عندما تسير عربة فضاء في مسار شبه دائري حول الأرض، فهل تلزم قوة للمحافظة على سرعة العربة العالية؟ إذا انعدمت قوةُ الجاذبية فجأة، ما هو المسار الذي ستتبعه العربة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا توجد قوة باتّجاه حركة العربة؛ فالعربة تسير بسبب قصورها الذاتيّ. والقوة الوحيدة المؤثرة فيها هي قوة الجاذبية التي تؤثر باتّجاه عمودي في اتّجاه الحركة (باتّجاه مركز الأرض). وسنرى لاحقا أنّ هذه القوة المتعامدة هي المسؤولة عن استمرار العربة في مسارها الدائريّ. إذا انعدمت قوة الجاذبية فجأة، فستتحرك العربة في خطّ مستقيم وبسرعة ثابتة (سرعة متجهة ثابتة).

القصور الذاتي ليس شكلًا من أشكال القوى، بل هو خاصية مقاومة المادة لإحداث تغيير في حركتها.

لماذا تسقط قطعة النقود في الكاسة عندما يسحب الغشاء الورقي بقوة؟

لماذا تعمل الحركة نحو الأسفل والتوقف المفاجئ للمطرقة على تثبيت رأس المطرقة؟

لماذا تعمل قوّة متزايدة تزايدًا بطيئًا إلى الأسفل على قطع الحبل المتصل مع الكرة من الأعلى أما الزيادة المفاجئة فتقطع الحبل مع الكرة من الأسفل

الشّكل 2.2
أمثلة على القصور الذاتيّ.

الشّكل 3.2
تباطؤ سريع شعر به السائق المتحرك إلى الأمام ؛ فعل القصور الذاتي!

* بالتأكيد لم يكن كوبرنيكوس أول من فكّر بأنّ الشّمس هي مركز النظام الشّمسي؛ ففي القرن الخامس على سبيل المثال، فكّر الفلكي الهندي أريابهاتا بأنّ الأرض تحيط بالشّمس وليس العكس (كما اعتقد باقي العالم).

الأرض المتحرّكة

نيكولاس كوبرنيكوس (1543 - 1473)

كما ذُكر في المقدمة، فقد تسبب العالم البولوني الفلكي كوبرنيكوس بجدل كبير في القرن السّادس عشر عندما نشر كتابًا افترض فيه أنّ الأرض تدور حول الشّمس*، معارضا بذلك الفكرة السّائدة حينذاك في أنّ الأرض هي مركز الكون. إنّ مبدأ كوبرنيكوس في اعتباره الشّمس هي مركز المجموعة الشّمسية كان نتيجة سنوات من دراسة حركة المجرات. لقد تحفظ كوبرنيكوس من نشر نظريته لعامّة الناس لسببين: الأول هو خوفه من الاضطهاد، لأنّ فكرته تتعارض مع الفكرة السائدة آنذاك؛ ما يعدّ هجومًا على النظام السّائد. أمّا السّبب الثّاني فهو تحفظ شخصي، حيث لم يستطع التوفيق بين فكرة حركة الأرض والأفكار السائدة حول الحركة؛ لأنّ فكرة القصور لم تكن معروفة لديه ولا لدى الآخرين من معاصريه. وفي آخر أيام حياته، وبإلحاح من أصدقائه المقرّبين، قام بإرسال مخطوطته *De Revolutionibus Orbium Coelestium*** إلى الطباعة. وقد وصلته النّسخة الأولى مما نشره يوم وفاته في 24 أيار من عام 1543.

إنّ فكرة حركة الأرض كانت موضع خلاف كبير، فوجود قوة هائلة كافية لتحريك الأرض كانت خارج تصوّر تفكير الأوروبيين مثل أرسطوطاليس، الذين لم يكن لديهم أيّ فكرة عن مبدأ القصور الذاتيّ. إحدى الحجج ضد حركة الأرض كانت التالي: افترض أنّ طائرًا موجودًا على أحد أغصان شجرة عالية، ويوجد على الأرض أسفل منه دودة سمينة. يشاهد الطائر الدودة ويسقط عموديًا ويلتقطها. وهذا مستحيل فيما لو كانت الأرض متحركة.

يجب أن تتحرّك الأرض حول الشّمس بسرعة هائلة لكي تكمل دورانها في سنة واحدة. فعندما يحلّق الطّائر في الهواء مبتعدًا عن الغصن باتجاه الأرض نحو الأسفل، تكون الدودة مندفعة بعيدا مع حركة الأرض. ومن الواضح أنّ التقاط الدوده الموجودة على أرض متحركة هي مهمة مستحيلة. حقيقة أنّ الطيور التي تقف على الغصون يمكنها إلتقاط الديدان يعدّ دليلا واضحًا على أنّ الأرض يجب أن تكون ساكنة.

هل يمكن تصوّر الخطأ في هذه الحجة؟ مبدأ القصور الذاتي مفقود. عليك ملاحظة أنّ الأرض ليست هي التي تتحرك بسرعة كبيرة فقط ، ولكن الشجرة أيضًا، وغصنها، والطائر الذي يقف عليه، وكذلك الدودة في الأسفل، وحتى الهواء الموجود بينها. تبقى الأشياء المتحركة متحركة إذا لم يكن هنالك قوى تؤثّر فيها. ولهذا، عندما يسقط الطّائر عن الغصن، فإنّ حركته الجانبية الابتدائية تستمر دون تغيير، فالطّائر يلتقط الدودة دون أيّ تأثير من حركة محيطه.

نحن نعيش على أرض متحرّكة؛ فإذا وقفت بجانب حائط وقفزت إلى الأعلى، فإنّ قدميك لا تلامسان أرضية المكان. هل الحائط المتحرك يقترب باتجاهك؟ لم لا؟ إنّ هذا لا يحدث، لأنك تنتقل بالسرعة نفسها، قبل عملية القفز وفي أثنائها وبعدها. إن سرعة الأرض بالنسبة إلى الشّمس ليست هي سرعة الحائط بالنسبة إليك.

واجه الناس صعوبات مع مثل هذه الأفكار قبل أربعمئة سنة. ويعود السّبب في ذلك إلى عدم تنقلهم بوسائط نقل سريعة جدًا. بل كانوا يستخدمون وسائط نقل بطيئة كالعربات التي تجرها الخيول. كما أنّ الناس حينئذٍ كانوا أقل وعيًا بتأثيرات القصور الذاتيّ. حاليًا، عندما نقذف قطعة نقد إلى الأعلى من داخل سيارة، أو حافلة، أو طائرة متحركة بسرعة كبيرة، فإننا نلتقط قطعة النّقد عندما تسقط تمامًا كما لو أننا داخل وسيلة النقل هذه وهي ساكنة. نحن نشاهد إثبات قانون القصور من خلال الحركة الأفقية نفسها لقطعة النّقد قبل وخلال وبعد التقاطها؛ تبقى قطعة النقد معنا دائمًا.

الشّكل 4.2

هل يمكن للطّائر السّقوط نحو الأسفل، والتقاط الدودة إذا كانت الأرض تتحرك بسرعة 30 كم/ث؟

الشّكل 5.2

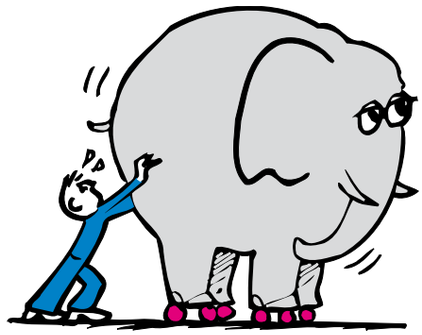
إذا قذفت قطعة نقدية وأنت جالس في طائرة سريعة، فإنّها تسلك كما لو أنها في طائرة ساكنة. إنّ قطعة النقد تبقى معك بفعل القصور الذاتيّ!

---

* بالتأكيد لم يكن كوبرنيكوس أول من فكّر بأنّ الشّمس هي مركز النظام الشّمسي؛ ففي القرن الخامس على سبيل المثال، فكّر الفلكي الهندي أريابهاتا بأنّ الأرض تحيط بالشّمس وليس العكس (كما اعتقد باقي العالم).

** العنوان اللاتيني يعني "تطورات المناحي السماوية" لنيكولاس كوبرنيكوس.

2.2 قانون نيوتن الثّاني في الحركة



الشّكل 6.2

شكل تفاعليّ: يعتمد التّسارع على كلٍّ من مقدار قوة الدفع والكتلة المعرضة للدفع.

لقد كان إسحق نيوتن أوّل من حقق الترابط بين القوة والكتلة في إنتاج تسارع. وقد كان هذا أحد أهم القوانين المركزية في الطّبيعة. لقد عبَّر عنه *بالقانون الثاني في الحركة*. ينصّ **قانون نيوتن الثّاني في الحركة** على:

يتناسب التّسارع الناتج عن القوة المحصّلة على جسم ما طرديًا مع تلك القوة، ويكون في اتجاه تلك القوة المحصلة نفسها، في حين يتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم.

ويرمز إلى هذا بما يلي:

التسارع ~ القوة المحصلة / الكتلة

وباستخدام وحدات ملائمة مثل: النيوتن للقوة، والكيلوجرام للكتلة، والمتر لكلّ مربع ثانية (م/ث^2) للتسارع، نحصل على معادلة مطابقة:

التّسارع = القوة المحصّلة / الكتلة

وباختصار، حيث يشير a إلى التسارع، أما F فهو القوة المحصلة، وm الكتلة، فإنّ

$$a = \frac{F}{m}$$

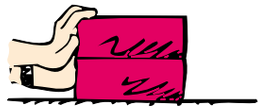
يساوي التّسارعُ القوةَ المحصلة مقسومة على الكتلة. إذا تضاعفت القوة المحصلة المؤثّرة في جسم ما فإنّ تسارع الجسم سيتضاعف. بدلا من ذلك، ومع افتراض أنّ كتلة الجسم قد تضاعفت فإنّ تسارع الجسم يقلّ إلى النصف. ولكن إذا تضاعف كلٌّ من القوة المحصلة والكتلة فإنّ تسارع الجسم لا يتغير. (هذه العلاقات موضّحة بشكل رائع في *كتاب مبادئ العلوم الفيزيائية العملية*.)

القوة *تغيّر* الحركة ولا تسبّبها.

قوة اليد تسارع قطعة القرميد

مضاعفة القوة تؤدي إلى
مضاعفة مقدار التسارع

مضاعفة القوة المؤثرة في كتلة
مضاعفة يعطي التسارع نفسه



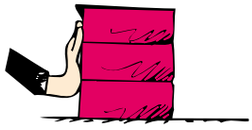
الشّكل 7.2

التسارع يتناسب عكسيًّا مع القوة .

قوة اليد تسارع قطعة القرميد

القوة المؤثرة
قرميدتان بنصف قيمة التسارع

ثلاث قرميدات بثلث قيمة التسارع



الشّكل 8.2

التسارع يتناسب طرديًا مع القوة .

نقطة فحص

1. عرّفنا التّسارع في الفصل السّابق بأنّه معدّل التغير في السّرعة؛ وهذا يعني أنّ (التغير في السرعة) / الزمن = a. هل نقول الآن بدلًا من ذلك إنّ التّسارع هو نسبة القوة إلى الكتلة؛ بمعنى أنّ $a=F/m$ ؟ أيهما ؟

2. تطير طائرة جامبو بسرعة ثابتة 1000 كم/ساعة عندما تكون قوة دفع محركها ثابتة 100,000 نيوتن. ما تسارع الطائرة؟ ما قوة مقاومة الهواء للطائرة؟

3. افترض أنك تؤثر بالقوة نفسها في عربتين منفصلتين؛ كتلة العربّة الأولى 1 كجم. أما الثانية فكتلتها 2 كجم. أيّ العربتين يكون تسارعها أكبر؟ وكم يزيد هذا التّسارع؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كلاهما صحيح. *يعرّف* التّسارع بأنه المعدّل الزّمنيّ لتغير السّرعة وينتج عن القوة. مقدار القوة/ الكتله (عادةً المسبب) يحدد معدل التغير في السّرعة / الزمن (عادة التأثير). وعليه، يجب تعريف التسارع أولًا، ومن ثمَّ تعريف الحدود التي تنتج التّسارع.

2. التّسارع يساوي صفرًا. كما يتّضح من السّرعة الثابتة؛ لأنّ التسارع يساوي صفرًا. وتبعًا لقانون نيوتن الثاني، فإنّ محصلة القوّة صفر. وهذا يعني أنّ قوة مقاومة الهواء يجب أن تساوي قوة الدفع، وهي 100,000 نيوتن، وتؤثّر في الاتجاه المعاكس، استنادًا إلى العلاقة الآتية: $\sum F = 0$. (لاحظ أننا لا نحتاج إلى معرفة سرعة الطائرة للإجابة عن هذا السّؤال، ولكن أنها ثابتة فقط. وهذا هو حلّنا للتسارع، وهكذا لمحصلة القوة يكون صفرًا.)

3. إنّ تسارع العربة التي كتلتها 1كجم يكون أكبر؛ ضعف تسارع العربة الثانية، والسّبب في ذلك أنّ كتلتها نصف كتلة العربة الثانية، وهذا يعني نصف مقاومتها لإحداث تغيير في حركتها.

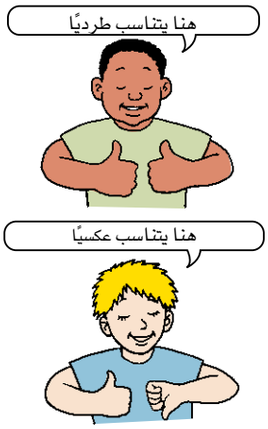
عندما يكون التّسارع g ـ السّقوط الحرّ

على الرّغم من أنّ جاليليو أوجد مبدأي القصور الذاتيّ والتّسارع، وكان أول من قاس تسارع الأجسام الساقطة، إلا أنّه لم يكن قادرًا على تفسير سقوط الأجسام ذات الكتل المختلفة بالتسارع نفسه. في حين قدّم قانون نيوتن الثاني تفسير هذا.

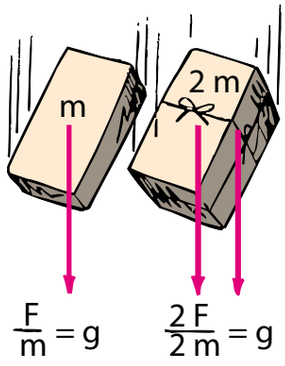
نحن نعلم أنّ الجسم السّاقط يتسارع في اتجاه الأرض بسبب قوة الجاذبية بين الجسم والأرض. وكما ذكرنا سابقًا، فإنه عندما تكون قوة الجاذبية هي القوة الوحيدة، أي عندما تكون مقاومة الهواء مهملة، عندها نقول إنّ الأجسام في حالة **السّقوط الحرّ (Free Fall)**. يكون الجسم في حالة سقوط حرّ عندما يكون تسارعه في اتجاه الأرض 10 م/ ث^2 (وبدقّة أكبر 9.8 م/ ث^2).

كلما زادت كتلة جسم ما، ازدادت قوة الجذب بين الجسم والأرض. فعلى سبيل المثال في الشّكل 9.2، تنجذب قطعة القرميد المزدوجة بقوة جذب تعادل ضعف قوة جذب قطعة القرميد المفردة. لماذا؟ هل القطعة المزدوجة من القرميد تسقط بسرعة مضاعفة (افترض أرسطو ذلك)؟ يتضح الجواب من قانون نيوتن الثّاني؛ إنّ تسارع أيّ جسم لا يعتمد على القوة فقط (الوزن في هذه الحالة)، ولكن يعتمد كذلك على مقاومة الجسم للحركة؛ أي على قصوره الذاتيّ. ولأنّ القوة تُنتج تسارعًا، فإنّ القصور الذاتي هو المقاومة لهذا التسارع. وعليه، فإنّ مضاعفة القوة المؤثرة في ضعف القصور الذاتيّ ينتج التّسارع نفسه إذا أثر نصف القوة في نصف القصور الذاتي. وكلا التسارعين متساويان. يرمز إلى التسارع الناتج عن الجاذبية بالرمز g. ونستخدم هذا الرمز عوضا عن a للتعبير عن التّسارع الناتج عن الجاذبية فقط.

إنّ نسبة الوزن إلى الكتلة للأجسام السّاقطة بشكل حرّ تساوي الثابت g. وهذا يشبه نسبة محيط دائرة إلى قطرها، والتي تساوي الثابت π. كما أنّ نسبة الوزن إلى الكتلة هي نفسها للأجسام الثقيلة والخفيفة، تماما كنسبة المحيط إلى القطر؛ حيث إنها هي نفسها للدوائر الصغيرة والكبيرة (الشكل 10.2).



عندما يتناسب شيء ما عكسيًّا مع شيء آخر، فإنه عندما يكبر هذا الشّيء يقلّ الشّيء الآخر.



الشّكل 9.2

شكل تفاعليّ: إنّ نسبة الوزن (F) إلى الكتلة (m) هي نفسها للأجسام جميعها في الموقع نفسه. وعليه، فإنّ تسارع هذه الأجسام يكون هو نفسه عند عدم وجود مقاومة هواء.

عندما حاول جاليليو شرح سبب سقوط الأجسام جميعها بالتّسارع نفسه، فهل كان عليه معرفة القانون $a = F/m$ ؟

حساب العلوم الفيزيائيّة

حلّ مسائل

إذا علمنا أنّ كتلة جسم ما بوحدة الكيلو غرام (كجم)، وتسارعه متر لكلّ ثانية (م/ث^2)، بعدها يمكن التعبير عن القوة بالنيوتن (N). نيوتن واحد هو القوة اللازمة لجعل كتلة 1 كجم تتسارع بتسارع 1 م/ث^2. ويمكننا صياغة قانون نيوتن الثّاني كما يلي:

القوة = الكتلة X التسارع

1 نيوتن =1 كجم x 1 م/ث^2

يمكننا ملاحظة أنّ

1 نيوتن = 1 كجم. م/ث^2

النقطة بين كجم و م/ث^2 تعني أنّ الوحدات ضرب بعضها في بعض.

إذا عرفنا كميتين في قانون نيوتن الثّاني، فيمكن حساب الكمية الثّالثة.

عينة مسألة 1

ما مقدار القوة أو الدّفع الذي تنتجه طائرة كتلتها 20,000 كجم لكي يكون تسارعها 1.5 م/ث^2؟

الحلّ:

استخدم المعادلة

القوة = الكتلة X التسارع

يمكننا حساب القوة:

$$F = ma$$
$$= (20{,}000\ \text{kg}) \times (1.5\ \text{m/s}^2)$$
$$= 30{,}000\ \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$
$$= 30{,}000\ \text{N}$$

مع افتراض أننا نعرف القوة والكتلة، ونرغب في إيجاد التسارع. مثلا، ما التّسارع الناتج من قوة 2000 نيوتن تؤثر في سيارة كتلتها 1000 كجم؟ باستخدام قانون نيوتن الثاني، نجد أنّ

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2000\ \text{N}}{1000\ \text{kg}}$$

$$= \frac{2000\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2}{1000\text{kg}} = 2\ \text{m/s}^2$$

إذا كانت القوة 4000 نيوتن، فسيكون التسارع

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4000\ \text{N}}{1000\ \text{kg}}$$

$$\frac{4000\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2}{1000\text{kg}} = 4\ \text{m/s}^2$$

إنّ مضاعفة القوة المؤثرة في الكتلة نفسها يضاعف التسارع.

مسائل الفيزياء تكون عادةً أكثر تعقيدًا من هذه.

عينة مسألة 2

تتعلق هذه المسألة بالمفاهيم؛ لأنها لا تتعامل مع أرقام، ولكنها تتعامل مباشرة مع مفاهيم. فالتّركيز هنا على توضيح رموز المفاهيم أكثر من التّركيز على القيم العددية.

في مسألة العينة التالية: القوة هي F، والكتلة m، والتسارع a. تعزّز هذه الطريقة كيفية التفكير الأولي بدلالة المفاهيم والرموز التي تمثلها. الجزء (ب) يتبع ذلك وبالأرقام.

تؤثر القوة F إلى الأمام في علبة شوكولاتة كتلتها m. في حين تؤثّر قوة الاحتكاك f بالاتجاه المعاكس للحركة.

(أ) استخدم قانون نيوتن الثّاني، وبيّن أنّ تسارع العلبة هو $\frac{F-f}{m}$.

(ب) إذا كانت كتلة العلبة 4 كجم، وأنّ القوة F المؤثرة هي 12 نيوتن، وأنّ قوة الاحتكاك f هي 6 نيوتن، فبيّن أنّ تسارع العلبة هو 1.5 م/ث^2.

الحلّ:

(أ) المطلوب هو إيجاد التسارع من قانون نيوتن الثّاني. نحن نعلم أنّ $a = \frac{\text{المحصلة}}{m}$. $a = \frac{f}{m}$.

محصلة القوة هي $F - f$. وعليه، فالحلّ هو $a = \frac{F-f}{m}$ (الكميات في العلاقة جميعها ذات قيم معروفة). لاحظ أنّ هذا الجواب يمكن تطبيقه على الحالات جميعها التي تؤثر فيها قوة ثابتة تعاكسها قوة احتكاك ثابتة. وهذه تشمل إمكانيات متعددة.

(ب) ببساطة، نعوّض هنا القيم العددية حيث نحصل على ما يلي:

$$a = \frac{F-f}{m} = \frac{12.0\ \text{N} - 6.0\ \text{N}}{4.0\ \text{kg}}$$
$$= 1.5\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1.5\ \text{m/s}^2.$$

(الوحدات نيوتن/كجم تكافئ م/ث^2) لاحظ أنّ الجواب يساوي 15% من قيمة g تقريبا. فهل هذا معقول؟ لمزيد من المعلومات عن وحدات القياس والأرقام المعنوية، انظر الملحق أ.

كرة مقذوفة عموديًّا نحو الأعلى، وعند أقصى ارتفاع تصل إليه ستكون سرعتها صفرا. هل يكون تسارعها عندئذٍ صفرًا أيضًا؟ (الإجابة لا.)

الآن، نفهم أنّ التّسارع للجسم السّاقط سقوطًا حرًّا لا يعتمد على كتلة الجسم. صخرة كتلتها 100 ضعف كتلة حجر، وتسقط بتسارع الحجر نفسه بالرّغم من أنّ القوة على الصخرة (وزنها) هو 100 ضعف القوة (الوزن) على الحجر، وأنّ مقاومة تغيّر الحركة (الكتلة) في حالة الصخرة هو 100 ضعف تلك المقاومة في حالة الحجر. وتتعادل زيادة القوة مع زيادة الكتلة.

■ **نقطة فحص**

تسقط قطعة نقد وريشة معًا جنبًا إلى جنب في فراغ. فهل صحيح القول إنّ قوة جاذبية متساوية تؤثر في كلٍّ منهما في الفراغ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا؛ فهذه الأجسام تتسارع بالتساوي، ليس لأنّ قوة الجاذبية عليها متساوية، ولكن بسبب تساوي نسب أوزانها إلى كتلها. وعلى الرّغم من أنّ مقاومة الهواء غير موجودة في الفراغ، إلا أنّ الجاذبية موجودة. (تعرف ذلك إذا وضعت يدك في حجرة مفرغة وهنالك دولاب أسمنتي يدور فوق الحجرة! إذا أجبت بنعم عن هذا السؤال، فعليك التفكير فيزيائيا بطريقة أفضل.

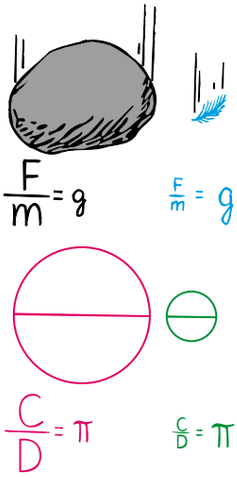
عندما يكون تسارع السّقوط أقلّ من g ـ السقوط غير الحر

إنّ مقاومة الهواء للأجسام السّاقطة غير مهملة على الأغلب. وعليه، فإنّ تسارع السّقوط يكون أقلّ. وتعتمد مقاومة الهواء أساسًا على عاملين هما: السرعة ومساحة السطح؛ فعندما يهبط رجل فضاء من طائرة تحلّق عاليًا، فإنّ مقاومة الهواء على جسم الرّجل تزداد بزيادة سرعة الهبوط. وتكون النتيجة نقصان التّسارع. يمكن تقليل التّسارع أكثر بزيادة مساحة السّطح. ورجل الفضاء يمكنه فعل ذلك عن طريق زيادة تأثير الهواء ، كأن يمدّ نفسه كسنجاب طائر. وهكذا، فإنّ مقاومة الهواء تعتمد على كلّ من السرعة والمساحة المعرّضة للهواء.

أمّا فيما يتعلق بالسّقوط الحرّ، فإنّ القوة المحصلة المؤثرة نحو الأسفل هي الوزن فقط. ولكن بوجود الهواء، فإنّ القوة المحصلة = الوزن - مقاومة الهواء. هل تلاحظ أنّ وجود الهواء يقلّل من القوة المحصلة ؟ وأنّ نقصان القوة المحصلة تعني تقليل التّسارع؟ وهكذا، كلما هبط رجل الفضاء أسرع وأسرع، فإنّ تسارع السّقوط يكون أقلّ وأقلّ.* ماذا يحدث للقوة المحصلة عندما تصبح مقاومة الهواء مساوية للوزن؟ الجواب هو أنّ القوة المحصلة تساوي صفرًا. وهنا نلاحظ مرة أخرى أنّ $\Sigma F = 0$! وعليه، فإنّ التّسارع يصبح صفرًا. هل هذا يعني أنّ رجل الفضاء سيتوقف؟ الجواب لا، بل يعني أنّ سرعة رجل الفضاء لا تزداد. سينتهي التّسارع ولا يعود مجدّدًا. وعندها نقول إنّ رجل الفضاء وصل إلى **السّرعة الحدّيّة (Terminal Speed)**. وإذا أخذنا في الحسبان الاتجاه نحو الأسفل بالنسبة إلى الأجسام السّاقطة، فسنقول إنّ رجل الفضاء وصل إلى السّرعة المتّجهة الحدّيّة **(Terminal Velocity)**.

تتغير السّرعة المتجهة لرجل الفضاء من 150 إلى 200 كم/ساعة تقريبا، ويعتمد هذا على وزن الجسم واتجاه حركته. إنّ سقوط الشّخص الأثقل يكون أسرع لكي تحصل موازنة بين وزن الشخص ومقاومة الهواء**. ويكون الوزن الأكبر أكثر فاعلية في اختراق الهواء؛ ** لأنّ السّرعة الحدّيّة تكون أكبر للشّخص الأثقل. وبزيادة المساحة المعرضة للهواء، تقلّ السّرعة الحدّيّة. وهذا يوضّح فائدة مظلة الهبوط التي تزيد مساحة التعرض، وعندما تزداد هذه المساحة، فإنّ مقاومة الهواء ستزداد كثيرًا، وعليه تقلّ السرعة بحيث تصبح آمنة من 15 إلى 25 كم/ساعة.

إنّ القوة المؤثّرة الوحيدة في السّقوط الحرّ هي الجاذبية. ولكن عند وجود مقاومة الهواء، فإنّ الجسم السّاقط لا يكون في حالة سقوط حرّ.



الشّكل 10.2
نسبة الوزن (F) إلى الكتلة (m) تكون نفسها لصخرة كبيرة وريشة صغيرة، وبالمثل، فإنّ نسبة المحيط (C) إلى القطر (D) تكون هي نفسها لدائرة كبيرة وأخرى صغيرة.

الشّكل 11.2
في الفراغ، تسقط كلّ من الرّيشة وقطعة النقد بالتّسارع نفسه.

---

*بالرموز الرّياضيّة.

$$a = \frac{f_{\text{المحصلة}}}{m} = \frac{mg - R}{m}$$

حيث mg هو الوزن. أمّا R فهي مقاومة الهواء. لاحظ أنه عندما $R = mg,\ a = 0$ وعند عدم وجود تسارع فإنّ الجسم يسقط بسرعة ثابتة. ومع أساسيات الجبر نتابع خطوة أخرى. لنجد أنّ

$$a = \frac{f_{\text{المحصلة}}}{m} = \frac{mg - R}{m} = g - \frac{R}{m}$$

وهنا سنلاحظ أنّ التّسارع a يكون دائما أقلّ من g إذا كانت هناك مقاومة هواء R عند سقوط الجسم. وعندما تكون $R = 0$ فقط، فإنّ $a = g$.

** مقاومة الهواء لرجل الفضاء تتناسب مع مربّع سرعته.

لمعلوماتك

■ غطاسو الفضاء وكذلك السناجب السّابحة في الفضاء ليست هي فقط من يعمل على زيادة مساحة سطحها عندما تهبط. عندما يقفز ثعبان شجرة الجنة (*Chrysopelea Paradisi*) عن غصن شجرة، فإنه يضاعف سُمكَه بتسطيح نفسه. إنه يكتسب تقريبًا الشّكل المقعّر، ويقوم بعملية خداع من خلال تموجه على شكل حرف S، ويقطع أكثر من 20 مترًا في القفزة الواحدة.

الشّكل 12.2
شكل تفاعليّ: المظلي الأثقل يجب أن يسقط أسرع من المظلي الأخف لكي تتوازن مقاومة الهواء مع وزنه.

لمعلوماتك

■ تعزى السرعة الحدّيّة النموذجية 160 كم/ساعة (100 ميل/ساعة) إلى حجم الطرود التي تسقط من الطائرة ووزنها. وتساوي السرعةَ نفسَها لكرة البيسبول، أو سرعة كرة التنس الأرضيّ تقريبًا. لذا، فالأجسام مثل كيس الأرز أو الحبوب يكون لها مثل هذه السّرعة الحدّيّة عندما تسقط من طائرة. ولهذا السبب، فمن النادر استخدام مظلة (*Parachutes*) عند إسقاط مثل هذه المواد الغذائية على مناطق سكنية تحتاج إلى مثل هذه المساعدات.

■ **نقطة فحص**

امرأة مظلية تقفز من طائرة هليكوبتر. إذا زادت سرعتها خلال الهواء أكثر فأكثر، فهل يزداد تسارعها؟ أم يقلّ؟ أم يبقى ثابتًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

التّسارع سيقلّ؛ لأنّ محصلة القوة على المرأة تقلّ بزيادة السّرعة. محصلة القوة تساوي الوزن مطروحًا منه مقاومة الهواء. وبما أنّ مقاومة الهواء تزداد بزيادة السّرعة، فإنّ التّسارع سيقلّ. وبالعودة إلى قانون نيوتن الثاني فإنّ

$$a = \frac{f_{\text{المحصلة}}}{m} = \frac{mg - R}{m}$$

حيث mg وزن المظليّة، وR مقاومة الهواء للمظليّة. وبزيادة R، فإنّ محصلة القوة ستقلّ. وعليه، فإنّ a ستقلّ أيضًا. لاحظ أنه إذا أصبحت $R = mg$ فإنّ $a = 0$ أي أنّ سرعة المظليّة تصبح ثابتة.

بالتأمل في عرض تجربة سقوط قطعة النقد والريشة في أنبوب زجاجي (الشكل 11.2)، بوجود الهواء داخل الأنبوب، نلاحظ أنّ الرّيشة تسقط أبطأ بسبب مقاومة الهواء. وبما أنّ وزن الريشة قليل جدًّا، فإنها تصل سرعتها الحدّيّة بشكل سريع. هل يمكنك ملاحظة أنه لا يمكنها قطع مسافة كبيرة قبل أن تصبح مقاومة الهواء مساوية لوزنها؟ ومن جهة أخرى، فإنّ قطعة النّقد لا تحتاج إلى وقت كالرّيشة للسقوط حتى تصبح مقاومة الهواء مساوية لوزنها.

■ **نقطة فحص**

تأمل مِظليين أحدهما أثقل من الآخر، يقفزان معًا من الارتفاع نفسه، ومتساويان في الحجم.

1. أيّهما يصل السّرعة الحدّيّة أولًا؟
2. أيّهما تكون سرعته الحدّيّة أكبر؟
3. أيّهما يصل الأرض أولًا؟
4. أجب عن الأسئلة نفسها مع افتراض عدم وجود مقاومة هواء، كما على سطح القمر، ليظهر لك الاختلاف في الإجابة.

هل كانت هذه إجابتك؟

للإجابة عن هذه الأسئلة؛ فكّر في أنّ قطعة النّقد والرّيشة تسقطان في الهواء.

1. حيث إن الرّيشة تصل إلى سرعتها الحدّيّة بشكل سريع جدًّا، فإنّ الشّخص الأخفّ وزنا يصل إلى السرعة الحدّيّة أولا.
2. حيث إن قطعة النقد تسقط أسرع من الرّيشة خلال الهواء، فإنّ الشّخص الأثقل يهبط أسرع، وتكون سرعته الحدّيّة أكبر.
3. كما يحدث في السباق بين قطعة النقد والريشة تماما، فإنّ الشّخص الأثقل يهبط أسرع ويصل سطح الأرض أولا.
4. إذا لم تكن هنالك مقاومة هواء، فلن تكون هنالك أيّ سرعة حدّيّة على الإطلاق. لذا، فإنّ كلا الشّخصين يكونان في حالة سقوط حرّ، ويصلان سطح الأرض في الوقت نفسه.

عندما أسقط جاليليو أجسامًا ذات أوزان مختلفة من برج بيزا المائل، فعليًّا، لم تصل إلى الأرض في الوقت نفسه. إنّ هذه الأجسام تقريبًا تصل سطح الأرض معًا. ولكن بسبب مقاومة الهواء، فإنّ الجسم الأثقل يصل الأرض بوقت أقصر بمقدار جزء من الثانية قبل الجسم الأخفّ. وهذا يتعارض مع توقعات أتباع أرسطو في أنّ هناك فرقًا زمنيًا كبيرًا يلزم بين الأجسام المختلفة الأوزان. ظلّت حقيقة سلوك الأجسام السّاقطة غير مفهومة حتى اكتشاف قانون نيوتن الثّاني.

3.2 القوى وتفاعلاتها

حتى الآن، بحثنا القوة بأبسط صورها كقوة الدّفع أو السّحب. وبالمعنى الأوسع، فإنّ القوة ليست شيئًا بحدّ ذاتها، إنما تحدث تفاعلا **(Interaction)** بين شيئين؛ فعندما تدفع بأصابع يدك على حائطًا، فإنّ الذي يحدث هو شيء أكثر من مجرد دفعك له. لقد تفاعلتَ مع الحائط، والحائط كذلك أثر فيك بقوة دفع. الحقيقة إذن، هي أنّ أصابع يدك من جهة والحائط من جهة أخرى يدفع أحدهما الآخر، ودليل هذا هو انثناء أصابعك (الشكل 14.2). هاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. إنّ زوج القوى**(Force Pair)** هذا يشكّل تفاعلًا منفردًا. وفي الواقع، فإنّك لا تستطيع دفع حائط، ما لم يُدفع الحائط بالاتجاه المعاكس. كما أنّ زوج القوى هذا يكون موجود ضمنًا؛ أي دفعك على الحائط، ودفع الحائط على يدك بالمقابل.*

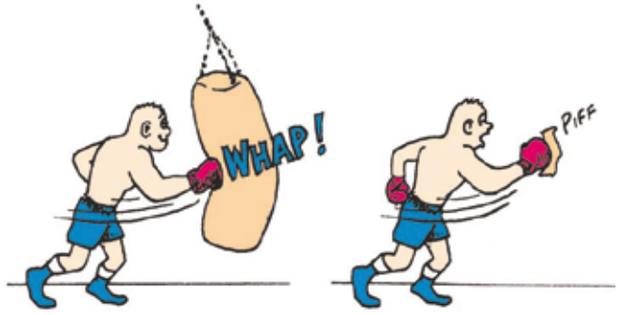
في الشكل 15.2، نلاحظ أنّ قبضة الملاكم تضرب جراب الملاكمة الثقيل. تضرب القبضة الجراب وتبعجه، في حين يؤثّر الجراب بالمقابل في القبضة (ويوقف حركتها). ومن الواضح أنّ قيم هذا الزوج من القوى كبيرة بما يكفي. ولكن، ما الذي سيحدث لو أنّ الملاكم ضرب غشاء ورقيًا؟ إنّ قبضة الملاكم هنا يمكن أن تؤثر بقوة في الغشاء الورقي كتلك القوة التي يؤثر بها الغشاء الورقيّ في قبضة الملاكم. علاوة على ذلك، فإنّ القبضة لا يمكنها التأثير بأيّ قوة ما لم يكن هناك شيء يؤثر بقوة رد فعل، وبالمقدار نفسه. لذا، فإنّ التفاعل يتطلب وجود زوج من القوى يؤثّر في جسمين مختلفين.

عندما تطرُق وتدًا بمطرقة وتدفعه داخل الأرض، فإنّ الوتد يؤثّر بقوة مساوية في المطرقة ويوقفها فجأة. كذلك عندما تقوم بسحب عربة وتعمل على تسريعها، فإنّ العربة بالمقابل تؤثر بقوة سحب فيك كما يتضح ذلك بشدّ الحبل حول يدك. إذن، هناك شيء ما يتفاعل مع شيء آخر. فالمطرقة تتفاعل مع الوتد، وأنت تتفاعل مع العربة.

الشّكل 13.2
دراسة ستروبوسكوبية (ستروبوسكوب) لكرة الجولف (اليسار)، وكرة مطاطية (اليمين) تسقطان معًا في الهواء. مقاومة الهواء مهملة بالنسبة لكرة الجولف، وتسارعها يساوي g تقريبًا. أما بالنسبة إلى الكرة المطاطية الخفيفة، فإنّ مقاومة الهواء غير مهملة، وتصل الكرة إلى سرعتها الحدّيّة سريعًا.

الشّكل 14.2
عندما تتكئ على حائط، فإنك تؤثّر فيه بقوة. وفي المقابل، فإنّ الحائط يؤثّر فيك مباشرة بقوة مساوية ومعاكسة لقوتك. ولهذا، فإنّ سقوطك غير وارد.

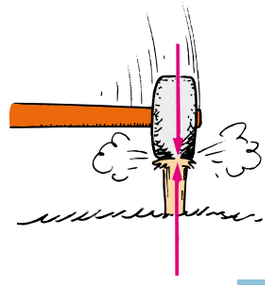
هل يؤذي الملاكم يده عندما يضرب قطعة ورقيّة؟



الشّكل 15.2
يمكنه أن يضرب حقيبة ضخمة بقوة كبيرة. ولكن بالضربة نفسها، يمكنه التأثير فقط بقوة ضعيفة في نسيج ورقي حرّ في الهواء.

* قد نتوهم أنّ الأشياء الحيّة فقط هي التي تؤثّر بقوة دفع وسحب. ولكن الصحيح هو أنّ الأشياء غير الحيّة أيضا يمكنها فعل ذلك. لذا، لاتقلق حول فكرة أنّ الحائط الجامد يدفعك. إنّه يؤثر فيك كأثر أيّ شخص آخر.

ما الذي يبذل بقوة؟ وما الذي يتأثر بها؟ أجاب إسحق نيوتن عن هذا بأنه لايوجد ما يدعى قوة "مؤثرة" أو "متأثرة". واستنتج أنّ كلا الجسمين يجب أن يتأثرا بالتساوي. فعلى سبيل المثال، عندما تؤثّر المطرقة في الوتد بقوة، فإنّ الوتد يعمل على إيقاف ذلك بالتأثير بقوة في المطرقة. إنّ القوتين متساويتان ومتعاكستان في الاتجاه. وعندما تسحب عربة فإنّ العربة تعمل بالتزامن بقوة سحب عليك. وهكذا، فإنّ هذا الزوج من القوى: قوة السحب على العربة من جهة وقوة السحب من العربة عليك من جهة أخرى، يعمل تفاعلًا فرديًّا بينك وبين العربة. وهذه الملاحظات هي التي ساعدت نيوتن على الوصول إلى قانونه الثّالث في الحركة.



الشّكل 16.2
في التّفاعل بين المطرقة والوتد، كلّ منهما يؤثر في الآخر بمقدار القوة نفسه.

4.2 قانون نيوتن الثّالث في الحركة

ينصّ **قانون نيوتن الثّالث في الحركة** على ما يلي:

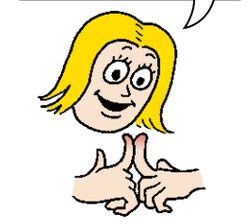
عندما يؤثر جسم بقوة في جسم آخر، فإنّ الجسم الآخر يؤثر بقوة مساوية ومعاكسة في الجسم الأول.

يمكننا تسمية القوة الأولى *قوةَ الفعل*، في حين نسمي القوة الأخرى *قوةَ ردّ الفعل*. وعليه، يمكننا التعبير عن قانون نيوتن الثّالث بالصيغة التالية:

لكلّ فعل ردّ فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه.

ليس مهمًا أيّ قوة نسميها فعلًا أو رد فعل؛ لأنّ النوعين عبارة عن جزأين لتفاعل واحد كما أنّه لا يمكن أن توجد إحدى القوتين دون الأخرى. وهاتان القوتان متساويتان في الشّدّة ومتعاكستان في الاتجاه. إنهما تحدثان بصورة مزدوجة في تفاعل واحد بين شيئين.

عندما تمشي، فإنك تتفاعل مع أرضية المكان. ودفعك على الأرضية يكون متزامنًا مع دفع الأرضيّة عليك. إنّ زوج القوى هذا يحدث بشكل متزامن. وبالمثل، فإنّ عجلات السيارة تؤثر بقوة دفع في الشارع، في حين يدفع الشارع بالاتجاه المعاكس على العجلات. أي أنّ العجلات والشارع يدفع أحدها الآخر. وفي السباحة، فإنك تتفاعل مع الماء عندما تدفع نحو الخلف، أمّا الماء فيدفعك إلى الأمام . أي أنك والماء يدفع أحدكما الآخر. إنّ قوى التّفاعل هي المسؤولة عن حركتنا في هذه الحالات. وهذه القوى تعتمد على الاحتكاك، فمثلا، قد لا يكون الشّخص الذي يقف على جليد قادرا على التأثير بقوة فعل، لأنّه يحتاج إلى قوة ردّ فعل لعمل ذلك؛ لا يمكن أن توجد قوة دون أخرى.



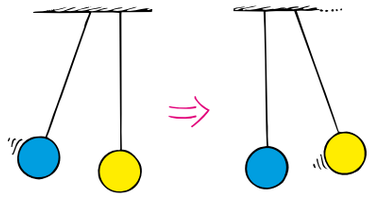
قانون بسيط لتعيين الفعل وردّ الفعل

هناك قانون بسيط لتعيين قوة الفعل وردّ الفعل. أولًا، حدّد التفاعل الشّيء الأول (الجسم A) يتفاعل مع شيء آخر (الجسم B). بعدها يمكن تعريف قوة الفعل وردّ الفعل بالشّكل التالي:

الفعل: الجسم A يؤثّر بقوّة في الجسم B.

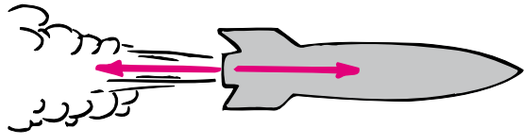
ردّ الفعل: الجسم B يؤثّر بقوّة في الجسم A.

يمكننا تذكر القانون بسهولة. إذا كان الفعل من الجسم A قد أثّر في الجسم B، فيكون ردّ الفعل من B يؤثّر في A. أي أنّ A وB – ببساطة - يتبادلان الأدوار. خذ حالة يدك عندما تدفع حائطا، حيث يكون التفاعل بين يدك والحائط. نقول إنّ الفعل هو من يدك (الجسم A) التي تؤثر بقوة في الحائط (الجسم B). وعليه، يكون ردّ الفعل هو القوة التي يؤثر بها الحائط في يدك.

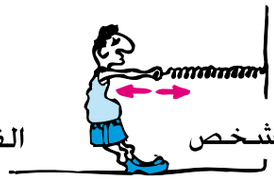


الشّكل 17.2
إنّ قوى التأثير بين الكرة الزرقاء والصفراء تُحرك الكرة الصفراء وتوقف الزرقاء.

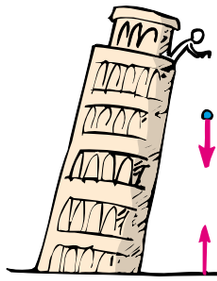
رد الفعل: الطريق تدفع عل الاطار الفعل: الإطار يدفع على الطريق



رد الفعل: الغاز يدفع الصاروخ الفعل: الصاروخ يدفع الغاز



رد الفعل: الزنبرك يسحب الشخص الفعل: الشخص يسحب الزنبرك

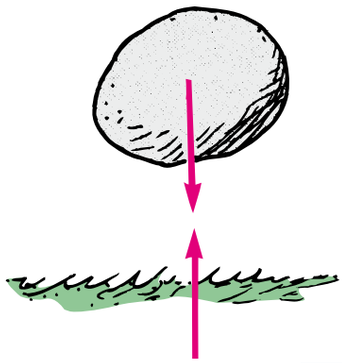


الفعل: الأرض تسحب الكرة

رد الفعل: الكرة تسحب الأرض

الشّكل 18.2
قوى فعل ورد فعل. لاحظ أنه عندما يؤثر الجسم A بفعل في الجسم B، فإن الجسم B سيؤثر ببساطة بقوة في الجسم A.

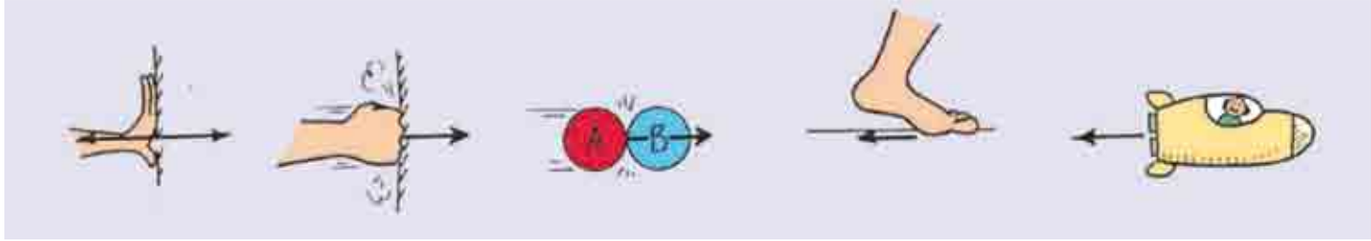
عليك معرفة أنّ قوة الفعل وردّ الفعل تؤثّران دائمًا في جسمين مختلفين. وعليه، إذا كان هناك قوتان تؤثّران في الجسم نفسه فلا يمكن اعتبارهما قوى فعل وردّ فعل حتى وإن كانتا متساويتين ومتعاكستين في الاتجاه، هذا هو القانون.

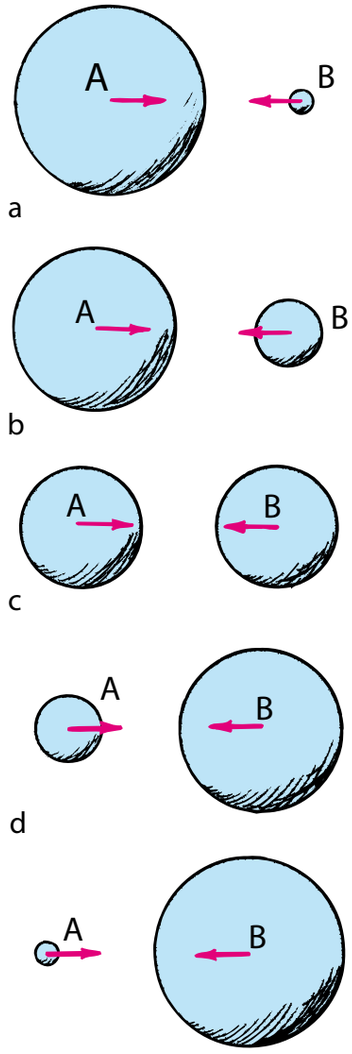


الشّكل 19.2
تُسحب الصخرة الأرض بقوة لها مقدار القوة نفسها التي تُسحب بها الصخرة نحو الأسفل من الأرض.

تدريبات – على العلوم الفيزيائيّة

نلاحظ في الرّسم الأسفل متجهين: اليد تدفع الحائط. والحائط يدفع اليد بقوة. وفي الأشكال الأخرى، فإنّ قوة الفعل فقط مبينة على الرسم. ارسم المتجهات المناسبة التي توضح قوة ردّ الفعل. هل يمكنك تحديد قوة الفعل وردّ الفعل في كلّ حالة؟





الشّكل 20.2
أيّ الكوكبين يسقط باتجاه الآخر؛ A أم B؟ هل تسارع كلّ منهما متعلق بكتلته النسبية؟

■ **نقطة فحص**

1. سيارة تتسارع على طريق. بين القوة التي تحرّكها.
2. بيّن قوى الفعل وردّ الفعل في حالة السّقوط الحر لجسم ما (مقاومة الهواء مهملة).

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنّ الطّريق هي التي تدفع السّيارة. حقا! وما عدا مقاومة الهواء، فإنّ الطريق فقط هي التي تزود السّيارة بقوة أفقية. كيف يحدث ذلك؟ إنّ عجلات السيارة التي تدور تدفع الطريق بقوة في اتجاه الخلف (الفعل). وفي المقابل، فإنّ الطّريق تؤثر بقوة دفع آنية في العجلات نحو الأمام (رد الفعل). كيف يكون ذلك!
2. لتعيين زوج قوى الفعل وردّ الفعل في أيّ حالة؛ عليك أولًا تعيين زوج الأجسام المتفاعلة. في هذه الحالة، تتفاعل الأرض مع الجسم السّاقط بسبب قوة الجاذبية. وهكذا، فإنّ الأرض تسحب الجسم السّاقط نحو الأسفل (الفعل). ومن ثمّ يأتي ردّ الفعل، وهو أنّ الجسم السّاقط يسحب الأرض بقوة نحو الأعلى. ولأنّ الأرض ذات كتلة هائلة، فإنك لا تستطيع ملاحظة تسارعها نحو الأعلى.

الفعل وردّ الفعل على كتل مختلفة

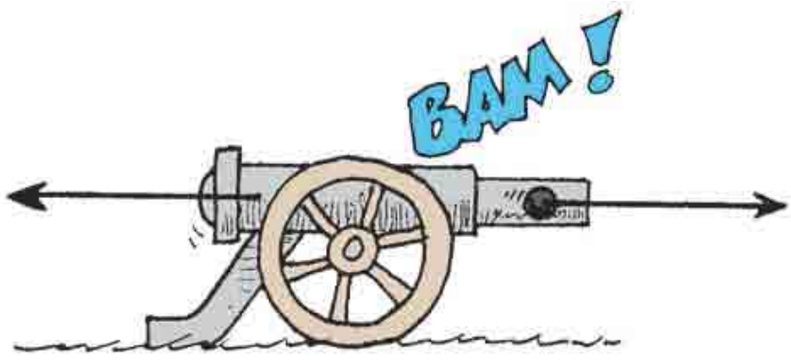
إنّ الجسم السّاقط يسحب الأرض نحو الأعلى بقوة مساوية لتلك التي تؤثر بها الأرض في الجسم السّاقط نحو الأسفل. ونلاحظ أنّ تسارع الجسم السّاقط نحو الأسفل واضح، أما تسارع الأرض نحو الأعلى فلا يمكن ملاحظته؛ لأنّه قليل جدًّا.

تأمّل الأمثلة المبالغ فيها لكوكبين في الرّسوم من (a) حتى (e) في الشّكل 20.2. القوى بين الكوكبين A و B متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه في كلّ حالة. إذا كان تسارع الكوكب A لا يمكن ملاحظته في الرسم (a) فإنّ هذا التّسارع يمكن ملاحظته في الرسم (b)؛ حيث الاختلاف بين كتلتي A وB ليس كبيرًا جدًّا كما هو الحال في الرسم (a). أما في الرّسم (c) حيث لكلا الكوكبين الكتلة نفسها، فإنّ تسارع A هو نفسه للكوكب B. وهكذا، سنرى أنّ تسارع A يصبح أكثر وضوحًا في الرّسم (d)، والأكثر وضوحًا في الرّسم (e). وهنا نرى بوضوح أنّه عندما تجتاز حاجزًا ما فإنّ الشّارع يرتفع قليلًا جدًّا في اتجاهك.

عندما يقذف مدفع قذيفة فإنّ تفاعلًا يحدث بينهما. إنّ القوة المفاجئة التي يؤثر بها المدفع في القذيفة تساوي تماما القوة التي تؤثر بها القذيفة في المدفع وتعاكسها في الاتجاه. وهذا هو السّبب الذي يعزى إليه ارتداد المدفع بعد عملية القذف. إلا أنّ تأثيرات هذه القوى المتساوية تختلف كثيرًا، بسبب الاختلاف في القوى التي تؤثر في كتل مختلفة. وبالرجوع إلى قانون نيوتن الثّاني،

$$a = \frac{F}{m}$$

مع افتراض أنّ F تمثل كلًّا من قوة الفعل وردّ الفعل، و m تمثّل كتلة المدفع، في حين تمثّل M كتلة قذيفة المدفع.



الشّكل 21.2
شكل تفاعليّ: القوة المؤثّرة في المدفع المرتد تساوي القوة التي تدفع قذيفة المدفع على طول أسطوانته. لماذا تندفع قذيفة المدفع بتسارع أكبر من تسارع المدفع؟

تستخدم رموز ذات أحجام مختلفة للدلالة على الكتل النسبية والتّسارعات الناتجة. وعليه، فإنّ تسارع قذيفة المدفع والمدفع نفسه يمكن تمثيلهما بالطريقة الآتية.

قذيفة المدفع: $\frac{F}{m} = a$

المدفع: $\frac{F}{M} = a$

وهكذا نتوصل إلى سبب أنّ التغير في سرعة قذيفة المدفع يكون كبيرًا مقارنة بالتّغير في سرعة المدفع. وهو أنّ القوة التي تؤثر في كتلة صغيرة تنتج تسارعًا كبيرًا. ولكن عندما تؤثر القوة نفسها في كتلة كبيرة فإنها تنتج تسارعًا قليلا.

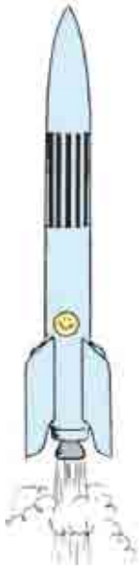
يمكننا تعميم فكرة ارتداد المدفع عند إطلاقه القذيفة لفهم عملية دفع الصاروخ. لنتأمل بالونًا منتفخًا يرتدّ عندما ينفث هواءه نحو الخارج (الشكل 22.2). إذا نفث الهواء من البالون نحو الأسفل، فإن البالون يتسارع إلى الأعلى. وهذا هو المبدأ نفسه الذي يمكن تطبيقه على حركة صاروخ يرتدّ باستمرار نتيجة إطلاق الغاز. إنّ كلّ جزيء من هذا الغاز المنطلق من الصاروخ يشبه إطلاق قذيفة متناهية الصغر تنطلق من مدفع (الشكل 23.2).

وهناك فكرة عامة يكتنفها الغموض، وهي أنّ الصّاروخ يندفع بسبب قوة دفع الغاز ضدّ الهواء المحيط. وفي الحقيقة، فإنّ التفكير في إرسال صاروخ إلى القمر كان شيئًا مستحيلًا قبل معرفتنا الصّواريخ. لماذا؟ لأنه لايوجد هواء فوق طبقة الغلاف الجوي للأرض لكي يدفع الصاروخ ضدها. وهذا يشبه القول بأنّ المدفع لا يرتدّ دون أن يكون هناك هواء تؤثر فيه قذيفة المدفع بقوة دفع. وهذا ليس صحيحًا! لأنّ كلًّا من الصّاروخ والمدفع المرتدّ يتسارع بسبب قوى ردّ الفعل المؤثّرة من المادة التي تُطلق. وليس من قوة الدّفع على الهواء. وفي الواقع، فإنّ الصّاروخ يعمل بشكل أفضل فوق طبقة الغلاف الجويّ؛ حيث لاتوجد أيّ مقاومة هواء.

الشكل 22.2
البالون يرتد نحو الأعلى بعد أن يتخلص من الهواء.

لمعلوماتك

■ تنطلق غازات وقطع صغيرة متناثرة في الاتّجاهات جميعها عندما تنفجر المفرقعة النّاريّة. ولكن عندما يحترق وقود الصّاروخ فإنّ الغازات الناتجة عن الانفجار تنطلق في اتّجاه واحد.



الشكل 23.2
يرتد الصاروخ نحو الأعلى عند تخلصه من قذائف مدفعية جزيئية.

■ **نقطة فحص**

1. أيهما يؤثّر بقوة سحب أكبر: القمر في الأرض، أم الأرض في القمر؟
2. سارت حافلة بسرعة عالية، فاصطدمت بها حشرة بشكل رأسيّ. وبسبب قوة الحافلة على الحشرة، فقد قطّعتها بحيث توزعت أجزاؤها على الحاجب الزّجاجيّ. هل القوّة المؤثّرة من الحشرة في الحافلة أكبر، أم أقلّ، أم مساوية لقوة الشاحنة المؤثّرة في الحشرة؟ هل تباطؤ الحافلة نتيجة التصادم أكبر، أم أقل، أم مساو لتباطؤ الحشرة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

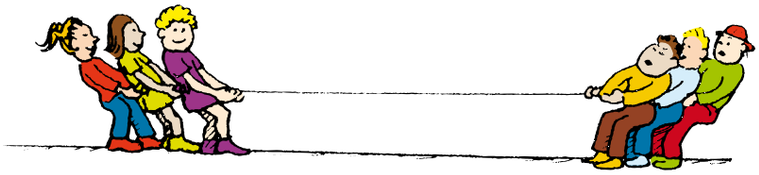
1. قوّتا السّحب لهما المقدار نفسه. وهذا يشبه السؤال: أيّ المسافتين أكبر: من نيويورك إلى سان فرانسيسكو أم من سان فرانسيسكو إلى نيويورك. وعليه، نرى أنّ الأرض والقمر يؤثّران بقوة سحب أحدهما في الآخر بالمقدار نفسه.
2. قيم القوى متساوية، حيث تمثل هذه القوى فعلا وردّ فعل، وتشكّل تفاعلًا بين الحافلة والحشرة. أما التّسارع فيختلف بشكل أكبر بسبب اختلاف الكتل. إنّ الحشرة تخضع لتباطؤ هائل ميت، في حين تخضع الحافلة لتباطؤ ضئيل جدًّا لدرجة عدم ملاحظته من قِبَل المسافرين على متنها. ولكن، يمكن ملاحظة تباطؤ الحافلة لو زادت كتلة الحشرة أكثر فأكثر بحيث أصبحت كتلتها ككتلة الحافلة.

تدريبات على العلوم الفيزيائيّة

■ شدّ الحبل

قم بإعداد لعبة شدّ الحبل بين فتية وفتيات. اعمل ذلك على أرض مصقولة وزلقة نوعا ما. إذا لبس الفتية أحذية خفيفة، فلتلبس الفتيات أحذية مطّاطيّة. ترى، من يفوز؟ ولماذا؟

(تلميح: سيفوز في هذه اللعبة من يسحب الحبل بقوة أكبر، أو من يدفع الأرض بقوة أكبر).



الشّكل 24.2

تؤثر القوة في نظام البرتقالة وتتسارع نحو اليمين.

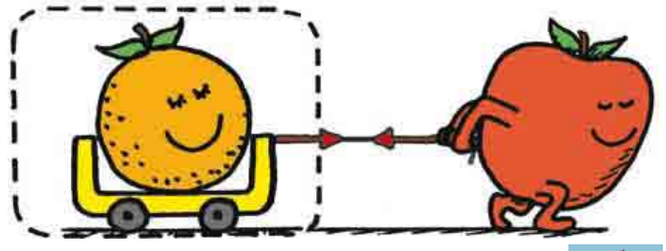
تعريف نظامك

غالبًا ما يبرز السّؤال المهم الآتي: إذا كانت قوى الفعل وردّ الفعل متساوية ومتضادة، فلم لا تلغي هذه القوى بعضها بعضا؟ وللإجابة عن هذا السؤال: يجب علينا أن نحدد النّظام المحيط. افترض - على سبيل المثال- نظامًا مكوَّنا من حبة برتقال (الشكل 24.2). إن الخطّ المتقطّع الذي يحيط بالبرتقالة يُغلّف النظام ويعرفه. أما المتجه الذي يظهر في الخطّ المتقطع نحو الخارج فيمثّل قوة خارجيّة على النظام. يتسارع النظام وفقًا لقانون نيوتن الثاني. ونلاحظ في الشّكل 25.2 أنَّ مصدرَ القوة تفاحةٌ، وهذا لا يغيّر من تحليلنا في شيء.

والحقيقة أنّ حبّة البرتقال تؤثر بقوة متزامنة في التفاحة التي هي خارج النظام ويمكن أن تؤثر في التفاحة (نظام آخر) ولكن ليس في البرتقالة. لا يمكنك إلغاء القوة المؤثرة في البرتقالة بتأثير القوة المؤثرة في التفاحة. و في هذه الحالة، فإنّ قوى الفعل وردّ الفعل لا يلغي بعضها بعضا.

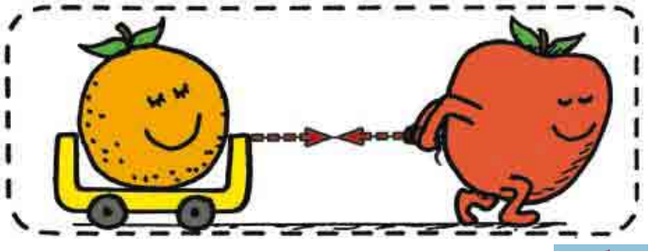
افترض الآن نظامًا أكبر يحوي كلًّا من البرتقالة والتفاحة. نلاحظ أنّ النظام محاط بخطّ متقطّع في الشّكل 26.2. لاحظ أنّ زوج القوى داخليّ ضمن نظام التّفاحة والبرتقالة معًا. إنّ هذه القوى *يلغي* بعضها بعضا؛ فهي لاتؤدي أيّ دور في تسريع النظام. لذا تلزم قوة خارجية لكي يتسارع هذا النظام. والسؤال الآن عن الدّور الذي يقوم به الاحتكاك مع الأرض (الشكل 27.2). فعندما تدفع التفاحة الأرض بقوة، فإنّ الأرض تدفع التّفاحة تلقائيًّا، أي أنّ هناك قوة خارجيّة على النّظام الذي يتسارع نحو اليمين.

قد يكون النظام ضئيلًا كالذَّرة، أو ضخمًا جدًّا كالكون.



الشّكل 25.2

القوة المؤثرة من التفاحة في البرتقالة لا تُلغى بقوة ردّ الفعل على التفاحة. وتستمر البرتقالة في تسارعها.

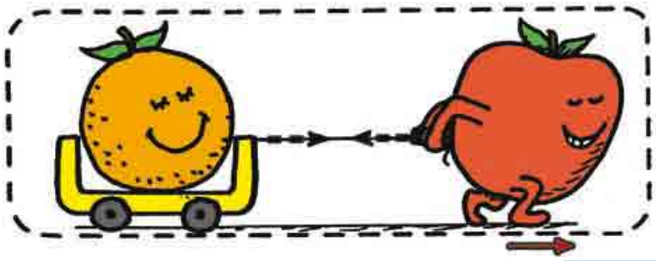


الشّكل 26.2

في النظام الأكبر المكون من البرتقالة والتفاحة، فإنّ قوّة الفعل وردّ الفعل هي قوى داخلية ويلغي بعضها بعضًا. إذا كانت هذه القوى أفقية فقط، وليست هنالك قوة خارجية، فلا توجد محصّلة تسارع على النّظام.

هناك تريليونات من القوى البينيّة بين الذّرات داخل كرة البيسبول نفسها. وتعمل هذه القوى على تماسك الكرة ببعض. ولكن هذه القوى لا تؤدي أيّ دور في تسارعها. وعلى الرّغم من أنّ كلّ قوة من القوى بين الذرات هي جزء من زوج الفعل وردّ الفعل داخل الكرة، فإنّ هذه القوى مجتمعة تساوي صفرًا، بغض النظر عن عددها. ولا بدّ من قوة خارجيّة مثل قوة مضرب لتسريع الكرة.

إذا كان هذا غير واضح فإنه يمكنك ملاحظة أنّ نيوتن نفسه قد واجه صعوبات في قانونه الثّالث.



الشّكل 27.2

تظهر قوة أفقية خارجية عندما يدفع السّطح التّفاحة (ردّ فعل لدفع التّفاحة للسّطح). نظام البرتقالة – التّفاحة يتسارع.

نقطة فحص

1. إذا كانت بطارية مركبتك غير فاعلة في يوم بارد ماطر، فإن عليك أن تدفع السّيارة لكي تبدأ التشغيل. لماذا لا يمكنك تشغيل السيارة فقط من خلال دفع واجهة المفاتيح الداخلية وبقائك مرتاحًا داخل المركبة؟
2. هل كرةُ البيسبول المتحركة بسرعة تملك قوّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. في هذه الحالة، النظام الذي سيتسارع هو المركبة. إذا بقيت داخل المركبة ودفعت واجهة المفاتيح الداخلية، فإنّ زوج القوى الذي تنتجه هو فعل وردّ فعل ضمن النظام. وهذه القوى يلغي بعضها بعضًا. إذن لكي تتسارع المركبة يجب أن يكون هناك تفاعل بين المركبة وشيء آخر خارجي كدفعك السيارة وأنت في الخارج ودفعك للطريق مثلا.
2. لا، لأنّ القوة ليست شيئًا يمتلكه الجسم، كالكتلة، بل هي جزء من تفاعل بين جسم وآخر. يمكن أن تمتلك كرة البيسبول السريعة المقدرة على التأثير بقوة في جسم آخر عندما يحدث تفاعل بينهما، ولكنها لا تمتلك قوة تأثير في نفسها. وكما سترى في الفصول القادمة، فإنّ الأشياء المتحركة تمتلك زخمًا خطيًّا وطاقة حركة.

الشّكل 28.2

يطير البطّ بتشكيل على شكل حرف "V"؛ لأنّ الهواء المندفع نحو الأسفل عن أطراف أجنحتها يدور بشكل علويّ منتجًا تيارًا نحو الأعلى، يكون أقوى ما يمكن على أطراف أجنحتها. أما الطائر المتأخر فيحصل على دفع إضافي نحو الأعلى بوضع نفسه في مجال التيار العلويّ دافعًا الهواء إلى الأسفل لإنتاج تيار آخر للطائر الذي يليه. لذا، تكون النتيجة سربًا من الطّيور على شكل حرف V.

باستخدام قانون نيوتن الثالث، يمكننا فهم كيفية حصول طائرة الهليوكوبتر على قوة طيرانها. لقد صمّمت الصفائح ذات الشكل المنحني بحيث تؤثر بقوة في جزيئات الهواء بقوة نحو الأسفل (الفعل)، أما قوة الهواء التي تدفع نحو الأعلى (ردّ الفعل) فتدعى قوة ردّ الفعل المؤثّرة نحو الأعلى بقوة الرّفع (Lift). وعندما تساوي قوةُ الرفع وزنَ الطائرة فإنّ الطّائرة تبقى محلقة في الهواء. أما إذا كانت قوة الرفع أكبر من وزنها، فسوف ترتفع نحو الأعلى.

وهذا صحيح أيضًا للطيور والطائرات؛ فالطّيور تطير بآلية دفع الهواء نحو الأسفل. والهواء (لحظيًّا) يدفع الطّائر نحو الأعلى. وعندما يرتفع الطّائر في الهواء، فيجب أن يتشكّل جناحه بحيث يدفع جزيئات الهواء المتحركة نحو الأسفل. إنّ ميلانًا بسيطًا في أجنحة الطائرة يعمل ففعلى إزاحة الهواء المقترب نحو الأسفل، لذا يعمل على دفع الطائرة نحو الأعلى. إنّ اندفاع الهواء نحو الأسفل باستمرار يحافظ على طيران الطائرة إلى الأعلى. ويتمّ التزوّد بالهواء عن طريق حركة الطائرة إلى الأمام. وهو الذي ينشأ عن دفع الهواء عن طريق المحركات إلى الخلف. عندما تدفع المحركات الهواء إلى الخلف، فإنّ الهواء يدفع المحركات في الوقت نفسه إلى الأمام. وسنتعلم في الفصل الخامس أنّ السّطح المنحني للجناح هو غشاء هوائي يعزز قوة الدفع.

الشّكل 29.2

لا يمكنك اللمس دون تأثر عاطفي – قانون نيوتن الثالث.

وكما ترى، فإنّ قانون نيوتن الثالث مطبّق في كلّ مكان من حولنا؛ فالسّمكة تدفع الماء بزعانفها إلى الخلف، في حين يدفع الماء السّمكة إلى الأمام. والرّياح تلامس أغصان الشّجرة بلطف، وأغصان الشجرة تؤثر في الرياح في الاتجاه المعاكس منتجة أصوات صفير. إنّ القوى تفاعل بين أشياء مختلفة؛ فأيّ تلامس لا بدّ له من شيئين على الأقلّ، وليس هناك جسم ما يؤثر بقوة في لا شيء أبدًا. كما أنّ القوتين تحدثان دائمًا بشكل مزدوج، أي أنّ إحداهما تعاكس الأخرى سواء كانت دفعة عنيفة أو وخزة ناعمة.. وهكذا لا نستطيع أن نَلمس دون أن نُلمس.

■ 5.2 خلاصة قوانين نيوتن الثّلاثة

قانون نيوتن الأول؛ قانون القصور: يميل أيّ جسم ساكن إلى البقاء ساكنًا، أما الجسم المتحرك بسرعة ثابتة فإنّه يميل إلى الاستمرار في الحركة بسرعة ثابتة في خطّ مستقيم. تسمّى الخاصيةُ التي تقاوم التّغيّر في حركة الأجسام القصورَ، وتعدّ الكتلة مقياسًا للقصور. تخضع الأجسام لتغيّرات في الحركة فقط بوجود قوة محصلة.

قانون نيوتن الثّاني؛ قانون التّسارع: عندما تؤثّر قوة محصّلة في جسم ما، فإنّ الجسم يتسارع. يتناسب التّسارع طرديًّا مع محصلة القوى، وعكسيًّا مع الكتلة. بالرموز $a \sim F/m$. يكون التسارع دائما في اتجاه القوة المحصلة. عندما يسقط جسم سقوطًا حرًّا في الفراغ فإنّ محصلة القوة هي – ببساطة- الوزن، والتسارع هو g (يشير الرمز g إلى التسارع الناتج عن الجاذبية فقط). وعندما يسقط جسم في الهواء فإنّ محصلة القوى تساوي الوزن مطروحًا منه مقاومة الهواء. ويكون التسارع في هذه الحالة أقلّ من g. إذا كانت مقاومة الهواء تساوي الوزن فإنّ التّسارع يتلاشى، وعندها يسقط الجسم بسرعة ثابتة (تسمى *السّرعة الحدّيّة*).

قانون نيوتن الثّالث؛ قانون الفعل وردّ الفعل: عندما يؤثّر جسم بقوة في جسم آخر فإنّ الجسم الآخر يؤثّر بقوة مساوية ومعاكسة في الجسم الأول. تحدث القوى بشكل مزدوج، تكون إحداها الفعل والأخرى ردّ الفعل، وتشكّل هاتان القوّتان معًا تفاعلًا بين جسم وآخر. إنّ الفعل وردّ الفعل يؤثران دائمًا في جسمين مختلفين. ولا يمكن لأيّ منهما أن ينشأ دون الآخر.

ومنذ عصر نيوتن حتى الآن، هنالك الكثير من الفيزياء الحديثة والمثيرة تمّ الوصول اليها. وعلى الرّغم من ذلك، وكما ذُكر في بداية هذا الفصل، فإنّ قوانين نيوتن كانت أساسية؛ لأنها مكّنتنا من الوصول إلى القمر لقد غيّر إسحق نيوتن رؤيتنا للكون.

الشخص الذي لديه ميول علمية لديه حاجة ملحّة إلى فهم حقيقة حركة الكون.

نشاط يدوي

عندما تُسْقَط ورقة وكتاب معًا فسيسقط الكتاب بسرعة أكبر من سرعة سقوط الورقة. لماذا؟ الجواب: لأنّ وزن الكتاب أكبر مقارنة بمقاومة الهواء التي تواجه سقوطه. إذا وضعت الورقة على السّطح السّفليّ للكتاب وأسقطتهما معًا من جديد، فليس مستغربًا أن نلاحظ سقوطهما نحو الأرض معًا في الوقت نفسه. ببساطة، الكتاب يدفع الورقة معه خلال سقوطه. الآن، كرّر التجربة بوضع الورقة على السّطح العلويّ للكتاب دون تثبيتها فيه. قارن بين تسارعهما في هذه الحالة؟ هل ينفصل أحدهما عن الآخر ويسقطان بشكل مختلف؟ هل يتسارعان التّسارع نفسه؟ جرّب ذلك واشرح ما حدث.

إسحق نيوتن (1642 - 1727) Isaac Newton

ولد إسحق نيوتن في يوم عيد الميلاد من عام 1642م، وهو العام نفسه الذي توفي فيه جاليليو *Galileo*، وقد ولد خديجًا، وبقي حيًّا بصعوبة. ولد نيوتن في مزرعة والدته في وولزثروب (*Woolsthrope*) في إنجلترا. وتوفي والده قبل عدة أشهر من ولادته، وعاش تحت رعاية أمه وجدته لأمه. وفي طفولته، لم يُظهر أيّ دلائل على النبوغ. حتى أنه ترك المدرسة وهو في الرابعة عشرة والنصف ليعمل في مزرعة والدته. ولكنه كان مزارعًا فاشلًا، وكان يفضل قراءة الكتب التي يستعيرها من جاره الصّيدلاني. لقد أحسّ خاله بالقدرات الأكاديمية للشاب إسحق فأرسله للدراسة في جامعة كامبردج؛ حيث درس فيها مدة خمس سنوات وتخرج فيها دون أيّ تميُّز.

انتشر وباء في أنحاء بريطانيا كافة، فعاد نيوتن إلى مزرعة والدته هذه المرة لإتمام دراساته. وفي المزرعة، وعندما كان عمره ثلاثة وعشرين عاما أو أربعة وعشرين عامًا، وضع أسس العمل الذي خلّد ذكراه. لقد أدت مشاهدته لتفاحة تسقط على الأرض إلى دراسة قوة الجاذبية التي تمتد إلى القمر وما أبعد أيضًا. فصاغ القانون العام للجاذبية. واخترع حساب التّفاضل والتّكامل بوصفه أداة رياضية مهمة في العلم. كما وسّع عمل جاليليو، وطوّر القوانين الأساسيّة الثّلاثة في الحركة. وصاغ كذلك نظرية عن طبيعة الضّوء؛ حيث بيّن باستخدام المناشير أنّ الضّوء الأبيض مكوّن من مجموعة من الألوان. إنّ تجاربه على المناشير هي التي قادت إلى شهرته.

وعندما خمد أثر الوباء عاد إلى كامبردج. وذاع صيته على أنّه رياضيّ من الدّرجة الأولى. حتى أن أستاذه استقال في الرّياضيّات لصالحه. فعيّن نيوتن أستاذًا للرّياضيّات (*Lucasian*). واستمرّ في هذا المنصب مدة 28 عامًا. وفي عام 1672م انتخب في الجمعية الملكية؛ حيث عرض أول تلسكوب عاكس في العالم، وهو محفوظ

في المكتبة العلمية في لندن، وقد نقش عليه: "أول تلسكوب عاكس، اخترعه السّيد إسحق نيوتن وصنعه بيده".

لم يبدأ نيوتن كتابة ما اعترف به الجميع على أنه أعظم كتاب علمي، وهو "الأصول الرّياضيّة للفلسفة التّطبيقيّة" *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* حتى سنّ 42. لقد كتب هذا الكتاب باللاتينية، وأكمله في 18 شهرًا، وظهر مكتوبًا في عام 1678م، ولكن لم يطبع بالإنجليزية حتى عام 1729م ، أي بعد سنتين من وفاته. وعندما سُئل عن كيفية قدرته على التّوصل إلى هذا الكم من الاكتشافات أجاب أنه توصلّ إلى حلّ جميع هذه المسائل بالتّفكير المتواصل فترات طويلة، والعمل بجديّة لا بمجرد بالإلهام المفاجئ.

انتُخب نيوتن عضوًا في البرلمان وعمره 46 سنة. وحضر جلسات البرلمان مدة عامين لم يقدّم فيها أيّ خطاب. وفي أحد الأيام وقف، فصمت أعضاء البرلمان لسماع ما يودّ هذا الرّجل العظيم .. لقد كان خطاب نيوتن مختصرًا جدًّا، فقد طلب إغلاق النافذة بسبب وجود تيّار هوائيّ يزعجه.

وبعيدًا عن اشتغاله بالعلم، فقد عُين أمينًا، ثمّ مسؤولًا عن صكّ النّقود. استقال نيوتن من عمله أستاذًا، ووجّه جهوده إلى تحسين صكّ النقود إلى درجة حيَّرت المزوّرين. لقد حافظ على عضويته في الجمعية الملكية وانتخب رئيسًا لها، وقد أعيد انتخابه سنويًّا حتى وفاته. كتب عن البصريّات (*Optiks*) وهو في سنّ الثانية والستين، ملخّصًا عمله عن الضّوء. وبعد تسع سنوات، كتب الطبعة الثانية من كتابه الأصول (*Principia*).

وعلى الرّغم من شيب شَعْرَ نيوتن في سنّ الثلاثين، إلاّ أنه بقي طويلًا مجدّدًا وكاملًا طيلة حياته. وبخلاف الكثير من الناس في ذاك الزمان، لم يستعمل الشّعر المستعار. لقد كان نيوتن رجلًا متواضعًا، حساسًا للنّقد، لم يتزوج قطّ. وقد بقي جسمه بصحة جيدة عقليًّا وجسديًّا حتى الشيخوخة. وكانت أسنانه كاملة حتى وهو في سنّ الثّمانين، وكان بصره وسمعه أيضًا في حالة جيدة، وعقله متيقّظًا. لقد عُدَّ من قبل أبناء وطنه في ذلك العصر أعظم عالِم على الإطلاق. وفي عام 1705م، منحته الملكة آن *Anne* لقب فارس. وقد توفي نيوتن عن عمر يناهز 85 عامًا، ودفن في كنيسة ويست مينستر *Westminster* مع الملوك والأبطال.

لقد فتح نيوتن الكون؛ فقد برهن أنّ القوانين التي تؤثر في الأرض هي القوانين الطبيعية نفسها التي تحكم الكون الأكبر أيضًا. أما بالنسبة إلى الجنس البشري، فقد أدى هذا إلى مزيد من التواضع، وكذلك إلى الأمل والإلهام بسبب الأدلة ذات الترتيب المنطقي. لقد كان نيوتن مدرسًا في عصر المنطق. وأسهمت أفكاره وبصيرته في تغيير العالم وتحسين حياة البشر.

ملخّص المصطلحات

قانون نيوتن الأول في الحركة Newton's first law of motion: كلّ جسم يستمرّ في حالة سكونه، أو حالة حركته في خطّ مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة.

القصور Inertia: خاصية مقاومة الأجسام للتّغيّرات في الحركة.

قانون نيوتن الثاني في الحركة Newton's second law of motion: يتناسب التّسارع الناتج عن محصلة قوة على جسم ما طرديًّا مع محصلة القوى وفي اتجاهها نفسه، في حين يتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم.

السّقوط الحرّ Free fall: السّقوط تحت تأثير الجاذبية فقط هو سقوط دون مقاومة الهواء.

السّرعة الحدّيّة Terminal speed: السّرعة التي يصل إليها جسم ساقط بحيث تعادل مقاومة الهواء وزنه.

السّرعة المتجهة الحدّيّة Terminal velocity: السّرعة الحدّية عندما يكون الاتجاه محدّدًا.

التّفاعل Interaction: فعل متبادل بين أجسام تؤثّر بعضها في بعض بقوى متساوية ومتعاكسة في الاتجاه.

زوج قوى Force pair: قوى الفعل وردّ الفعل التي تحدث خلال تفاعل ما.

قانون نيوتن الثّالث Newton's third law of motion: عندما يؤثّر جسم بقوة في جسم آخر فإنّ الجسم الآخر يؤثر بقوة مساوية ومعاكسة في الاتجاه في الجسم الأول.

أسئلة مراجعة

1.2 قانون نيوتن الأول في الحركة

1. اذكر قانون القصور.
2. هل القصور خاصيّة للمادة أم قوة من نوع ما؟
3. ما المبدأ الذي غاب عن عقول النّاس في القرن السّادس عشر عندما لم يستطيعوا إدراك أنّ الأرض تتحرك؟
4. عندما يسقط طائر عن غصن شجرة في اتجاه الأرض، لماذا لا تبتعد الأرض المتحركة بعيدًا عن الطّائر السّاقط؟
5. ماذا يصبح شكل مسار الكواكب حول الشّمس إذا فقدت الجاذبها إليها بشكل مفاجىء؟

2.2 قانون نيوتن الثّاني في الحركة

6. اذكر قانون نيوتن الثّاني.
7. بأيّ شكل يتناسب التّسارع مع القوة: طرديًّا أم عكسيًّا؟ أعط مثالا على ذلك.
8. بأيّ شكل يتناسب التّسارع مع الكتلة: طرديًّا أم عكسيًّا؟ أعط مثالًا على ذلك.
9. إذا تضاعفت كتلة جسم منزلق ثلاث مرات، وفي الوقت نفسه تضاعفت محصلة القوى المؤثرة فيه ثلاث مرات، فما تسارعه الناتج مقارنة بتسارعه الأصليّ؟
10. ما محصلة القوى المؤثّرة في جسم وزنه 10 نيوتن، ويسقط سقوطا حرًّا؟
11. لماذا لا تتسارع الأجسام الثقيلة أكثر من الأجسام الخفيفة عندما تسقط سقوطًا حرًّا؟
12. ما محصلة القوى المؤثّرة في جسم ساقط وزنه 10 نيوتن، ويتعرض لمقاومة هواء مقدارها 4 نيوتن؟ ومقاومة هواء 10 نيوتن؟
13. ما العاملان الرّئيسان المؤثّران في مقاومة الهواء للأجسام السّاقطة؟
14. ما تسارع الجسم السّاقط الذي يوصله إلى السّرعة الحدّيّة؟
15. عندما يسقط جسمان لهما الحجم نفسه بسرعتين مختلفتين، فأيهما يتعرض لمقاومة هواء أكبر؟
16. لماذا يسقط المظليّ الأثقل أسرع من المظليّ الأخفّ وزنًا على الرّغم من استعمالهما مظلتين لهما الحجم نفسه؟

3.2 القوى وتفاعلاتها

17. ذكرنا سابقًا أنّ القوّة دفع أو سحب، والآن نقول إنّ القوة تفاعل. فهل القوة دفع، أم سحب، أم تفاعل؟ وماذا نقصد بالتفاعل؟
18. ما عدد القوى اللازمة لتفاعل واحد؟
19. عندما تدفع حائطًا بأصابعك، فسوف تنثني أصابعك بسبب تأثرها بقوة ما. عرّف هذه القوة.
20. يستطيع الملاكم ضرب كيس ثقيل بقوة كبيرة. لماذا لا يستطيع أن يضرب بمقدار القوة نفسه ورقة جريدة في الهواء؟

4.2 قانون نيوتن الثّالث في الحركة

21. عرّف قانون نيوتن الثّالث.
22. افترض أنّ كرة بيسبول ضُربت بمضرب. إذا سمّينا القوة التي تؤثر من المضرب في الكرة بالفعل فحدّد قوة ردّ الفعل.
23. بافتراض أنّ القوة المحصّلة المؤثرة في قذيفة مدفع وفي المدفع المرتدّ نفسه متساويتان في المقدار، فلماذا يختلف تسارع القذيفة عن تسارع المدفع؟
24. هل صحيح القول إنّ قوى الفعل وردّ الفعل دائمًا تؤثران في أجسام مختلفة؟ وضّح إجابتك.
25. افترض أنّ الجسمين A و B ضمن نظام ما، فهل تؤثر القوى بينهما في تسارع هذا النظام؟

26. ما الشّيء الضّروري من ناحية القوة لتسريع جسم ما؟
27. متى تلغي قوة الفعل وردّ الفعل إحداهما الأخرى؟ ومتى لا تلغي إحداهما الأخرى؟
28. كيف تحصل طائرة الهليكوبتر على قوة رفعها إلى الأعلى؟
29. ما قانون الفيزياء الذي ينشأ عندما نقول إنّنا لا نستطيع أن نَلمس دون أن نُلمس.

5.2 ملخص قوانين نيوتن الثّلاث في الحركة

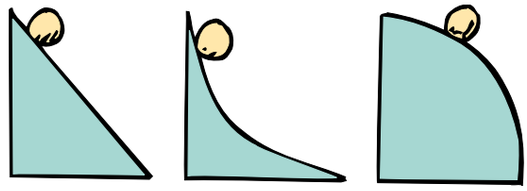
30. لخّص قوانين نيوتن الثّلاثة في الحركة باختصار.

تمارين

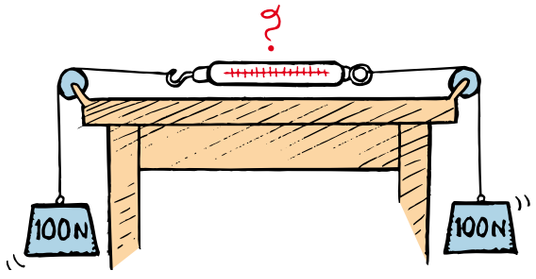
مرة أخرى، لا تنزعج من عدد التّمارين الكبير في هذا الفصل وفصول الكتاب الأخرى. إذا كان مقررك يتطلّب تغطية عدد من الفصول فإنّ مدرّسك سيحدّد بعض التمارين فقط من كلّ فصل.

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا كنت في مركبة فضائيّة، وتحمل صندوقين متماثلين مغلقين أحدهما معبأ بالرمل والآخر معبأ بالرّيش. فكيف يمكنك التمييز بينهما دون فتحهما؟
2. ● عندما تضرب حائطًا فإنّ يدك الفارغة لا تتأذى. ولكن، لماذا تتأذى عندما تحمل حملًا ثقيلًا؟ أيّ قوانين نيوتن ينطبق على هذه الحالة؟
3. ● لماذا يكون السّاطور الثّقيل أكثر فاعلية في تقطيع الخضار من سكين خفيفة على الرّغم من أنهما حادّان بالقدر نفسه؟
4. ■ تتّصل كلّ فقرة من الفقرات المكونة لعمودك الفقري مع جارتيها بقرص من نسيج مرن. ماذا يحدث عندما تقفز بقوة على قدميك من مكان مرتفع؟ هل يمكنك التفكير لماذا تكون أقصر قليلًا في المساء منك عند الصباح؟ (مساعدة: فكر برأس المطرقة في الشّكل 2.2.)
5. ■ قبل عصر جاليليو ونيوتن، درس العديد من الطلاب فكرة أنّ الحجر السّاقط من أعلى سارية شاهقة لسفينة يضرب السّطح خلف السّارية على بعد يساوي المسافة التي تحركتها السّفينة إلى الأمام في أثناء سقوط الحجر. في ضوء فهمك لقوانين نيوتن، ما رأيك في هذه الفكرة؟
6. ● عندما تقف على الأرض، هل تؤثر الأرض بقوّة في قدميك إلى أعلى؟ ما مقدار القوّة المؤثّرة؟ لماذا لا ترتفع إلى الأعلى بسبب هذه القوّة؟
7. ● تتحرك سيارة رياضيّة على مضمار السّباق بسرعة متجهة ثابتة مقدارها 200 كم/ ساعة. ما مقدار القوتين الأفقية والمحصلة المؤثرتين في السّيارة؟
8. ● لجرّ عربة في منطقة عشبيّة بسرعة متجهة ثابتة يجب أن تؤثر فيها بقوة وباستمرار. وفّق بين هذه الحقيقة وقانون نيوتن الأول الذي ينصّ على أنّ الحركة بسرعة ثابتة تدلّ على غياب القوّة.
9. ● عندما تتحرك سيارتك على الطّريق السّريع بسرعة ثابتة، فإنّ القوة المحصلة تكون صفرًا. لماذا تستمر في تشغيل المحرك إذن ؟
10. ■ كلّما تقدّم الصّاروخ في الفضاء أكثر يصبح تسارعه أسهل. ما سبب ذلك؟ (مساعدة: 90% تقريبًا من كتلة الصّاروخ الحديث الإطلاق تكون وقودًا.)
11. ● عندما ترمي قطعة نقود إلى أعلى فماذا يحدث لسرعتها عند الهبوط؟ وماذا يحدث لتسارعها؟ (أهمل مقاومة الهواء).
12. ● عندما تقفز عن الأرض فكيف تقارن القوة التي أثرت بها في الأرض مع وزنك؟
13. ● يقول التّعبير الدّارج: "ليس السّقوط هو الذي يؤذيك، وإنما الوقوف المفاجئ". ترجم هذا إلى قوانين نيوتن في الحركة.
14. ■ على أيّ هذه التّلال تتدحرج الكرة بسرعة متزايدة وبتسارع متناقص عبر المسار؟ (استخدم هذا المثال إذا رغبت أن تفسر لأحدهم الفرق بين السّرعة والتّسارع.)



15. ■ إذا أسقطت جسمًا فإنّه يتسارع نحو الأرض بمقدار 10 م/ث^2. ولكن، إذا قذفته نحو الأسفل، فهل يتسارع بعد قذفه بأكثر من 10 م/ث^2؟ (أهمل مقاومة الهواء). علّل جوابك في حالتي الإيجاب والنفي.
16. ■ في السّؤال السّابق، هل يمكنك التفكير في سبب أنّ تسارع الجسم المقذوف إلى أسفل في الهواء أقلّ من 10 م/ث^2 في الواقع؟
17. ■ إذا لم يكن بسبب مقاومة الهواء، فهل هناك خطورة لمغادرة المنزل في يوم ماطر؟ دافع عن إجابتك.
18. ■ ما مقدار تسارع حجر عند أعلى نقطة في مساره عند قذفه عموديًّا إلى أعلى؟ (هل تتوافق إجابتك مع قانون نيوتن الثاني في الحركة؟)
19. ■ رُبط جسمان وزن كلّ منهما 100 نيوتن في ميزان زنبركي، كما هو مبين. هل يقرأ الميزان 0 نيوتن، أم 100 نيوتن، أم 200 نيوتن، أم يقرأ قراءة أخرى؟ (مساعدة: هل يشير الميزان إلى قراءة أخرى إذا رُبط أحد الحبلين إلى الحائط بدلًا من تعليقه بوزن 100 نيوتن؟)



20. ■ وضعت حبّة تفاح على رأسك. (أ) حدّد القوى المؤثرة في التّفاحة جميعها، وقوى ردّ الفعل لها. (ب) عندما تُسقط التفاحة، حدّد

جميع القوى المؤثّرة فيها في أثناء السّقوط، وقوى ردود الفعل المقابلة.

21. ● ما القوّة المحصّلة على تفاحة تزن 1 نيوتن عند وضعها فوق رأسك؟ وما القوّة المحصلة عليها عند إسقاطها؟

22. ● ادّعى أرسطو أنّ سرعة الجسم السّاقط تعتمد على وزنه. نعلم الآن أنّ الأجسام السّاقطة سقوطًا حرًّا مهما كان وزنها تكتسب معدّل الزيادة نفسه في السّرعة (التّسارع). لِمَ لا يؤثّر الوزن في التّسارع؟

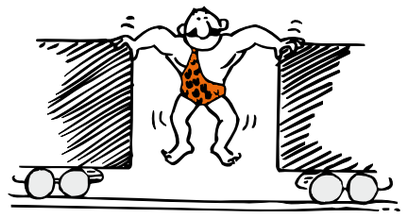
23. ● هل تحتوي عصا من الدّيناميت على قوة؟ دافع عن إجابتك.

24. ● هل يمكن أن يهزّ الكلب ذيله دون أن يعمل ذيل الكلب على هزّ الكلب نفسه؟ (افترض كلبًا بذيل ذا كتلة كبيرة نسبيًّا.)

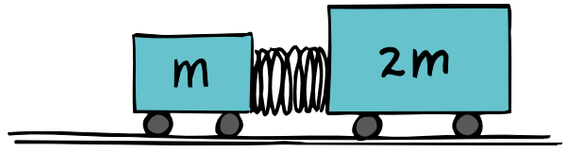
25. ● عندما يرفع اللاعب الأثقال فوق رأسه فإنّ قوّة ردّ الفعل هو وزن الأثقال على يديه. كيف تتغيّر هذه القوة في حالة تسارع الأثقال إلى أعلى؟ وإلى أسفل؟

26. ● لماذا تؤثّر بقوة أكبر في دوّاسة الدّراجة عندما تسحب المقود؟

27. ■ يفْصل الرّجل القوي عربتي القطار السّاكنتين المتساويتين في الكتلة قبل أن يسقط هو نفسه مباشرة على الأرض. هل يحتمل أن يُكسب عربة سرعة أكبر من الأخرى؟ علّل إجابتك في حالتي الإيجاب والنفي.



28. ■ افترض أنّ عربتين انفصلتا عندما حُرّر الزنبرك المضغوط الذي يربطهما، وكانت كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى. فما سرعة العربة الثقيلة مقارنة بسرعة العربة الخفيفة؟



29. ■ إذا أثّرت بقوة أفقية مقدارها 200 نيوتن لتحريك طاولة مكتب على أرضية الغرفة بسرعة ثابتة، فما مقدار الاحتكاك الذي تؤثّر به الأرضيّة في الطّاولة؟ هل تساوي قوةُ الاحتكاك في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوةَ 200 نيوتن التي تدفعه بها؟ لِمَ لا؟

30. ■ إذا اصطدمت شاحنة بدراجة اصطدامًا رأسيًّا، فعلى أيّهما يكون دفع القوّة أكبر؟ أيّهما يتعرض لتغيّر أكبر في حركتها؟ فسّر إجابتك؟

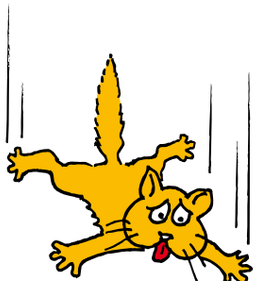
31. ● اشترك شخصان لهما الكتلة نفسها في لعبة شدّ حبل طوله 12م وهما يقفان على جليد عديم الاحتكاك. وعندما يسحبان الحبل يزحف كلّ واحد في اتجاه الآخر. كيف نقارن بين تسارعيهما؟ وكم يزحف كلّ منهما قبل أن يلتقيا؟

32. ● افترض أنّ كتلة أحد الشخصين في المسألة السّابقة ضعف كتلة الآخر. فكم يزحف كلّ شخص قبل التقائهما؟

33. ● أيّ الفريقين يربح في لعبة شدّ الحبل: الفريق الذي يسحب الحبل بقوة أكبر، أم الفريق الذي يدفع الأرض أكثر؟ فسّر.

34. ● تبيّن الصورة ستيف هيويت Steve Hewitt وابنته جريتشن Gretchen. من الذي يلمس الآخر: البنت أم الوالد؟ فسّر.

35. ■ لماذا لا تكون سرعةُ القطّة السّاقطة من عمارة ارتفاعها 50 مترًا عندما ترتطم بشبكة سلامة أكبرَ من سرعتها عندما تسقط من عمارة ارتفاعها 20 مترًا؟



36. ■ السقوط الحرّ هو الحركة التي تكون فيها الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة. (أ) فسّر لماذا لا يكون المظليّ الذي وصل السّرعة الحدّيّة في سقوط حرّ. (ب) فسّر لماذا يكون القمر الصناعيّ الذي يدور حول الأرض فوق الغلاف الجوّيّ في سقوط حرّ.

37. ● كيف تقارن وزن الجسم السّاقط مع مقاومة الهواء التي يتعرض لها قبل وصوله إلى السّرعة الحدّيّة مباشرة، وبعدها مباشرة؟

38. ● تقول لصديقك: إنّ تسارع المظليّ يتناقص مع تقدمه في الهبوط. ثم يسألك صديقك: هل هذا يعني أنه يتباطأ؟ ما رأيك؟

39. ■ إذا كانت مقاومة الهواء غير مهملة عندما أسقط جاليليو الكرتين من أعلى برج بيزا المائل. افترض أنّ الكرتين لهما الحجم نفسه، ولكن إحداهما أثقل من الأخرى، أيّ الكرتين ستصطدم بالأرض أوّلًا؟ ولماذا؟

40. ■ إذا أُسقطت كرتا تنس في الوقت نفسه من أعلى بناية، فإنهما تصلان الأرض في الوقت نفسه. فإذا كانت إحداهما مليئة بقطع من الرّصاص، فهل تسقط بسرعة أكبر ثمّ تصل الأرض أوّلًا؟ أيّ الكرتين تتعرض لمقاومة هواء أكبر؟ دافع عن إجاباتك.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● احسب وزن فيل كتلته 2000 كجم بوحدة النيوتن. ما وزنه بالباوند؟
2. ● إذا أثّرت قوّتان أفقيّتان في عربة بحيث تؤثّر إحداهما نحو الأمام ومقدارها 600 نيوتن في حين تؤثر الأخرى في اتجاه الخلف ومقدارها 400 نيوتن. ونتج عن ذلك تسارع العربة. ما القوة الإضافيّة اللازمة لإحداث حركة في العربة دون تسارع؟
3. ● رجل فضاء كتلته 100 كجم، يبتعد عن سفينة نحو الخلف من خلال تفعيل وحدة دفع صغيرة مربوطة مع السفينة. القوة الناتجة عن هذا الدّفع هي 25 نيوتن. بيّن أنّ التّسارع هو 0.25 م/ث^2.
4. ● افترض أنّك تدفع علبة قهوة كتلتها 2 كجم موضوعة على سطح أفقي بقوة أفقية مقدارها 20 نيوتن. إذا كانت قوة الاحتكاك على الصندوق هي 12 نيوتن. فبيّن أنّ التّسارع الناتج هو 4 م/ث^2.
5. ● افترض أنّك تدفع جسمًا كتلته 4 كجم موضوعًا على سطح أفقيّ بقوة أفقيّة مقدارها 40 نيوتن. إذا كانت قوة الاحتكاك على الكتلة هي 24 نيوتن. فبيّن أنّ التّسارع هو 4 م/ث^2.
6. ● يتحرك صاروخ كتلته 100,000 كجم بتسارع 2 م/ث^2. بيّن أنّ القوة الناتجة عن محرك الصّاروخ هي 200,000 نيوتن.
7. ● أقلعت طائرة جامبو جت 747 كتلتها 330,000 كجم، وتأثرت بقوة دفع مقدارها 250,000 نيوتن من كلّ محرك من محركاتها الأربعة. بيّن أنّ تسارعها هو 3 م/ث^2.
8. ● احسب القوة الأفقية التي يجب التأثير بها في قرص كتلته 1 كجم بحيث يتسارع على طاولة عديمة الاحتكاك بالتسارع نفسه الذي يتسارع به لو سقط سقوطًا حُرًّا.
9. ● إرين Irene يؤثر بمحصلة قوة 10 نيوتن في عربة تسوُّق كتلتها 6.7 كجم مدّة ثلاث ثوانٍ. بيّن أنّ العربة تتحرك بتسارع مقداره 1.5 م/ث^2.
10. ● افترض أنّك تقف على لوح تزلج قريب من حائط. وتدفع الحائط بقوة 30 نيوتن. ما دفع الحائط لك؟ إذا كانت كتلتك 60 كجم، فبيّن أنّ تسارعك مبتعدًا عن الحائط هو 0.5 م/ث^2.
11. ■ ينزلق رجل إطفاء كتلته 80 كجم نحو الأسفل على مسار عموديّ بتسارع 4 م/ث^2. بيّن أنّ قوة الاحتكاك المؤثرة فيه هي 480 نيوتن.
12. ■ يضرب ملاكم ورقة في الهواء بحيث انتقلت من حالة السكون إلى سرعة 25 م/ث خلال 0.05 ثانية. إذا كانت كتلة الورقة 0.003 كجم فبيّن أنّ القوّة المؤثّرة في الورقة تساوي 1.5 نيوتن فقط.
13. ■ كتلة سوزي سكايدايفر ومظلتها 50 كجم.

أ- ما قوة مقاومة الهواء التي تتعرض لها عندما تصل السّرعة الحدّيّة، وقبل أن تفتح مظلتها؟

ب- ما قوة مقاومة الهواء التي تتعرض لها عندما تصل الحدّ الأدنى من السّرعة الحدّيّة بعد أن تفتح المظلّة؟

ج- اشرح لماذا تتفق إجاباتك أو تختلف؟

14. ♦ يسقط مظليّ كتلته 50 كجم، ويتعرض لتسارع 6.2 م/ث^2 نحو الأعلى عندما تفتح المظلة. بيّن أنّ قوة السّحب في هذه الحالة هي 810 نيوتن.
15. ♦ تؤثّر القوة F في اتجاه الأمام في عربة كتلتها m. قوة الاحتكاك f تعاكس الحركة.

أ- استخدم قانون نيوتن الثاني، وبيّن أنّ تسارع العربة هو $\frac{F-f}{m}$.

ب- إذا كانت كتلة العربة 4 كجم، والقوة المؤثّرة 12 نيوتن، وقوّة الاحتكاك 6 نيوتن. بيّن أنّ تسارع العربة هو 1.5 م/ث^2.

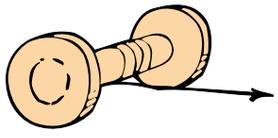
16. ♦ كتلة بيل ومزلجته الصّاروخية M، يتحركان بتسارع a ويصادفان كتلة رخوة m، بحيث ينقلب نتيجة اصطدامه بها ويلتحم.

أ- بيّن أنّ المزلجة تتحرك الآن بتسارع $\frac{M}{m+M}a$.

ب- إذا كانت كتلة بيل ومزلجته 70 كجم، أمّا الكتلة m فهي 45 كجم، والتسارع الابتدائي للمزلجة هو 3.6 م/ ث^2. فبيّن أنّ تسارع المزلجة مع الكتلة التي يلتحم بها هو 2.2 م/ ث^2.

أنشطة استكشافية

1. اكتب رسالة إلى جراندما شبيهة بما وصف في النشاط 1 من الفصل 1. أخبرها فيها أنّ جاليليو هو الذي مهّد لمفاهيم التّسارع والقصور، وكانت فكرة القوة مألوفة لديه، ولكنه لم يتوصل إلى الربط بين هذه المفاهيم الثلاثة. وأخبرها أيضا كيف عرف إسحق نيوتن ذلك. وضّح لماذا تكتسب الأجسام الثقيلة والخفيفة في سقوطها الحرّ السّرعة نفسها في الزمن نفسه. في هذه الرسالة يمكنك استخدام معادلة أو اثنتين لتوضيح الفكرة لجراندما، حيث تكون هذه المعادلة اختصارًا توضيحيًّا للفكرة التي تريد إيصالها.
2. إنّ محصلة القوى المؤثّرة في جسم ما والتّسارع الناتج عن ذلك يكونان في الاتجاه نفسه. يمكن توضيح ذلك باستخدام بكرة الخيط. فإذا سحبت المسلكة أفقيًّا نحو اليمين، فبأيّ اتجاه تدور هذه البكرة؟



3. أخرج يدك من نافذة سيارة متحركة بحيث تكون راحة اليد نحو الأسفل. مَيِّل مقدمة يدك قليلًا إلى الأعلى، ولاحظ أثر دفع يدك عندما ينحرف الهواء إلى أسفل يدك. هل ترى عمل قوانين نيوتن هنا؟

اختبار الاستعداد للقراءة

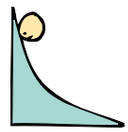
إذا استوعبت هذا الفصل جيّدًا فعليك أن تجيب عن 7 أسئلة من 10 من هذا الاختبار. ولكن، إذا حصلت على أقلّ من 7 فإنك تكون بحاجة إلى مزيد من الدراسة قبل أن تتجاوزه.

اختر الإجابة المناسبة فيما يلي:

1. بافتراض أنّ الجاذبية بين الشّمس والأرض تلاشت فجأة فإنّ الأرض ستستمر في حركتها في مسار:
(أ) منحنٍ.
(ب) خطّ مستقيم.
(ج) لولبيّ نحو الخارج.
(د) لولبيّ نحو الداخل.

2. إذا تحرّك جسم على مسار منحنٍ، فعليه أن يكون:
(أ) متسارعًا.
(ب) تحت تأثير قوة.
(ج) أ+ب.
(د) لا شيء مما ذكر.

3. تتدحرج قوة أسفل مسار منحنٍ، كما في الشكل. كلّما زادت سرعتها، فإنّ معدّل اكتساب السّرعة:



(أ) يزداد.
(ب) يقل.
(ج) يستمر دون تغيير.

4. تسقط صخرة ثقيلة وأخرى خفيفة بشكل حرّ بالتّسارع نفسه. إنّ الصّخرة الثقيلة لا تتحرك بتسارع أكبر لأنّ:
(أ) قوة الجاذبية على كليهما هي نفسها.
(ب) مقاومة الهواء غير موجودة.
(ج) قصور الصّخرتين هو نفسه.
(د) كلّ ما ذكر صحيح.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

5. عندما يسقط جسم كتلته 10 كجم سقوطًا حرًّا بحيث يخضع لمقاومة هواء مقدارها 10 نيوتن، فإنّ تسارعه:
(أ) أقل من g.
(ب) g.
(ج) أكبر من g.
(د) المعلومات غير كافية.

6. تكون مقاومة الهواء لسنجاب طائر وزنه 0.8 نيوتن عندما تكون سرعته الحدّيّة:
(أ) أقل من 0.8 نيوتن.
(ب) 0.8 نيوتن.
(ج) أكبر من 0.8 نيوتن.
(د) معتمدة على اتجاه جسمه.

7. تسقط كرة من حافة سطح بناء مدرسة. وفي أثناء سقوطها فإنّ:
(أ) سرعتها وتسارعها يزدادان.
(ب) سرعتها تزداد، أما تسارعها فيقلّ.
(ج) سرعتها وتسارعها يقلّان.
(د) سرعتها تقلّ، أما تسارعها فيزداد.

8. يؤثّر لاعب (كاراتيه) بقوة 3000 نيوتن في لوح فينكسر. إنّ القوة التي تؤثر في يده خلال تأثير هذه القوة تكون:
(أ) أقل من 3000 نيوتن.
(ب) 3000 نيوتن.
(ج) أكبر من 3000 نيوتن.
(د) المعلومات غير كافية.

9. ضربت كرة بسرعة 30 م/ث. خلال الضّربة، قيمة القوة المؤثرة من قدم اللاعب في الكرة هي:
(أ) أقلّ من قيمة القوّة المؤثّرة في القدم.
(ب) قيمة القوّة المؤثّرة في القدم نفسها.
(ج) أكبر من قيمة القوّة المؤثّرة في القدم.
(د) لا شيء مما ذكر.

10. مصدر القوة التي تدفع الصّاروخ هو:
(أ) الجاذبية.
(ب) قوانين نيوتن في الحركة.
(ج) الغاز المنطلق منه.
(د) المحيط ضد اندفاع الصّاروخ.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١-ب، ٢-ج، ٣-ب، ٤-ب، ٥-أ، ٦-ب، ٧-ب، ٨-ب، ٩-ب، ١٠-ج

الفصل 2 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 2.6، 2.9، 2.12، 2.21، 2.24، 2.25، 2.26، 2.27

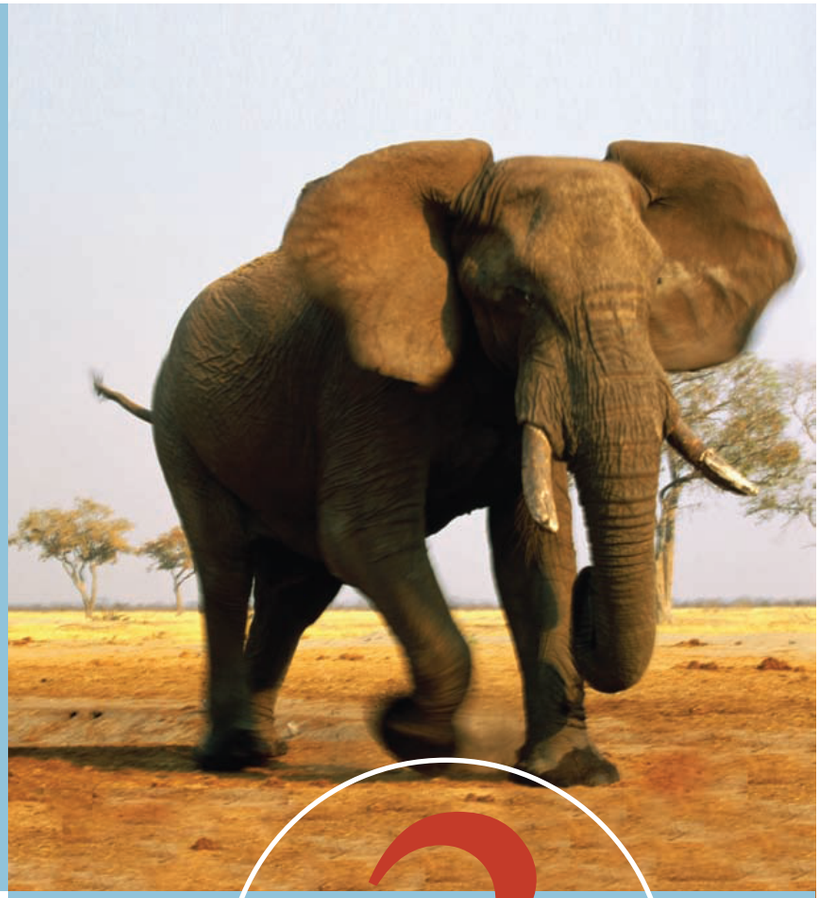
دروس تعليمية

- السقوط بالمظلة وقانون نيوتن الثاني
- قانون نيوتن الثالث

أشرطة فيديو

- قانون نيوتن الثاني
- القوة تسبب التسارع
- الاحتكاك
- السقوط الحر ومقاومة الهواء
- القوى وتفاعلاتها
- الفعل ورد الفعل على الكتل المختلفة
- الفعل ورد الفعل على البندقية والرصاصة

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



3

الزّخم والطّاقة

1.3 الزّخم ودفع القوة

2.3 دفع القوة يغيِّر الزخم

3.3 حفظ الزّخم

4.3 الطاقة والشغل

5.3 نظرية الشغل والطاقة

6.3 حفظ الطاقة

7.3 القدرة

8.3 الآلات

9.3 الفاعلية

10.3 مصادر الطاقة

■ لقد تعلمنا أنّ فكرة جاليليو في القصور الذاتي اندمجت في قانون نيوتن الأول في الحركة. وقد شرحنا القصور الذاتي بدلالة أجسام ساكنة ومتحركة. وسندرس في هذا الفصل القصور الذاتي لأجسام متحركة. عندما ندمج أفكار القصور الذاتي والحركة فإننا نتعامل مع الزخم، وهو خاصية للأشياء المتحركة. جميع الأشياء تملك طاقة؛ وعندما تكون متحركة، فإنها تملك طاقة حركية – *طاقة الحركة*، في حين تملك الأشياء الساكنة شكلًا آخر من الطاقة، هي طاقة الوضع. وهكذا فإنّ الأجسام كلّها، سواء أكانت ساكنة أم متحركة، تملك طاقة $E=mc^2$. إنّ هذا الفصل يتعلق بمبدأين أساسيين في الميكانيكا؛ الزخم والطاقة.

1.3 الزّخم ودفع القوة

يعدّ إيقاف شاحنة أصعب من إيقاف سيارة صغيرة إذا كانتا تسيران بالسرعة نفسها. ونقول إنّ الشاحنة لها زخم أكبر من زخم السيارة. ونعني بالزخم القصورَ الذاتيَّ في الحركة. أو بصورة أكثر دقة، كتلة جسم ما مضروبة في سرعتها المتجهة.

الزخم = الكتلة x السرعة المتجهة

ويرمز إلى هذا بـــ

$$\text{الزخم} = m\,v$$

إذا كان الاتجاه ليس عاملًا مهمًّا، فإنه يمكننا القول إنّ

الزخم = الكتلة x السرعة القياسية

وتختصر بالرمز $m\,v$. *

يمكننا أن نلاحظ من التعريف أنّ الجسم المتحرك يكون له زخم أكبر إذا كانت كتلته أكبر أو سرعته أعلى، أو كلاهما. فالشاحنة المتحركة يكون لها زخم أكبر من زخم السيارة الصغيرة إذا كانتا تسيران بالسرعة نفسها؛ لأنّ كتلة الشاحنة أكبر. إلا أنّ السيارة السريعة قد يكون لها زخم أكبر من شاحنة بطيئة. أما الشاحنة المتوقفة فليس لها أيّ زخم.

إذا تغير زخم جسم ما فستتغير كتلته أو سرعته أو كلاهما، إذا بقيت الكتلة ثابتة، كما في معظم الحالات، وتغيرت السرعة، وحدث تسارع. فما الذي سبّب التسارع؟ نحن نعرف الإجابة؛ إنّها *القوة*. كلما زادت القوة المؤثرة في جسم ما زاد التغير في كلّ من سرعته وزخمه.

إلا أنّ هناك شيئًا آخر مهمًّا مهم في تغيُّر الزخم، وهو الزمن. ما الفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة؟ إذا أثّرت بقوة في سيارة متوقفة لمدة قصيرة فإنك تحدث تغييرًا في زخمها. والآن أثّر بالقوة نفسها ولكن فترة زمنية أطول. ستلاحظ أنّك تُحدث تغييرًا في الزخم أكبر من التغيير الحادث في تأثير الفترة القصيرة. وهكذا، فإنّ كلًّا من القوة والفترة الزمنية مهم في تغير الزخم.

مقدار القوة × الفترة الزمنية يسمى **دفع القوة**. وبرموز مختصرة،

فإنّ دفع القوة $= F\,t$

الشّكل 1.3

لسوء الحظ، للصخرة زخم أكبر من زخم العدّاء.

الزمن ذو أهمية خاصة لتغير الزخم.

نقطة فحص

1. قارن بين زخم عربة كتلتها كيلوجرام واحد تتحرك بسرعة 10 م/ث وأخرى كتلتها كيلوجرامين تتحرك بسرعة 5 م/ث.
2. هل يملك الجسمُ المتحرك دفعَ قوة؟
3. هل يملك الجسمُ المتحرك زخمًا؟
4. للقوة نفسها؛ أيّ المدفعين يعطي قذيفته دفع قوة أكبر؛ الطويل أم القصير؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كلاهما له الزخم نفسه (1 كجم × 10 م/ث = 2 كجم × 5 م/ث).
2. لا. دفع القوة ليس شيئًا يمتلكه الجسم كالزخم. إنّ دفع القوة هو ما يمكن أن يعطيه جسم ما، أو يتأثر به ذلك الجسم عندما يتفاعل مع جسم آخر. الجسم نفسه لا يمكنه امتلاك الدفع، تماما كما لا يمكنه امتلاك القوّة.
3. نعم، إلا أنّ السرعة نسبية – ويكون ذلك بالنسبة إلى مرجع إسناد، وهو عادة سطح الأرض. إنّ زخم جسم ما بالنسبة إلى مرجع ثابت عند نقطة على الأرض يمكن أن يختلف قليلا عن زخم الجسم نفسه بالنسبة إلى مرجع آخر (جسم آخر متحرك).
4. المدفع الطويل يعطي دفع قوة أكبر؛ لأنّ القوة في هذه الحالة تؤثر فترة أطول. (يُنتج دفعُ القوة الأكبر تغيرًا أكبر في الزخم. وهكذا، فإنّ المدفع الأطول يعطي سرعة أكبر لقذيفة المدفع من تلك التي يعطيها المدفع القصير).

الشّكل 2.3

عندما تدفع بالقوة نفسها في زمن مضاعف فإنك تنقل ضعف دفع القوة، وتنتج ضعف التغير في الزخم.

* رمز الزخم هو p. في معظم كتب الفيزياء المقررة، $p = mv$.

2.3 دفع القوة يغيِّر الزخم

كلما زاد دفع القوة المؤثرة في شيء ما زاد التغير في الزخم. والعلاقة الدقيقة هي:

دفع القوة(*Impulse*) = التغير في الزخم (*Momentum*)

أو*

$$Ft = \Delta(mv)$$

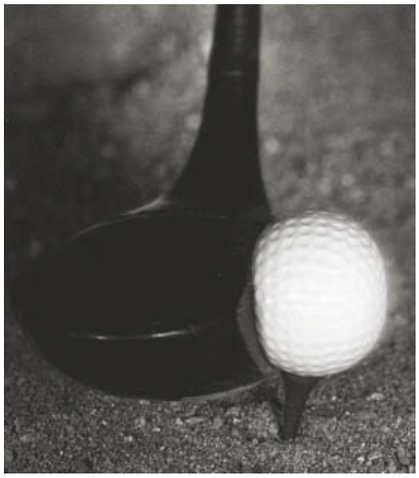
حيث Δ رمز "التغير في".

إنّ علاقة دفع القوة والزخم يساعدان على تحليل حالات مختلفة من تغيرات الزخم. وهنا نرغب في دراسة بعض الأمثلة المألوفة؛ حيث دفع القوة يتعلق بزيادة الزخم أو نقصانه.

الحالة 1: زيادة الزخم

لزيادة زخم جسم ما، يكون من المنطق تطبيق أكبر قوة ممكنة لأطول فترة ممكنة. إنّ لاعبي كرة الجولف وكرة البيسبول يمارسون ذلك عند قذفهم الكرات بأكبر قوى ممكنة من خلال التأثير لأطول فترة ممكنة.

إنّ القوى المرتبطة بقوى الدفع عادة ما تتغير من لحظة إلى أخرى؛ فعلى سبيل المثال، لا يؤثّر مضرب الجولف الذي يضرب الكرة بأيّ قوة في الكرة إلى اللحظة التي يلامس بها الكرة. حيث تزداد القوة بعد ذلك بشكل سريع وبحيث تصبح الكرة مشوّهة (الشّكل 3.3). وثم تتلاشى القوة حيث تكون الكرة قد اكتسبت سرعة وعادت إلى شكلها الأصلي. عندما نتكلم عن مثل هذه القوى في هذا الفصل، فإننا نقصد بذلك *متوسط* القوة.



الشّكل 3.3

تتغيّر قوةُ تأثير الضربة في كرة الجولف خلال فترة التصادم مع الكرة.

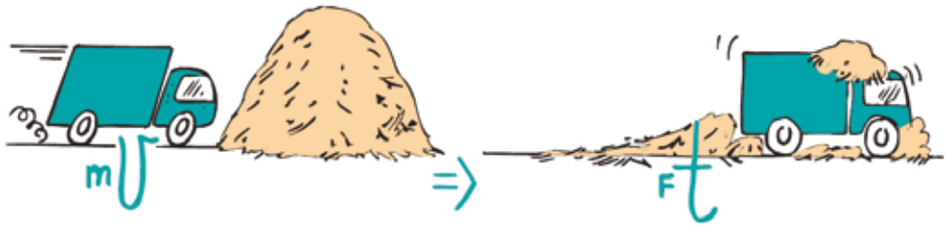
الحالة 2: نقصان الزّخم خلال فترة زمنية طويلة

إذا كنتَ داخل سيارة، ثمّ فقدتَ السيطرة عليها، وكان عليك الاختيار بين صدمها بحائط خرسانيّ أو بكومة قش، فإنك لا تستعين بمعلوماتك في الفيزياء لاتخاذ قرار عقلي؛ لأنّ المنطق يفرض عليك اختيار كومة القش. ولكن معرفتك بالفيزياء تساعدك على فهم سبب أنّ صَدْم جسمٍ لينٍ يختلف تمامًا عن صدمِ جسمٍ قاسٍ. في حالة صدم حائط أو كومة قشّ بحيث تكون النتيجة هي الوقوف التام، فإنّ دفع القوة نفسه يعمل على تقليل الزّخم إلى الصفر. إنّ دفع القوة نفسه لا يعني مقدار القوة نفسه، أو الفترة الزمنية عينها، ولكنه يعني الحاصل نفسه لضرب القوة في الزمن. عند الارتطام بكومة القشّ بدلا من الحائط، فإنك تطيل *الفترة الزمنية التي يصبح الزخم خلالها يساوي صفرًا*. إنّ زيادة الفترة الزمنية تقلّل القوة، لذا تقل التباطؤ الناتج. مثلًا إذا ضوعفت الفترة الزمنية 100مرة فإنّ القوة تقلّ إلى 1%. وكلما أنقصنا القوة زدنا فترة زمن التلامس. وهذا هو السبب وراء إخفاء لوحة المفاتيح والوسادة الهوائية في السيَّارات.

عندما تقفز من مكانٍ عالٍ نحو الأرض، فماذا يحدث عندما تكون رجلاك على استقامة وثبات؟ إنّه الشعور بالألم! وبدلا من ذلك، عليك ثني ركبتيك عندما تصطدم رجلاك بالأرض؛ لأنّ هذا الفعل يُطيل الزمن الذي يقلّ خلاله الزخم بنحو 10 إلى 20 ضعفًا منه في حالة الهبوط المفاجيء الذي تكون عنده الرجلان متصلبتين. إنّ القوة الناتجة على العظام تقلّ بعامل يتراوح بين 10 و20 ضعفًا. وعندما يسقط مصارع على أرض مرنة فإنه يحاول إطالة زمن اصطدامه بالأرض وذلك بإرخاء عضلاته، وتمديد الصدمة إلى عدد من الصدمات عندما يصدم كل من القدم والركبة والورك والضلع والكتف الأرضَ بنجاح. وبالطبع فإنّ السقوط على سطح مرن أفضل من السقوط على سطح صلب؛ لأنَّ السطح المرن يزيد زمن تأثير القوة.

---

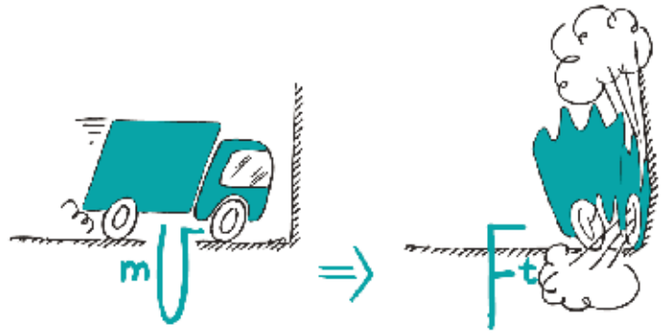
* تم اشتقاق هذه العلاقة بإعادة صياغة قانون نيوتن الثاني لجعل عامل الزمن أكثر وضوحًا. بمساواة صيغة التسارع $a = F/m$، مع مفهوم التسارع الفعلي وهو $a = \Delta v/\Delta t$ نحصل على $F/m = \Delta v/\Delta t$. ومنها نجد أنّ $F\Delta t = \Delta(mv)$ هي ببساطة t نفسها. وعليه، فإنّ $F\Delta t = \Delta(mv)$.



الشّكل 4.3
إذا كان الزخم يتغير خلال فترة زمنية طويلة فإنّ قوة الضربة تكون خفيفة.

إنّ شبكةَ السلامة المستخدمة في ألعاب السيرك البهلوانية مثالٌ جيد على كيفية الوصول إلى دفع قوة يكفي لهبوط آمن. تقلل شبكة السلامة هذه القوة التي يتأثر بها لاعب السيرك عندما يسقط على الشبكة بزيادة جوهرية للفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة.

عند محاولتك التقاط كرة بيسبول سريعة بيدك المكشوفة، فإنك تَمُدّ يدك إلى الأمام بحيث تترك فضاءً كافيًا يسمح بحركة يدك نحو الخلف بعد اصطدامها بالكرة؛ إنك تمدّد فترة التصادم ، ومن ثم تقلل قوته. وبالمثل فإنّ الملاكم يتحرك خلال اللكمة لتقليل قوة التصادم (الشّكل 6.3).

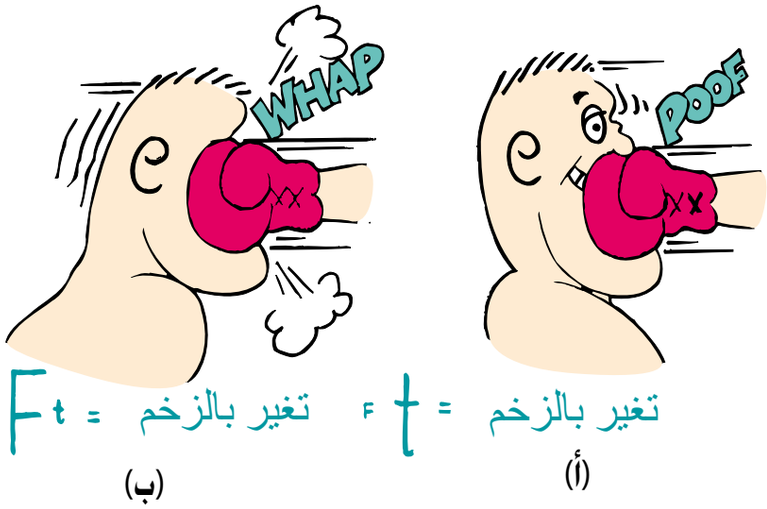


الشّكل 5.3
إذا كان التغير في الزخم يحدث خلال فترة قصيرة فإنّ قوة الضربة تكون كبيرة.

الحالة 3: تقليل الزّخم في زمن قليل

عندما تلاكم، إذا تحركت نحو الصدمة بدلًا من الابتعاد عنها فستكون في ورطة. ويحدث هذا الأثر نفسه كما في حالة تحريك يدك في اتجاه كرة بيسبول مسرعة لالتقاطها بدلًا من الابتعاد لحظة ملامستها. وعند فقدانك السيطرة على سيارتك فإنك ستكون في ورطة حقيقية إذا اندفعت بها في اتجاه حائط خرسانيّ بدلًا من كومة قش. في هذه الحالات من زمن التصادم القصير، تكون قوة التصادم كبيرة. وتذكّر أنه لإيقاف جسم متحرك، فإنّ دفع القوة يكون هو نفسه بغض النظر عن كيفية إيقافه. ولكن إذا كان الزمن قصيرًا فإنّ القوة تكون كبيرة.

إنّ فكرة زمن تصادم قصير تشرح كيف أنّ خبيرة رياضة الكاراتيه يمكنها تحطيم مجموعة من القرميد بضربة من يدها المكشوفة (الشّكل 7.3). تضع ذراعها ويدها فجأة على القرميد وبزخم كبير. هذا الزخم يقلّ بسرعة عندما ينتقل الدفع إلى القرميد. إنّ دفع القوة هو قوة يدها على القرميد مضروبة في الزمن المستغرق لملامسة يدها للقرميد. وبتنفيذ ضربة قوية فإنّ زمن التماسّ يكون قصيرًا جدًّا، ويكون دفع القوة هائلا. وإذا كانت يدها ترتد وتؤثر في الكرة كما سنرى لاحقًا، فستكون القوة في هذه الحالة أكبر.



الشّكل 6.3
في كلتا الحالتين، دفع القوة المزوَّد من فم الملاكم (boxer's jaw) يقلل زخم الضربة. (أ) عندما يتحرك الملاكم متباعدًا خلال الضربة، فإنّه يزيد الفترة الزمنية، لذا يعمل على تقليل القوة. (ب) عندما يقترب الملاكم في اتجاه القفاز يقلّ الزمن، وعليه أن يواجه قوة أكبر.

نقطة فحص

1. إذا زاد الملاكم (الشّكل 6.3) فترة الدفع إلى ثلاثة أضعاف من خلال هذه الحركة على حلبة الملاكمة، فما مقدار النقصان في قوة الدفع؟
2. إذا قلّلَ الملاكم فترة الدفع إلى النصف، فما مقدار الزيادة في قوة الدفع؟
3. عندما يقوم باللكمة، يحاول الملاكمُ إطالةَ الزمن للحصول على أفضل النتائج. في حين أنّ خبير الكاراتيه يؤثر بقوة في زمن قصير للحصول على أفضل النتائج. هل هناك تناقض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تكون قوة الضربة ثلث الضربة فقط لو لم ينسحب إلى الخلف.
2. تكون قوة الضربة مضاعفة إذا ترك رأسه كما هو. تعدّ اللكمات من هذا النوع من الضربات الحاسمة.
3. لا يوجد تناقض؛ لأنّ أفضل النتائج لكلّ منهما يكون مختلفًا؛ فأفضل النتائج للملاكم يكون بقوة أقل وزمن أطول. أما في رياضة الكاراتيه فإنّ أفضل النتائج تكون بزيادة القوة وتقليل الزّمن.

الشّكل 7.3

كيسي (Cassy) تنقل دفع قوة في زمن قصير، لذا تنتج قوة كبيرة.

الارتداد

عندما تسقط باقة ورد من الرّف على رأسك فسيولّد هذا إرباكًا لك. ولكن ربما يكون مربكًا أكثر إذا سقطت تلك الباقة عن رأسك. لماذا؟ لأنّ دفع القوة يكون أكبر عندما يرتد الجسم. دفع القوة اللازم لإيقاف جسم ثمَّ "قذفه من جديد" يكون أكبر منه في حالة إيقاف الجسم فقط.

حساب العلوم الطبيعية

حلّ مسائل

عينة مسألة 1

كرة بولنج كتلتها 8 كجم، تتدحرج بسرعة 2 م/ث، اصطدمت بحائط لُبّاديّ فسكنت.

(أ) ما زخم الكرة قبل اصطدامها بالحائط مباشرة؟

(ب) ما مقدار دفع القوة المؤثرة في الكرة؟

(ج) ما مقدار دفع القوة المؤثر في الحائط؟

الحل:

(أ) زخم الكرة هو

$$mv = (8\ \text{kg})(2\ \text{m/s}) = 16\ \text{kg·m/s}.$$

(ب) استنادا إلى علاقة الزخم ودفع القوة، فإنّ دفع القوة على الكرة يساوي التغير في الزخم. التغير في الزخم من 16 كجم.م/ث إلى الصفر. وعليه

$$Ft = \Delta mv = (16\ \text{kg} \cdot \text{m/s}) - 0 =$$
$$16\text{kg} \cdot \text{m/s} = 16\ \text{N} \cdot \text{s}.$$

(لاحظ أنّ الوحدات كجم.م/ث ونيوتن.ثانية متكافئة.)

(ج) استنادًا إلى قانون نيوتن الثالث، القوة المؤثرة من الكرة في الحائط تساوي القوة المؤثرة من الحائط في الكرة وتعاكسها. ولأنّ زمن التفاعل هو نفسه لكلّ من الحائط والكرة، فإنّ دفع القوة لهما يكون أيضًا متساويًا ومتعاكسًا. وعليه، فإنّ دفع القوة للكرة هو 16 نيوتن. ثانية.

عينة مسألة 2

بيضة نعامة كتلتها m، قذفت بسرعة v إلى فرشة مدلاة بحيث سكنت في زمن t.

(أ) بين أنّ متوسط قوة البيضة المنقولة هو $\frac{mv}{t}$.

(ب) إذا كانت كتلة البيضة 1.0 كجم، وسرعتها لحظة اصطدامها بالفرشة 2 م/ث، والزمن اللازم لسكونها 0.2 ث، فبيّن أنّ متوسط القوة المؤثرة يساوي 10 نيوتن.

(ج) لماذا تكون احتمالية تحطيم البيضة مع الفرشة المرتخية أقل منها لو كانت مشدودة؟

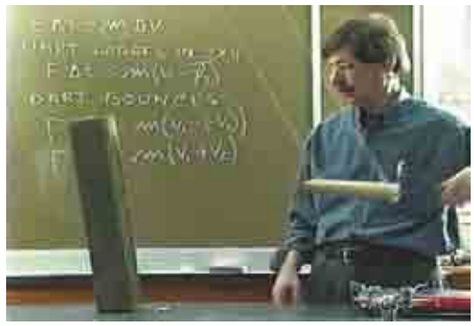
الحلّ:

(أ) من معادلة الزخم ودفع القوة، $Ft = \Delta(mv)$. وحيث إنّ البيضة تقترب من حالة السكون فإنّ $mv = \Delta mv$. وبحساب جبريّ بسيط نحصل على $F = \frac{mv}{t}$.

(ب) $$F = \frac{mv}{t} = \frac{(1.0\ \text{kg})(2.0\ \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.2\text{s})}$$

$$= 10\ \text{kg}.\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10\ \text{N}.$$

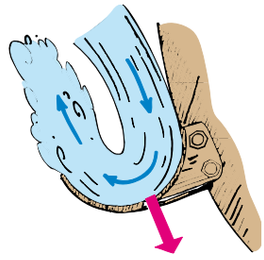
(ج) الزمن الذي تفقد خلاله البيضة زخمها عند اصطدامها بالفرشة المرتخية يكون أكبر. إنّ زيادة الفترة الزمنية تعني نقصان القوة التي تعمل على إيقاف البيضة. قوة أقل تعني احتمالية تحطيم أقلّ.



الشّكل 8.3
بيّن هوي براند (Howie Brand) أنّ الجسم تداعى للسقوط عندما ارتد عنه الرمح. وعند إزاحة قطعة المطاط عن رأس الرمح، فإنه لم يرتد عند ضربه بالجسم، وأنّ الجسم لم يتأرجح.

إذا افترضنا أنك ستلتقط بيدك الباقة الساقطة فإنك تزوّدها بدفع قوة لتقليل زخمها إلى الصفر. وإذا قمت بقذفها إلى الأعلى مرة أخرى، فعليك إعطاء دفع قوة إضافيّ. إنّ هذه الزيادة في دفع القوة هي نفسها التي يزوَّد بها رأسك عندما ترتد عنه باقة الورد.

حقيقة (أنّ دفع القوة يكون أكبر عند حدوث الارتداد) كانت قد استخدم بنجاح كبير خلال تدفق ذهب كاليفورنيا. إنّ دواليب الماء المستخدمة في عمليات مناجم الذهب لم تكن تعمل بفاعلية كبيرة. حدَّد لاستر بيلتون (Laster A. Pelton) المشكلة التي ترتبط بانبساط العجلات على دواليب الماء. لقد صمَّم عجلات منحنية تساعد الماء الداخل على عمل التفاف (U-turn) عندما يصطدم بالعجلات. وبسبب ارتداد الماء، يزداد دفع القوة المؤثر في دولاب الماء. وعليه، فقد حوّل بيلتون فكرته هذه إلى اختراع حصل منه على مردود مادي أكبر من أيّ اكتشاف لمنجم ذهب. وفي الحقيقة، فإنّ الفيزياء قد تغنيك بطرق متعددة وليس بطريقة واحدة.



الشّكل 9.3
عجلة بيلتون (Pelton). تسبب الشفرات المنحنية ارتداد الماء وعمل التفاف بحيث تنتج دفع قوة أكبر يعمل على إدارة العجلة.

■ نقطة فحص

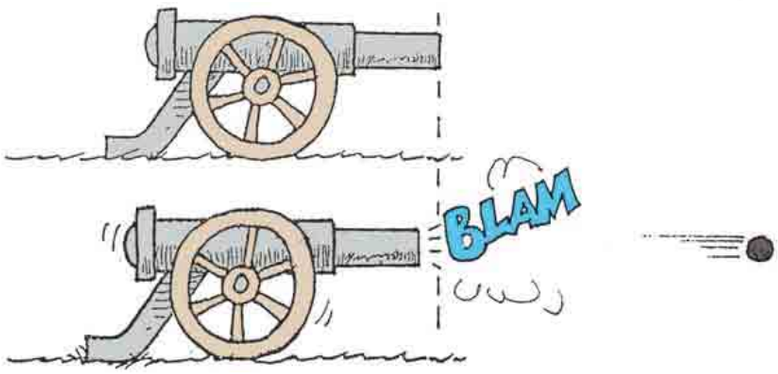
1. في الشّكل 7.3. كيف يمكنك المقارنة بين القوة التي أثرت بها كيسي (Cassy) في قطعة القرميد والقوة التي أثرت في يدها؟
2. كيف يختلف دفع القوة الناتج عن الضربة على القرميد إذا ارتدت يدها عن قطع القرميد المعرضة للضربة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. بالرجوع إلى قانون نيوتن الثالث حيث القوى متساوية، فإنّ إعادة الحيوية إلى اليد من خلال التدريب فقط يساعد على تقويتها. ويسمح لهذا العمل البطولي أن يتم دون أن يُحدث كسرًا في عظم اليد.
2. إنّ دفع القوة يكون أكبر إذا ارتدت يدها عن قطع القرميد. إذا لم يَزدَد زمن الضربة بناءً على ذلك فإنّ قوة أكبر عندئذٍ تؤثر في القرميد (واليد كذلك).

3.3 حفظ الزّخم

إنّ دفع القوة الخارجي بالنسبة إلى نظام ما هو فقط الذي يمكن أن يغيّر زخم ذلك النظام. إنّ القوى الداخلية ودفع القوى الداخلية لا تبذل شغلا. فمثلًا في الشّكل 10.3 مدفع يطلق قذيفة. إنّ القوة على قذيفة المدفع داخل المدفع تساوي القوة التي تعمل على ارتداد المدفع وتعاكسها. وبسبب تأثير هذه القوى خلال الفترة نفسها من الزمن، فإنّ دفعها يكون متساويًا ومتعاكسًا. وبالعودة إلى قانون نيوتن الثالث المتعلق بقوى الفعل ورد الفعل، فإنه يمكن تطبيقه كذلك على دفع القوى (*Impulses*). إنّ دفع القوى هذه تعدّ داخلية بالنسبة إلى نظام مكون من مدفع وقذيفة. وعليه، لا يحدث تغيُّر في زخم نظام المدفع وقذيفته. قبل إطلاق القذيفة، يكون النظام في حالة سكون. لذا، فإنّ زخمه صفر. وبعد إطلاق القذيفة، تبقى محصلة الزخم أو مجموع الزخم صفرًا. إذن، محصلة الزخم لا تكسب ولا تخسر.



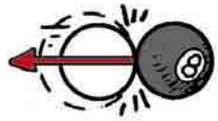
الشّكل 10.3
محصلة الزخم قبل الإطلاق صفر. وبعد الإطلاق تبقى محصلة الزخم صفرًا كذلك؛ لأنّ زخم المدفع يساوي زخم قذيفة المدفع ويعاكسه.

يشبه الزخمُ القوةَ والسرعةَ المتجهة؛ فهو يملك مقدارًا واتجاهًا. إنّه كمية متجهة. وهو كالسرعة والقوة يمكن أن يتلاشى. وهكذا، وعلى الرّغم من أنّ قذيفة المدفع في المثال السابق تكتسب زخمًا عند إطلاقها، في حين يكتسب المدفع المرتد زخمًا في الاتجاه المعاكس، فإنّه لا يوجد أيّ كسب بالنسبة إلى نظام المدفع وقذيفته. إنّ زخمَيْ قذيفة المدفع والمدفع نفسه متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه*. هذه الزخوم يلغي بعضها بعضًا بالنسبة إلى النظام ككل. *إن لم تكن هنالك محصلة قوة أو محصلة دفع قوة تؤثر في نظام ما، فإنّ زخم ذلك النظام لا يتغير.*

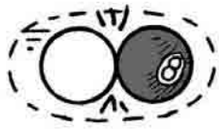
عندما لا يحدث تغير في الزخم، أو في أيّ كمية فيزيائية لنظام ما، نقول إنّ هذه الكمية محفوظة. ترتبط فكرة حفظ الزخم عندما لا تؤثر أيّ قوة خارجية، بقانون مركزي في الميكانيكا يسمى **قانون حفظ الزخم** الذي ينصّ على أنّ: **زخم النظام يبقى ثابتًا دون تغيير عند عدم وجود أيّ قوة خارجية.**

ولأيّ نظام حيث القوى جميعها داخلية، فإنّ محصلة الزخم لهذه الأنظمة قبل الحدث وبعده تكون هي نفسها. ومثال هذا: سيارات تتصادم، أنوية ذرية في حالة خلل إشعاعي، نجوم متفجرة.

نظام الكرة 8
(أ)



نظام الكرة البيضاء
(ب)



نظام الكرة 8 و الكرة البيضاء
(ج)

الشّكل 11.3
كرة بيضاء (الخصم). تصدم الكرة ذات الرقم 8 تصادمًا رأسيًا. افترض أنّ هذا الحدث تمّ في ثلاث حالات: (أ) قوة خارجية أثرت في الكرة 8 وزاد زخمها. (ب) قوة خارجية أثرت في الكرة البيضاء وقلّ زخمها. (ج) عدم وجود قوة خارجية مؤثرة في الكرتين، وأنّ الزخم محفوظ .(ببساطة، انتقل من جزء من هذا النظام إلى جزء آخر).

* هنا، نهمل زخم الغازات المنبعثة من مسحوق البندقية المتفجرة الذي يمكن أخذها في الحسبان. إطلاق البندقية لقذائف فارغة ضمن مسافة قصيرة هو بالتأكيد لا يتحقق وذلك بسبب أهمية الزخم للغازات المنبعثة في هذه الحالة. وقد قتل أكثر من شخص بسبب هذه الطلقات الفارغة عندما كانوا قريبين من موقع الإطلاق. وفي عام 1998م، قام وزير من فلوريدا بعمل مثير أمام عائلته وأبناء الإبراشية بأن أطلق النار على رأسه من طلقة فارغة من مسدس 357 ماجنوم. وعلى الرغم من عدم انطلاق شيء من البندقية إلا أنّ الغاز المنبعث كان كافيًا لقتله. وعليه، وبتعبير صريح وواضح، فإنّ زخم الطلقة (إذا كانت موجودة) + زخم الغاز المنبعث يساوي زخم البندقية المرتدة.

■ **نقطة فحص**

1. ينصّ قانون نيوتن الثاني على أنه إذا انعدمت القوة المحصلة على نظام ما، فإنه لا يحدث تسارع لذلك النظام. هل يكون نتيجة ذلك عدم تغيُّر في الزخم؟
2. ينصّ قانون نيوتن الثالث على أنّ القوة التي يؤثر بها المدفع في قذيفته تكون مساوية ومعاكسة للقوة التي تؤثر بها قذيفة المدفع في المدفع نفسه. هل يشير هذا إلى أنّ دفع القوة المؤثر في القذيفة من المدفع يكون مساويًا ومعاكسًا لدفع القوة الناجم عن قذيفة المدفع على المدفع؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم؛ لأنّ عدم وجود تسارع يعني عدم حدوث تغيّر في السرعة أو في الزخم. (الكتلة × السرعة). طريقة أخرى للتفسير. وهي أنّ عدم وجود قوة يعني عدم وجود محصلة دفع قوة. ومن ثم، عدم تغيّر في الزخم.
2. نعم؛ لأنّ التفاعل بينهما يحدث خلال الفترة الزمنية نفسها. ولأنّ الزمنين متساويان والقوى متساوية ومتضادة فإنّ قوى الدفع، Ft، كذلك تكون متساوية ومتعاكسة. إنّ دفع القوة كمية متجهة ويمكن أن تتلاشى.

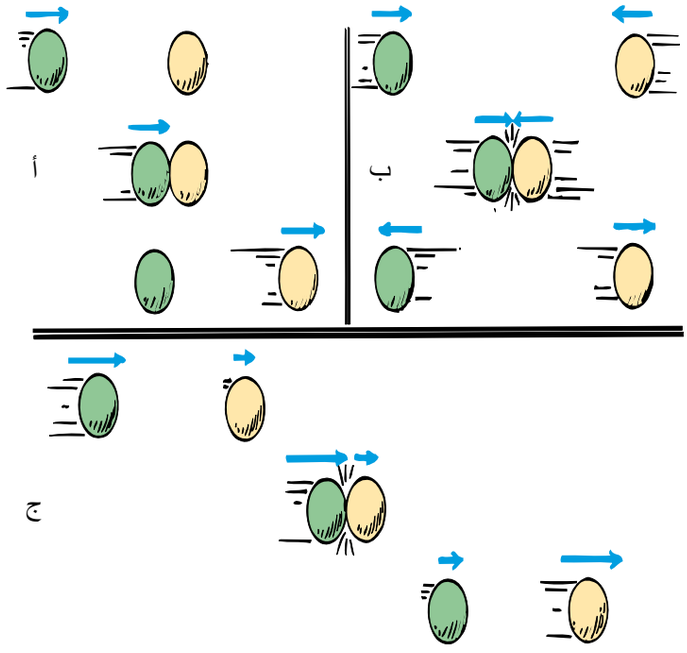
التصادمات

إنّ تصادم الأجسام يوضح تمامًا حفظ الزخم. عندما تصطدم أجسام في حالة عدم وجود قوى خارجية فإنّ محصلة زخم الأجسام المتصادمة قبل التصادم وبعده تكون هي نفسها.

محصلة الزخم قبل التصادم = محصلة الزخم بعد التصادم

ويكون هذا صحيحًا بغض النظر عن الكيفية التي يمكن أن تكون عليها حركة هذه الأجسام قبل اصطدامها.

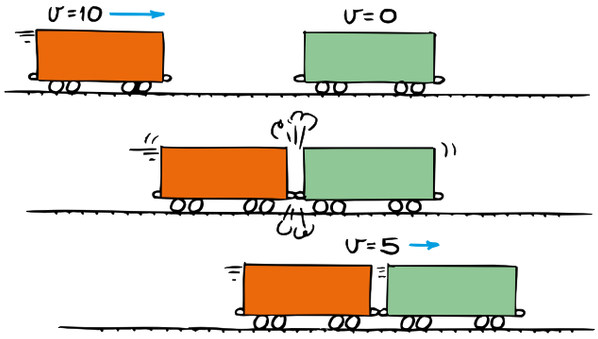
عندما تصطدم كرة بلياردو متحركة تصادمًا رأسيًّا مع كرة أخرى ساكنة فإنّ الكرة المتحركة تسكن، أمّا الأخرى فتتحرك بسرعة الكرة التي اصطدمت بها. وهذا ما يطلق عليه **تصادمًا مرنًا مثاليًا (Elastic Collision)**. إنّ الأجسام المتصادمة ترتد دون تشوه دائم أو إنتاج حرارة (الشّكل 12.3). إلا أنّ الزخم يكون محفوظًا حتى إن التصقت الأجسام المتصادمة معًا خلال التصادم، وهذا ما يسمى **تصادمًا غير مرن (Inelastic Collision)** . ويمكن أن يوصف بإحداث تشوه أو إنتاج حرارة أو كليهما. في التصادم غير المرن الكامل، تلتصق الأجسام معًا. تأمّل، على سبيل المثال، حالة عربة شحن تتحرك على مسار، وتصطدم بعربة شحن أخرى ساكنة موجودة على المسار (الشّكل 13.3). إذا كانت كلّ من العربتين لها الكتلة نفسها بحيث التحمتا معًا نتيجة التصادم، فهل يمكننا التنبؤ بسرعة المجموعة بعد التصادم؟



الشّكل 12.3
التصادم المرن بين كرتين لهما الكتلة نفسها. (أ) كرة خضراء تصطدم بكرة صفراء ساكنة. (ب) تصادم رأسي. (ج) تصادم كرات متحركة في الاتجاه نفسه. ينتقل الزخم في كلّ حالة من كرة إلى أخرى.

قوانين الحفظ

يصف قانون الحفظ بقاء كمية ما في النظام دون تغيير. بغض النظر عمَّا يحدث من تغيُّرات داخل هذا النظام؛ إنّه قانون الثبات خلال التغيّر. وسنرى في هذا الفصل أنّ الزخم لا يتغير خلال التصادمات. ونقول عندئذ إنّ الزخم محفوظ. كما أننا سنتعلم أنّ الطاقة محفوظة عندما تتحول كمية الطاقة- في الضوء على سبيل المثال- بشكل تام إلى طاقة حرارية عندما يتم امتصاص الضوء. وفي الملحق ب، سنرى أنّ الزخم الزاوي كمية محفوظة- أيًّا كانت الحركة الدورانية للنظام الكوكبي. فإن زخمه الزاوي يبقى ثابتًا ما دام النظام معزولا عن المؤثرات الخارجية. وفي الفصل 8، سنتعلم أنّ الشحنة كمية محفوظة. وهذا يعني أنّ الشحنة لا تستحدث ولا تفنى. وعندما ندرس الفيزياء النووية سنرى أنّ هذه القوانين وغيرها من قوانين الحفظ تحكم الكيانات دون المجهرية. إنّ قوانين الحفظ هي مصدر التبصر في عمق انتظام الطبيعة. وغالبًا ما تعدّ هذه القوانين هي الأكثر أساسًا في القوانين الفيزيائية. هل يمكنك أن تفهم أنّ أشياء في حياتك تبقى ثابتة في حين تتغير أشياء أخرى؟



الشّكل 13.3
تصادم غير مرن. إنّ زخم عربة النقل في يسار الشّكل يسهم بإعطاء زخم لعربة (يمين الشّكل) لها الكتلة نفسها بعد التصادم.

بافتراض أنّ سرعة العربة المتحركة 10 م/ث، وبافتراض أنّ كتلة كلّ عربة m. ومن قانون حفظ الزخم، فإنّ

$$(\text{محصلة } mv)_{\text{قبل}} = (\text{محصلة } mv)_{\text{بعد}}$$

$$(10 \text{ م/ث} \times m)_{\text{قبل}} = (2m \times v)_{\text{بعد}}$$

وبعملية حسابية بسيطة نجد أن $v = 5$ م/ث. وهذا له معنى، لأنّ تخرُّك ضعفَي الكتلة بعد التصادم يعمل على تخفيض السرعة إلى نصف ما كانت عليه قبل التصادم. لاحظ أنّ جانبي المعادلة متساويان.

وهكذا نرى أنّ التغير في حركة الجسم يعتمد على القوة والفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة. هذا يشير إلى الكمية: القوة X الزمن. ألا وهي دفع القوة. ولكن يمكن أن يشير أيضًا إلى الكمية: القوة X المسافة. وعندها نتكلم عن شيء مختلف تمامًا ألا وهي فكرة الطاقة.

الشّكل 14.3
شرح ول ماينز لمساره الهوائي. يتدفق الهواء من فتحات صغيرة بحيث تُكوِّن سطحًا عديم الاحتكاك للعربات المتحركة عليه.

يكون الزخم محفوظًا في التصادمات جميعها؛ المرنة وغير المرنة (عند عدم وجود قوى خارجية).

■ **نقطة فحص**

افترض وجود مسار هوائي كما في الشّكل 14.3. بافتراض أنّ عربة كتلتها 0.5 كجم تنزلق على المسار، وتصطدم وتلتحم مع عربة أخرى ساكنة كتلتها 1.5 كجم. إذا كانت سرعة العربة المنزلقة قبل التصادم $v_{قبل}$، فما سرعة انزلاق العربتين معًا بعد التصادم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

استنادا إلى قانون حفظ الزخم، فإنّ زخم العربة ذات 0.5 كجم قبل التصادم = زخم العربتين الملتحمتين معًا بعد التصادم.

$$(0.5 \text{ كجم})\, v_{قبل} = (0.5 \text{ كجم} + 1.5 \text{ كجم})\, v_{بعد}$$

$$v_{بعد} = (0.5 \text{ كجم}\ v_{قبل}) / (0.5 \text{ كجم} + 1.5 \text{ كجم}) = (0.5 \text{ كجم}\ v_{قبل}) / 2 \text{ كجم}$$

$$v_{قبل} = 4 /.$$

وهذا منطقي؛ لأنّ أربعة أضعاف الكتلة تتحرك بعد التصادم. وعليه، فإنّ العربتين معًا تنزلقان ببطء أكبر. الزخم نفسه يعني أنّ أربعة أضعاف الكتلة تنزلق بربع السرعة.

وهكذا نرى أنّ التغير في حركة الجسم يعتمد على القوة والفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة. هذا يشير إلى الكمية: القوة X الزمن، ألا وهي دفع القوة. ولكن يمكن أن يشير أيضًا إلى الكمية: القوة X المسافة، وعندها نتكلم عن شيء مختلف تمامًا ألا وهو فكرة الطاقة.

■ 4.3 الطاقة والشغل

تعدّ الطاقة فكرة مركزية للعلوم جميعها. واتحاد الطاقة والمادة يشكل الكون، المادة شيء والطاقة محرك لهذا الشيء. ومن السهل إدراك فكرة المادة؛ فهي الشيء الذي يمكن مشاهدته، ونشمُّه ونحسُّ به. كما أنّ لها كتلة وتشغل حيزًا. وفي المقابل، فإنّ الطاقة شيء تجريدي (*abstract*)؛ حيث لا يمكننا رؤية ولا شمّ ولا تحسُّس معظم أشكالها. والمدهش هو أنّ فكرة الطاقة لإسحق نيوتن كانت غير معروفة، وكان وجودها لا يزال موضع نقاش حتى عام 1850م. وعلى الرغم من أنّ الطاقة مألوفة لدينا، إلا أنّ هناك صعوبة في تعريفها؛ لأنها ليست مجرد شيء ما، ولكنها كذلك شيء وفعل، وهذا ما يشبه اسم الفعل في اللغة مثلا. إنّ الأشخاص والأماكن والأشياء جميعها تملك طاقة، ولكننا نلاحظها عادةً عندما تنتقل أو تتحول فقط. تظهر الطاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية من الشمس، وهكذا نشعر بها بوصفها طاقة حرارية؛ تمتص من النبات، وكذلك تربط جزيئات المادة بعضها مع بعض، وهي موجودة في الغذاء الذي نأكله، وتصل إلينا من خلال الهضم. حتى أنّ المادة نفسها تتكاثف وتتجمع بوصفها طاقة. كما وصف أينشتاين ذلك بعلاقته الرياضية المشهورة $E = mc^2$ ، والتي سنتعرّفها في الجزء الأخير من هذا الكتاب. وبشكل عام، فإنّ **الطاقة (Energy)** خاصية للنظام تُمكّن من عمل شغل.

عندما تدفع عربة على الأرض فإنك تعمل شغلا. وللتعريف، القوة × المسافة = المفهوم الذي يطلق عليه **الشغل (Work)**.

تشير كلمة الشغل في الاستخدام المألوف للكلمة إلى إفراز فيزيائي أو ذهني. لا تخلط بين تعريف الفيزياء للشغل والمعنى المألوف له في الحياة اليومية.

عندما نرفع جسمًا ما عكس الجاذبية الأرضية، فإنّ هنالك شغلًا قد تمّ إنجازه. وكلما كان الجسم أثقل أو رُفع إلى مسافة أعلى كان الشغل المنجز أكبر. وهناك عاملان مهمان في إنجاز الشغل هما: 1. التأثير بقوة. 2. حركة شيء ما تحت تأثير تلك القوة. وفي أبسط الحالات حيث تكون القوة ثابتة والحركة على خط مستقيم وفي اتجاه القوة نفسها،* نُعرّف الشغل المنجز على جسم ما من قوة مؤثرة على أنّه حاصل ضرب القوة في المسافة التي يتحركها الجسم. وباختصار:

الشغل = القوة X المسافة

$$W = Fd$$

* لتعميم أشمل: الشغل هو حاصل ضرب مركبة القوة في اتجاه الحركة في المسافة المقطوعة. فمثلًا، إذا أثرت قوة في اتجاه يصنع زاوية مع اتجاه الحركة، مركبة القوة الموازية للحركة مضروبة في المسافة المقطوعة. عندما تؤثر القوة بشكل متعامد مع اتجاه الحركة، أي لا توجد مركبة للقوة في اتجاه الحركة، فلا يبذل أيّ شغل. ومثال عام على هذا هو حركة قمر في مسار دائري: قوة الجاذبية في هذه الحالة تكون متعامدة مع المسار الدائري. وعليه، لا يُبذل أيّ شغل على القمر. وهكذا، فإنّ القمر يدور دون أيّ تغيير في قيمة سرعته.

إذا رفعنا جسمين نحو الأعلى لارتفاع طابق فإننا ننجز شغلًا ضعف ذلك الشغل اللازم لرفع جسم واحد للارتفاع نفسه؛ لأنّ *القوة* اللازمة لرفع ضعف الوزن هي ضعف القوة. وبالمثل، إذا رفعنا جسمًا معينًا لارتفاع طابقين بدلًا من طابق واحد فإننا نبذل ضعف الشغل أيضًا؛ لأنّ *المسافة* قد تضاعفت.

يتضمن تعريف الشغل كلًّا من القوة والمسافة. رافع الأثقال الذي يرفع أثقالًا تزن 1000 نيوتن فوق رأسه لا يبذل أيّ شغل على الأثقال. إنّه مُتعب بسبب حمله لهذه الأثقال، ولكن إذا لم تكن هذه الأثقال في حالة حركة تحت تأثير القوة، فعندها ليس هنالك شغل مبذول على *الأثقال* هذه. وقد يكون الشغل مبذولا على العضلات بتمددها وانقباضها، والذي هو عبارة عن القوة مضروبة في المسافة على المقياس البيولوجي، ولكن هذا الشغل لا ينجز على الأثقال. ومن ناحية أخرى، فإنّ رفع الأثقال أمر مختلف. عندما يرفع حامل الأثقال الحاملة من الأرض، نقول إنّه بذل شغلًا عليها.

وحدة قياس الشغل هي تراكب وحدة القوة (N، نيوتن) مع وحدة المسافة (m، متر) وحدة الشغل هي نيوتن -متر (N . m) وتسمى أيضًا جول (J). إنّ الجول الواحد من الشغل ينجز عندما تؤثر قوة نيوتن واحد عند الحركة مسافة متر واحد عندما ترفع تفاحة فوق رأسك. ونستطيع أن نستخدم قيمًا أكبر للشغل، منها كيلو جول (kJ، ألف جول)، أو الميجا جول (MJ، مليون جول). يبذل رافع الأثقال في الشّكل 16.3 شغلا بالكيلو الجول. لإيقاف شاحنة مملوءة بالأثقال وتتحرك بسرعة 100 كم/ساعة؛ يتطلب ذلك شغلًا بالميجاجول.

الشّكل 15.3

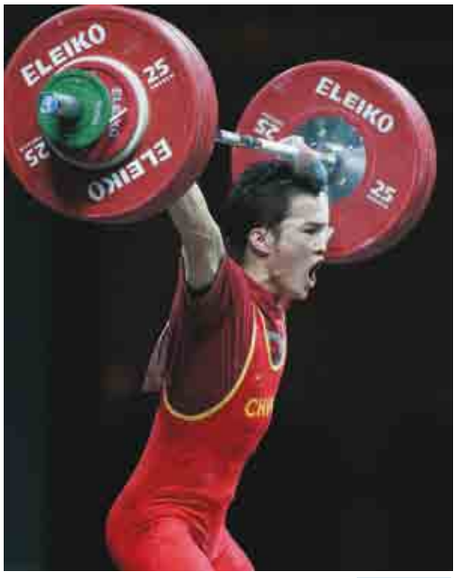
قد يستهلك هذا الشخص طاقة عندما يدفع الحائط، ولكن إذا لم يتحرك الحائط فليس هناك أيّ شغل مبذول عليه. وتصبح الطاقة المستهلكة طاقة حرارية.

■ **نقطة فحص**

بافتراض أنك شخص متوسط القوة، هل يمكنك رفع جسم كتلته 160 كجم بيديك؟ هل يمكنك بذل شغل مقداره 1600 جول على الجسم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ جسما ما كتلته 160 كجم، ويزن 1600 نيوتن أو 352 باوندًا (وزن ثلاجة كبيرة) لا يمكنك رفعه دون الاستعانة بوسيلة ما. إذا لم تكن قادرًا على تحريكه فإنك لا تبذل عليه شغلا. ويمكنك بذل شغل 1600 جول عليه إذا كان يمكنك رفعه مسافة عمودية 1م.



الشّكل 16.3

الشغل المبذول في رفع حاملة الأثقال.

طاقة الوضع (Potential Energy)

إنّ أيّ جسم ما يمكنه تخزين طاقة بتأثير موقعه. وتسمى الطاقة التي تُخزَّن وتقيد **طاقةَ الوضع *(Potential Energy) (PE)*** لأنها في حالة تخزين، ولها المقدرة على إنجاز شغل. فمثلًا، يملك زنبرك مضغوط أو مسحوب المقدرةَ على إنجاز شغل. عندما تتقوّس أداة رمي السهام، فإنّ هنالك طاقة مخزنة في القوس. والقوس يبذل شغلًا على السهم. كما أنّ شريطًا مطاطيًّا مشدودًا يملك طاقة وضع بسبب الموقع النسبي لأجزائه المختلفة. إذا كان الشريط المطاطي جزءًا من مقلاع حجارة مثلًا، فإنّ ذلك يمكّن من بذل شغل.

إنّ الطاقة الكيميائية في الوقود هي أيضًا طاقة وضع. هي فعلًا طاقة وضع في المستوى دون المجهري. وهذه الطاقة متاحة عندما تكون مواقع الشحنات الكهربائية ضمن الجزيئات وبينها قابلة للتغيير، وهذا يعني عندما يحدث تغير كيميائي. إنّ أيّ مادة يمكن أن تبذل شغلًا خلال الفعل الكيميائي تمتلك طاقة وضع. وهذه الطاقة موجودة في الوقود الأحفوري، وفي البطاريات الكهربائية، و كذلك في الغذاء الذي نستهلكه.

يجب أن يكون هناك شغل لرفع جسم عكس الجاذبية الأرضية. وتسمى طاقةُ الوضع الناتجة عن الرفع لمواقع مختلفة طاقةَ *وضع الجاذبية*. إنّ الماء في خزان مرتفع، ومدق الخوازيق المرتفع كلاهما يملك طاقة وضع جاذبية. وعندما يتم إنجاز شغل ما، يكون هنالك تحول في الطاقة.

إنّ كمية طاقة وضع الجاذبية التي يملكها جسم مرفوع تساوي الشغل اللازم إنجازه ضد الجاذبية لرفع ذلك الجسم. والشغل المنجز يساوي القوة اللازمة لتحريك الجسم نحو الأعلى مضروبة في المسافة العمودية التي يتحركها ذلك الجسم (تذكّر أنّ $W = Fd$). إنّ القوة العمودية إلى الأعلى اللازمة لتحريك الجسم بسرعة ثابتة تساوي وزن الجسم، mg وعليه، فإنّ الشغل المنجز لرفع الجسم مسافة عمودية h هو الناتج mgh.

طاقة وضع الجاذبية = الوزن x المسافة العمودية

$$PE = mgh$$

لاحظ أنّ الارتفاع هو المسافة العمودية فوق مستوى مرجعي يتم اختياره، كسطح الأرض أو كسطح بناية. طاقة وضع الجاذبية، mgh هي نسبة لذلك المستوى. وتعتمد على كلّ من mg وh فقط. في الشّكل 18.3، يمكن ملاحظة أنّ طاقة الوضع لكرة مرفوعة لا تعتمد على المسار الذي تم اتباعه في رفعها.

الشّكل 17.3
تساوي طاقةُ الوضع للقوس الشغلَ (متوسط القوة × المسافة) الذي تقوم به عند تصويب السهم نحو الهدف. عندما يطلق السهم فإنّ معظم طاقة الوضع للقوس والسهم تصبح طاقة حركة للسهم.

طاقة الحركة (Kinetic Energy)

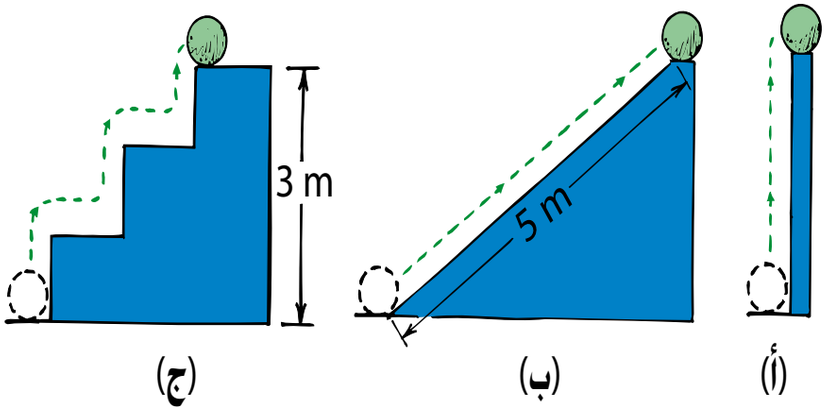
إذا أثّرتَ بقوة دفع في جسم ما فإنك تعمل على تحريكه. وإذا كان جسم ما في حالة حركة فهو يملك المقدرة على إنجاز شغل، أي أنه يملك طاقة في حالة حركته. وعندها نقول إنّه يملك طاقة حركة (KE). تعتمد **طاقة الحركة *(Kinetic Energy)*** لجسم ما على كلّ من كتلته وسرعته. وهذه الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع السرعة ومضروبة في الثابت $\frac{1}{2}$.

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}$ الكتلة × مربع السرعة

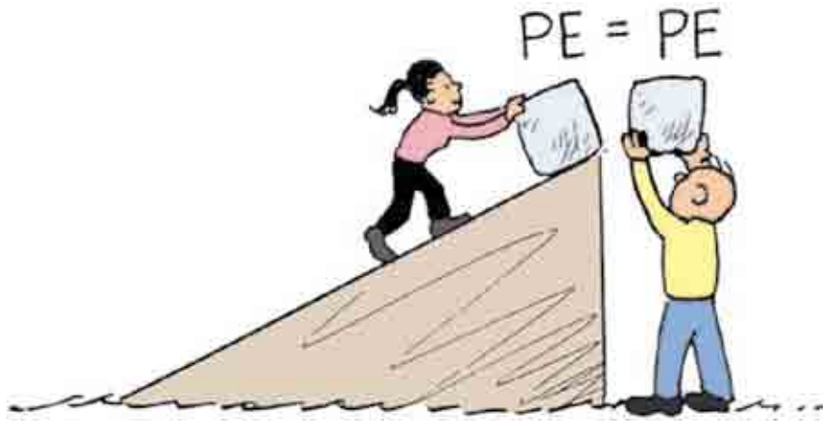
$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

في المتوسط، وزن حبة التفاح 1 نيوتن. عندما تكون على ارتفاع 1 م من سطح الأرض فإنها تملك طاقة وضع تساوي 1 جول.

إنّ طاقة وضع الجاذبية تتعلق دائمًا بجسمين متفاعلين؛ أحدهما بالنسبة إلى الآخر. يتفاعل مكبس المضخة، على سبيل المثال، مع الأرض من خلال قوة الجاذبية.



الشّكل 18.3
طاقة الوضع لكرة وزنها 10 نيوتن هي نفسها (30 جول) في الحالات الثلاث؛ لأنّ الشغل المبذول لرفعها 3 م هو نفسه سواء: (أ) رفعها بقوة 10 نيوتن، (ب) دفعها بقوة 6 نيوتن على سطح مائل طوله 5 م، أو (ج) رفعها بقوة 10 نيوتن على كلّ درجة. لا يوجد شغل مبذول في تحريكها أفقيًّا (الاحتكاك مهمل).



الشّكل 19.3
الفتى يرفع مكعبًا من الثلج بشكل عمودي. والفتاة تدفع مكعبًا مشابهًا إلى أعلى سطح مائل. هل هما يبذلان الشغل نفسه؟ وهل كلا المكعبين عندما يرتفعان إلى العلوّ نفسه يكتسبان طاقة الوضع نفسها؟

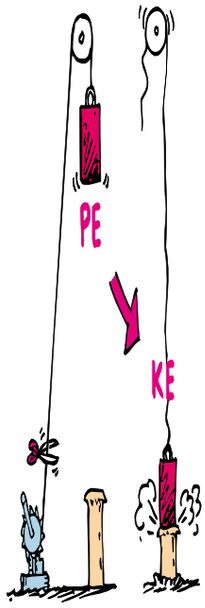
عندما تقذف كرة فإنك تبذل شغلًا عليها لإكسابها سرعة عند مغادرتها يدك. وقد تصدم الكرة المتحركة شيئًا ما وتدفعه. أي أنّها تبذل شغلًا عليه. إنّ طاقة الحركة للجسم المتحرك تساوي الشغل اللازم لتغيير حالته من السكون إلى تلك السرعة. أو الذي يمكن أن يبذله الجسم في حين تعمل على إيقافه.

محصلة القوة X المسافة = طاقة الحركة

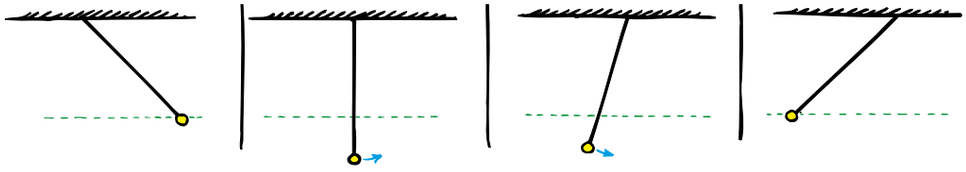
وبالرمز:

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

لاحظ أنّ المعادلة تحوي مربع السرعة. إذن تتضاعف طاقة حركة الجسم أربع مرات ($2^2 = 4$) عند مضاعفة سرعته. وهكذا. إذا أردنا مضاعفة السرعة فإننا نحتاج إلى أربعة أضعاف الشغل. وعندما يُبذل شغل ما. فسيكون هناك تغيّر في الطاقة.



الشّكل 20.3
تتحول طاقة الوضع لمكبس المضخة المرفوع إلى طاقة حركة عند سقوطه.



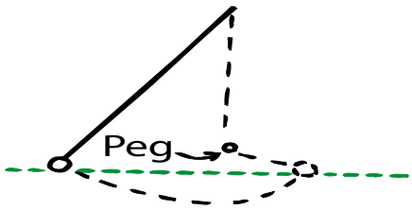
الشّكل 21.3
انتقال الطاقة في البندول. طاقة الوضع (PE) بالنسبة إلى أدنى نقطة في البندول عندما يكون عموديًا.

5.3 نظرية الشغل والطاقة

عندما تزداد سرعة سيارة فإنّ طاقة الحركة المكتسبة تأتي من الشغل المبذول عليها. أو عندما تتباطأ سيارة متحركة. فإنّ هنالك شغلًا يبذل لتقليل طاقة حركتها. ومن هنا نستطيع القول

الشغل = ΔKE

الشغل يساوي *التغير* في طاقة الحركة. وهذه هي **نظرية الشغل والطاقة (Work - Energy Theorem).**



الشّكل 22.3
كرة البندول تتأرجح إلى ارتفاعها الأصلي سواء أكان الوتد (Peg) موجودًا أم غير موجود.

إنّ نظرية الشغل والطاقة تؤكد على وظيفة التغيير. إذا لم يكن هناك تغيُّر في طاقة جسم ما فإننا سنعرف أنه لا توجد محصلة شغل مبذول عليه. ويمكن تطبيق هذه النظرية أيضًا على التغير في طاقة الوضع. وبالعودة إلى المثال السابق المتعلق برافع الأثقال، عندما يُبذل شغل على الأثقال فإنّ طاقة وضعها تتغير. ولكن بمجرد رفعها فإنه لا يُبذل أيّ شغل إضافي عليها. وهذا يبيّن عدم التغير في طاقتها.

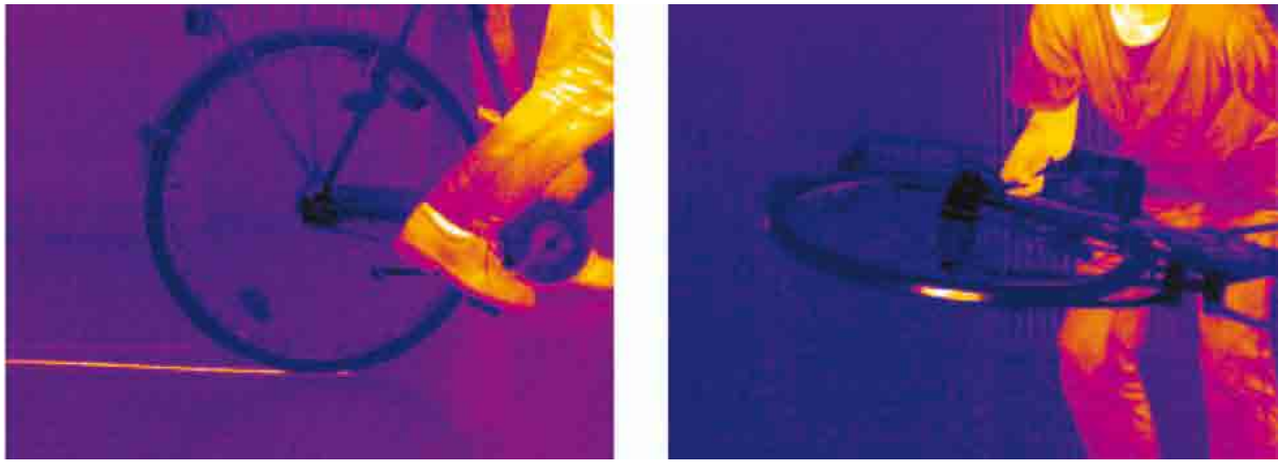
وبالمثل، إذا دفعت صندوقًا موضوعًا على الأرض ولم ينزلق، فأنت لم تبذل أيّ شغل عليه. لايوجد أيّ تغيير في طاقة حركته. ولكن إذا دفعت الصندوق بقوة أكبر بحيث تحرّك فعندها تكون قد بذلت شغلا. وعندما يكون الشغل المبذول للتغلب على الاحتكاك قليلًا فإنّ مقدار الشغل المبذول على الصندوق عمليًا يكافئ طاقة الحركة المكتسبة.

تطبّق نظرية الشغل والطاقة كذلك في حالة تقليل السرعة. إنّ الطاقة لازمة لتقليل سرعة جسم متحرك بحيث يصل إلى حالة السكون. عندما ندوس على كوابح سيارة متحركة لإيقافها فإننا نبذل شغلًا عليها. وهذا الشغل هو قوة الاحتكاك المزوَّدة من الكوابح مضروبة في المسافة التي تؤثر خلالها قوة الاحتكاك. وكلما كانت طاقة الحركة التي يملكها جسم ما أكبر كان الشغل اللازم لإيقافه أكبر أيضًا.

من المهم معرفة أنّ الاحتكاك المزود من الكوابح هو نفسه، بغض النظر عمّا إذا كانت السيارة بطيئة أو سريعة في حركتها. إنّ الاحتكاك بين السطوح الصلبة لا يعتمد على السرعة، بل إنّ المتغير الذي يؤدي إلى اختلاف هو مسافة الكبح. تحتاج السيارة المتحركة بضعف سرعة سيارة أخرى إلى أربعة أضعاف (2^2 =4) الشغل لكي تتوقف. وهكذا فإنها تسير أربعة أضعاف المسافة قبل أن تتوقف. إنّ محققي الحوادث يدركون تمامًا أنّ السيارة التي تسير بسرعة 100 كم/ ساعة تملك أربعة أضعاف طاقة الحركة لسيّارة تتحرك بسرعة 50 كم/ ساعة. وهكذا فإنّ السيارة المتحركة بسرعة 100 كم/ساعة، عند الدوْس على الكوابح، تنزلق أربعة أضعاف المسافة التي تنزلقها لو تحركت بسرعة 50 كم/ساعة. إنّ طاقة الحركة تعتمد على مربع السرعة.

الشّكل 23.3

تنتج سرعة إقلاع كبيرة بسبب "السقوط" لعربة الدولاب أسفل المنحدر، وترفعها هذه الطاقة الحركية إلى أعلى المسار الحاد إلى القمة التالية.



الشّكل 24.3

بسبب الاحتكاك، تنتقل الطاقة إلى كلّ من العجلة والأرض عند العمل على إيقاف العجلة. تكشف آلة تصوير تحت الحمراء مسار العجلة الساخن (الخط الأحمر على الأرض، يسار) وسخونة العجلة (اليمين) (موافقة ميخائيل فولمر).

* ويمكن اشتقاق ذلك كالتالي: إذا ضربنا طرفي المعادلة $F = ma$ (قانون نيوتن الثاني) بالقيمة d ، سنحصل على $Fd = mad$. تذكر من الفصل الثاني أن ما يتعلق بالتسارع الثابت $d = \frac{1}{2}at^2$. وبذلك نستطيع القول أن $Fd = ma(\frac{1}{2}at^2) = \frac{1}{2}maat^2 = \frac{1}{2}m(at)^2$ ؛ وبتعويض $v = at$ نحصل على $Fd = \frac{1}{2}mv^2$. وهذه هي معادلة الشغل $W = KE$ وبصورة أدق $W = \Delta \mathrm{KE}$.

تُحوِّل كوابحُ السيارة طاقةَ الحركة إلى حرارة. السائقون المتمرّسون يتعاملون بطريقة أخرى لإبطاء حركة السيارة، وهي اللجوء إلى ناقل حركة أبطأ يقوم بدور الكوابح في السيارة. تعمل السيارات الهجينة (هايبرد) في الوقت الحاضر الشيءَ نفسه، وذلك بتحويل طاقة الكوابح إلى بطاريات حفظ الكهرباء؛ حيث تُستخدم متمّمًا للطاقة الناتجة عن احتراق البنزين (الفصل 9 يفصّل كيفية ذلك).

إنّ طاقتي الحركة والوضع شكلان من أشكال متعددة للطاقة، وتشكلان أساسًا للأشكال الأخرى من الطاقة، كالطاقة الكيميائية، والطاقة النووية، والصوت، والضوء. تتعلق طاقةُ الحركة في الحركة الجزيئية العشوائية بدرجة الحرارة، في حين تتعلق طاقات الوضع للشحنات الكهربائية بفرق الجهد. أمّا طاقتا الحركة والوضع للهواء المتذبذب فتعرِّفان شدة الصوت. حتى أنَّ طاقة الضوء تنتج أصلًا عن حركة الإلكترونات في الذرات. إنّ كلّ شكل من أشكال الطاقة يمكن أن يتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة.

■ نقطة فحص

1. عندما تقود عربة بسرعة 90 كم/ساعة، فكم تزيد المسافة التي تحتاج إليها لتتوقف عمّا لو كنت تقود السيارة بسرعة 30 كم/ساعة؟
2. للقوة نفسها، لماذا يعطي المدفع الأطول سرعة أكبر للقذيفة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تسعة أضعاف طول المسافة. تملك العربة تسعة أضعاف طاقة الحركة عندما تسير بثلاثة أضعاف السرعة:

$\frac{1}{2}m(3v)^2 = \frac{1}{2}m9v^2 = 9\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$. قوة الاحتكاك تكون عادة هي نفسها في كلتا الحالتين. ولهذا، فإنّ تسعة أضعاف الشغل تحتاج إلى تسعة أضعاف المسافة.

2. كما تعلمنا سابقًا، فإنّ أسطوانة المدفع الأطول تزود دفع قوة أكبر بسبب الزمن الأطول الذي تؤثر خلاله القوة. وبالمثل فإنّ نظرية الشغل والطاقة توضح أنه كلما زادت المسافة التي تؤثر خلالها القوة زاد التغير في طاقة الحركة. ولهذا فإننا نرى سببين للمدفع الأطول لإنتاج سرعة أكبر لقذيفته.

مقارنة بين طاقة الحركة والزخم

إنّ كلًّا من الزخم وطاقة الحركة خصائص للأشياء المتحركة، ولكنهما مختلفان. وكالسرعة، فإنّ الزخمَ كميةٌ متجهة، وهكذا فهي اتجاهية. وعليه فإنّها قد تتلاشى. أما طاقة الحركة فهي كمية غير متجهة (قياسية) كالكتلة. ولهذا فهي غير قابلة للتلاشي. إنّ زخمي مفرقعتين ناريتين يمكن أن يتلاشيا عندما تقترب إحداهما من الأخرى، ولكن عند انفجارهما لا يمكن أن تتلاشيا طاقتاهما. إنّ الطاقات تتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة، ولكن الزخم ليس كذلك. وهناك فرق آخر هو أنّ كليهما يعتمد على السرعة؛ حيث يعتمد الزخم على السرعة (mv)، في حين تعتمد طاقة الحركة على مربع السرعة ($\frac{1}{2}mv^2$).

يتحرك جسم ما بسرعة تساوي ضعف سرعة جسم آخر له الكتلة نفسها. وعليه، فإنه يمتلك ضعف الزخم، ولكنه يمتلك أربعة أضعاف طاقة الحركة. فإذا تحركت سيارة بضعف السرعة وتحطمت، فإنها تتحطم بأربعة أضعاف الطاقة.

إذا كان التمييز بين الزخم وطاقة الحركة ليس واضحًا لك، فإنك في مجموعة جيدة؛ لأنّ الفشل في التمييز بينهما ناتج عن عدم الاتفاق، وعن الخلاف بين أفضل الفيزيائيين البريطانيين والفرنسيين لقرنين من الزمان.

الشّكل 25.3

يضع المؤلف طاقة حركية وزخمًا في المطرقة التي تضرب لبنة موضوعة على جسم الفيزيائي بول روبنسون Paul Robinson الذي يستلقي بشجاعة بين سطحين من المسامير. ومع ذلك لم يلحق أذى ببول. لماذا؟ ما عدا الشظايا الأسمنتية المتطايرة، ينتقل كلّ جزء من زخم المطرقة إلى بول، ثمّ إلى الطاولة، ثمّ إلى الأرض التي تسنده. يزود الزخم بالصدمة القوة فقط، ولكن الأذى يأتي من الطاقة. إنّ معظم الطاقة الحركية لا تنتقل إليه؛ لأنها تذهب في تحطيم اللبنة إلى أجزاء وإلى طاقة حرارية. في حين تتوزع الطاقة المتبقية على أكثر من 200 مسمار ملامسة جسمه؛ لا تكفي القوة المحركة لكلّ مسمار لثقب جلده.

6.3 حفظ الطاقة

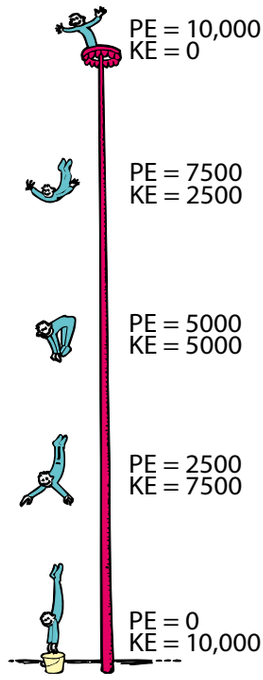
عند انتقال الطاقة أو تحولها، لا يوجد هنالك أيّ خسارة أو كسب في هذه الطاقة. وعند عدم وجود أيّ شغل داخلي أو خارجي، أو أيّ تبادل للطاقة، فإنّ مجموع طاقة النظام قبل عملية ما أو حدث ما يساوي مجموع الطاقة بعد تلك العملية أو ذاك الحدث.

بتأمل تغيرات الطاقة في عملية مدقّ الخوازيق (Pile driver) بالعودة إلى الشّكل 20.3. فإنّ الشغل المبذول لرفع المدقّ يعطيه طاقة وضع. وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حركة عندما يترك المدقّ. وتنتقل هذه الطاقة إلى الوتد في الأسفل. إنّ المسافة التي يخترقها الوتد في الأرض مضروبة في متوسط القوة المؤثرة تساوي طاقة الوضع الابتدائية للمدقّ تقريبًا. ونقول تقريبًا؛ لأنّ بعض الطاقة يذهب على شكل حرارة في الأرض. وفي المدق خلال اختراقه الأرض. وإذا أخذنا الطاقة الحرارية في الحسبان، فسنرى أنّها تتحول دون فقدان أو كسب. وهذا جدير بالملاحظة حقًّا!

إنّ دراسة الأشكال المختلفة للطاقة وتحولاتها قادت إلى أحد أهم قوانين الفيزياء:إنّه **قانون حفظ الطاقة (Law of conservation of Energy): الطاقة لا تستحدث ولا تفنى، ولكن قد تتحول من شكل إلى آخر، إلا أنّ مجموع الطاقة لا يتغير أبدًا.**

عندما نأخذ نظامًا تامًّا، سواء كان هذا النظام بسيطًا كما في حالة البندول المهتز، أو معقدًا كما في حالة انفجار نجم عظيم، فإنّ هنالك كمية لا تفنى ولا تستحدث؛ إنّها الطاقة. قد يتغير شكل الطاقة، أو تنتقل من موضع إلى آخر، إلا أنّ المؤكد هو بقاء مجموع الطاقة نفسه. إنّ قيمة هذه الطاقة تأخذ في الحسبان حقيقة أنّ الذرات المكونة للمادة هي نفسها التي تشكل الطاقة. عندما تعيد الأنوية (مراكز الذرات) ترتيب نفسها فإنّ كمية هائلة من الطاقة يمكن أن تتحرر. إنّ الشمس تشع لأنّ بعض الطاقة النووية تتحول إلى طاقة إشعاعية.

إنّ الانضغاط الهائل نتيجة الجاذبية ودرجات الحرارة المرتفعة جدًّا في عمق الشّمس يعمل على دمج أنوية ذرات الهيدروجين لتشكيل أنوية هيليوم. وهذا هو *الاندماج النووي الحراري*. تطلق هذه العملية طاقة إشعاعية يصل جزء قليل منها إلى الأرض. وهذا الجزء من الطاقة يسقط على النباتات (وبعض الكائنات الحية التي تقوم بالتمثيل الضوئي). وبعض هذه الطاقة أيضًا يخزّن لاحقًا في الفحم. وهناك جزء آخر من الطاقة يدعم الحياة في سلسلة الغذاء التي تبدأ بالنباتات (وغيرها من نواتج التمثيل الضوئي). كما أنّ بعض هذه الطاقة أيضًا يخزن في النفط. إلى جانب جزء آخر من الطاقة التي تصل الأرض يعمل على تبخير الماء من المحيطات، حيث يعود بعض هذا البخار إلى الأرض على شكل مطر يمكن تخزينه في السدود. وبسبب ارتفاع الماء خلف هذه السدود، فإنه يملك طاقة يمكن استغلالها لتشغيل المنشآت الصناعية حيث تتحول تلك الطاقة إلى طاقة كهربائية. تصل الطاقة إلى المنازل عبر أسلاك، وتستخدم هذه الطاقة في الإضاءة، والتسخين، والطبخ، وتشغيل الأدوات الكهربائية. ما أروع تحول الطاقة من شكل إلى آخر!



الشّكل 26.3

إنّ طاقة وضع لاعب السيرك عند أعلى العمود هي 10,000 جول. وعند سقوطه تتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركة. لاحظ أنّ مجموع الطاقة ثابت عند المواضع المتتالية: ربع، نصف، ثلاثة أرباع، وعند أيّ ارتفاع يكون هذا اللاعب؟

حساب العلوم الطبيعية

■ **حلّ مسائل**

عينة مسألة

يقف البهلوان آرت وكتلته m على النهاية اليسرى لأرجوحة. يقفز البهلوان بارت وكتلته M من ارتفاع h على الجهة اليمنى من الأرجوحة، هكذا يرتفع آرت في الهواء.

أ. بإهمال عدم الكفاءة، ما طاقة وضع (PE) آرت عند أعلى نقطة يصلها مقارنة بطاقة وضع (PE) بارت قبل أن يقفز؟

ب. بين أنّ آرت في الحالة المثالية يصل إلى ارتفاع $\frac{M}{m}h$.

ج. إذا كانت كتلة آرت 40 كجم، وكتلة بارت 70 كجم، والارتفاع الذي قفز منه بارت 4 م، فبين أنّ الارتفاع الذي يصله آرت هو 7 م.

الحلّ:

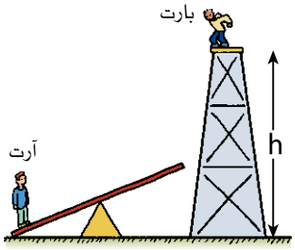
أ. بإهمال عدم الكفاءة، فإنّ طاقة وضع (PE) بارت قبل أن يقفز تذهب إلى طاقة وضع للبهلوان آرت عند أعلى نقطة يصلها. وهذا يكون عند اللحظة التي تساوي عندها طاقة حركة (KE) آرت صفرًا.

ب. من (PE) لآرت = (PE) لبارت ⇐

(Mgh) لبارت =(mgh) لآرت ⇐ الارتفاع h

$\frac{M}{m}h$ = h لآرت

ج. h لآرت = $\frac{M}{m}h$ = 4م × (70 كجم / 40 كجم) = 7م.



■ 7.3 القدرة

إنّ تعريف الشغل لم يتطرق إلى أيّ شيء حول الزمن المستغرق لإنجاز الشغل. يُبذل مقدار الشغل نفسه عند رفع سلّة مشتريات إلى طابق علوي، سواء أكان ذلك مشيًا أم ركضًا. إذن، لماذا نلهث أكثر في حالة الصعود إلى الأعلى في بضع ثوانٍ مقارنة بحالة الصعود خلال بضع دقائق؟ لفهم هذا الاختلاف؛ فإننا نحتاج إلى الحديث عن قياس سرعة إنجاز الشغل – القدرة. **القدرة (Power)** تساوي مقدار الشغل المنجز في وحدة الزمن:

القدرة = الشغل المنجز/ الزمن المستغرق

إنّ الشغل اللازم لصعود درج يحتاج إلى قدرة أكبر من قبل الشخص عندما يصعد بسُرعة من تلك التي يحتاج إليها عندما يصعد الدرج ببطء. إذا كانت قدرةُ عربة كبيرةً فإنها تنجز شغلًا أسرع. وإذا كانت قدرة محرك سيارة ضعف قدرة محرك سيارة أخرى فليس بالضرورة أن يحرك السيارة بسرعة مضاعفة أو مسافة مضاعفة. إنّ ضعف القدرة يعني أنّ المحرك يمكن أن يبذل ضعف الشغل في الفترة الزمنية نفسها، أو يمكنه بذل الشغل نفسه في نصف الفترة الزمنية. وأنّ محركًا قويًّا يمكن أن ينتج تسارعًا أكبر.

إنّ القدرة كذلك هي معدل تغير الطاقة من شكل إلى آخر. ووحدة القدرة هي جول لكلّ ثانية، والتي تسمى *واط*: تقديرا لجيمس واط (James Watt)، مخترع الآلة البخارية في القرن الثامن عشر. يستخدم واط واحد (W) من القدرة عندما يتم إنجاز جول واحد من الشغل في ثانية واحدة. كيلو واط (kW) يساوي 1000 واط. ميجا واط (MW) يساوي مليون واط.

لمعلوماتك

■ يستخدم القلب أكثر من 1 واط قليلًا من القدرة في ضخ الدم خلال الجسم.

الشّكل 27.3

إنّ الطاقات الرئيسة الثلاث لمكوك الفضاء يمكن أن تُظهر ما مقداره 33,000 ميجاواط من القدرة عند احتراق الوقود بنسبة عالية جدًّا، 3400 كجم/ثانية. وهذا يشبه تفريغ بركة سباحة متوسطة الحجم في 20 ثانية.

8.3 الآلات

الآلة (Machine) أداة مضاعفة القوى، أو – ببساطة - أداة تغيير اتجاه القوى. إنّ القاعدة المفهومة ضمنًا لكلّ آلة هي حفظ الطاقة. ولنأخذ **الرافعة (Lever)** بوصفها واحدة من أبسط هذه الآلات (الشّكل 28.3). في الوقت نفسه الذي يبذل فيه شغل على أحد طرفي الرافعة، فإنّ الطرف الآخر من الرافعة يبذل شغلًا على الحِمْل (*load*). ونرى أنّ اتجاه القوة يتغير: فإذا دفعنا نحو الأسفل فإنّ الحِمْل يرتفع إلى الأعلى. وبافتراض أنّ شغل قوة الاحتكاك قليل لدرجة يمكن إهماله فإنّ الشغل المُدْخل يساوي الشغل الناتج.

الشغل المُدْخل (input) = الشغل الناتج (output)

ولأنّ الشغل يساوي القوة مضروبة في المسافة، فإنّ **حفظ الطاقة للآلات (conservation of Energy for machines)** يؤكد أنّ القوة المُدخلة X المسافة= القوة الناتجة X المسافة

(القوة X المسافة)$_{\text{المدخل}}$ = (القوةX المسافة)$_{\text{الناتج}}$

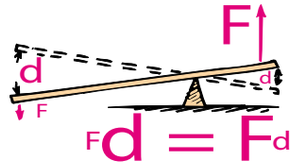
تسمى نقطةُ الدعم التي تدور عليها الرافعة نقطةَ ارتكاز. عندما تكون نقطة ارتكاز الرافعة قريبة نسبيًّا من الحمل، فإنّ قوة قليلة مدخلة تولد قوة كبيرة. وهذا بسبب أنّ القوة المدخلة تؤثر إلى مسافة طويلة من نقطة الارتكاز، في حين أنّ الحمل يتحرك مسافة قصيرة. وعليه فإنّ الرافعة يمكن أن تعمل على مضاعفة القوة. ولكن لا توجد آلة تضاعف أيًّا من الشغل أو الطاقة. هذا هو حفظ الطاقة بالتأكيد!

حاليًا، يمكن أن يستعمل فتى صغير مبدأ الرافعة لرفع مقدمة سيارة؛ إنّ التأثير بقوة صغيرة خلال مسافة طويلة يؤدّي إلى قوة كبيرة تؤثر في مسافة قصيرة. ولنأخذ مثالًا مناسبًا موضحًا في الشّكل 29.3. في كلّ مرة تضغط نحو الأسفل مسافة 25 سم فإنّ السيارة ترتفع فقط جزءًا في المئة ولكن بمئات الأضعاف من القوة.

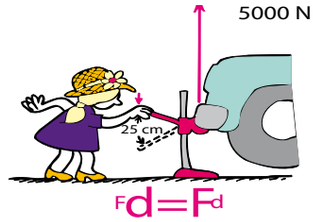
وهناك آلة بسيطة أخرى، البكرة. هل يمكنك تصورها رافعة بدرجة أقلّ؟ عندما تستخدم كما في الشّكل 30.3 فهي تُغيّر اتجاه القوة فقط. ولكن، عندما تستخدم كما في الشكل 31.3 فإنّ القوة الناتجة تكون مُضاعفة. إنّ القوة تزداد، بينما تقلّ المسافة. وهكذا لأيّ آلة، فإنّ القوى يمكن أن تتغير، أما الشغل المعطى والناتج فلا يتغيران.

لمعلوماتك

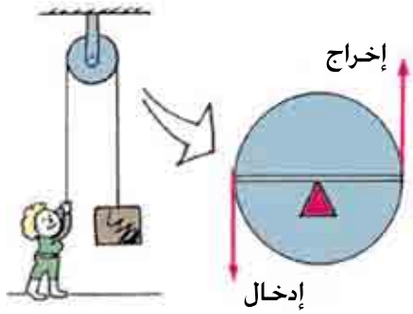
■ إن بناء آلة دائمة الحركة (آلة تنجز شغلًا دون طاقة داخلة) لا يمكن الحصول عليها أبدًا. إلا أنّ الحركة الدائمة نفسها موجودة؛ فالذرات وإلكتروناتها، والنجوم ومجراتها- على سبيل المثال- في حالة حركة دائمة. إنّ الحركةَ الدائمة نظامٌ طبيعيٌّ للأشياء.



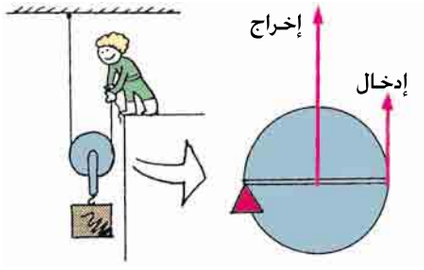
الشّكل 28.3
الرافعة



الشّكل 29.3
قوة التأثير X مسافة التأثير = القوة الناتجة X المسافة الناتجة.



الشّكل 30.3
تعمل هذه البكرة بوصفها رافعةً ذات ذراعين متساويين. إنها تغيّر اتجاه القوة المعطاة فقط.



الشّكل 31.3
في هذه الحالة، يمكن رفع ثقل بنصف القوة الداخلة. لاحظ أنّ نقطة الارتكاز في النهاية اليسرى، وليست في المركز (كما في حالة الشّكل 30.3).

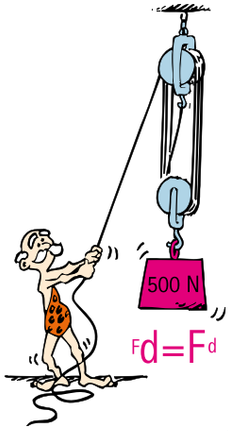
لمعلوماتك

■ لقد توصل العالم اليوناني المعروف أرخميدس إلى مبدأ الرافعة في القرن الثالث الميلادي حيث قال: ''أعطني مكانًا أقف عليه وسوف أحرك الأرض''.

إنّ القالب الخشبي، ومجموعة الحبال، والبكرات، هي نظام من البكرات التي تُضاعف القوة أكثر مما تفعله بكرة مفردة. وبملاحظة نظام بكرات مثالي كما في الشّكل 32.3 حيث يسحب شخص حبلًا طوله 7م بقوة 50 نيوتن، لرفع حمل وزنه 500 نيوتن مسافة 0.7 م عموديًا إلى الأعلى. نجد أن الشخص يستهلك طاقة في سحب الحبل تساوي عدديًّا الزيادة في طاقة وضع القالب الخشبي ذي الوزن 500 نيوتن. لقد انتقلت الطاقة من الشخص إلى الحمل.

إنّ أيّ آلة تعمل على مضاعفة القوة يكون على حساب المسافة. وبالمثل فإنّ أيّ آلة تضاعف المسافة -كما في حالة ساعد الذراع أو المرفق (الوصلة)- يكون ذلك على حساب القوة. وليست هنالك آلة أو أداة يمكن أن تعطي طاقة أكثر مما تأخذ. كما أنّه لا توجد آلة يمكنها استحداث الطاقة. ولكن يمكنها نقل الطاقة أو تحويلها من شكل إلى آخر فقط.

تستطيع الآلة مضاعفة القوة، ولكن ليس مضاعفة الطاقة أبدًا .



الشّكل 32.3
قوة التأثير X مسافة التأثير = القوة الناتجة X المسافة الناتجة

9.3 الفاعلية

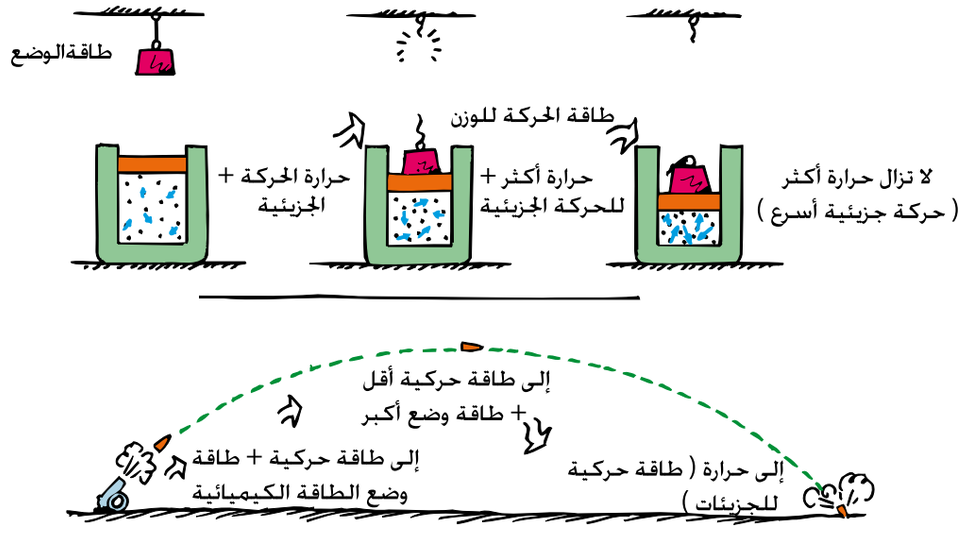
إنّ الأمثلة الثلاثة السابقة هي *لآلات* مثالية 100% لأنّ الشغل المدخل يظهر بوصفه شغلًا منتجًا. تعمل الآلة المثالية بفاعلية تصل إلى 100%. ولكن لا يمكن حدوث ذلك من الناحية العملية. ويمكننا عدم توقع حدوث ذلك أبدًا. وفي أيّ تحوّل للطاقة، فإنّ بعضها يُبدّد بوصفه طاقة حركية جزيئية وطاقة حرارية. وهذا يعمل على تسخين الآلة وما يحيط بها.

يمكن التعبير عن **الفاعلية (Efficiency)** بالنسبة الآتية:

الفاعلية= الطاقة الناتجة المستخدمة / مجموع الطاقة المدخلة

حتى أنّ الرافعة تحوّل جزءًا صغيرًا من الطاقة المدخلة إلى حرارة عندما تدور هذه الرافعة حول نقطة ارتكازها. يمكن أن نبذل شغل 100 جول، ولكننا لن نحصل إلا على 98 جول فقط. وفي هذه الحالة، فإنّ الرافعة تكون فاعلة بنسبة 98% حيث نفقد 2 جول من الشغل المدخل على شكل حرارة. وهناك نسبة أكبر من الطاقة المدخلة تفقد على شكل حرارة في نظام البكرات. عندما نبذل 100 جول من الشغل فإنّ قوى الاحتكاك تؤثر خلال المسافات التي تدورها البكرات حول محاورها. ويمكن أن تستهلك 60 جول من الطاقة على شكل حرارة. وعليه فإنّ الشغل الناتج يكون 40 جول فقط. وفاعلية نظام البكرات في هذه الحالة تكون 40%. وكلما كانت فاعلية الآلة أقلّ كانت الطاقة المبددة في صورة حرارة أكبر*.

الطاقة طريقة طبيعية لتحقيق الأهداف.



الشّكل 33.3
انتقالات الطاقة. الطاقة الحرارية هي مقبرة الطاقة الميكانيكية.

لمعلوماتك

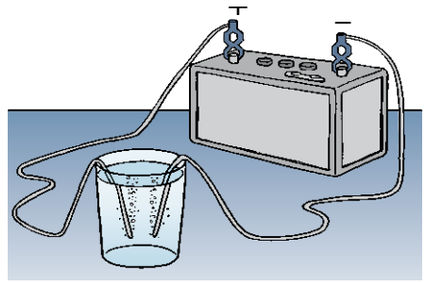
■ عند مقارنة الفاعلية بين وسائل التنقل، نلاحظ أنّ الشخص الذي يستعمل الدراجة الهوائية أكثر فاعلية كثيرًا من السفر بالقطار أو بالسيارة، بل أكثر من السمكة أو الحيوانات. ويعدّ هذا تشجيعًا لاستعمال الدراجة الهوائية ومستخدميها!

* عندما تدرس الديناميكا الحرارية في الفصل السادس، فسوف تتعلم أنّ آلة الاحتراق الداخلي يجب أن تحوّل جزءًا من طاقة وقودها إلى طاقة حرارية. ومن جهة أخرى، فإنّ خلية (بطارية) الوقود لا تتأثر بهذا التقييد. لاحظ أنّ خلية الوقود ستكون مشغل السيارات في المستقبل.

هناك تعريف بديل للطاقة هو أنّ أيّ شيء يمكن أن يتحول إلى حرارة.

لمعلوماتك

- القدرة المتوافرة من ضوء الشّمس هي نحو 1 كيلو واط/م^2. إذا تمّ حصاد طاقة الشّمس الساقطة على متر مربع، فإنّ هذه الطاقة تولد 1000 واط.. وهناك بعض الخلايا الشمسية التي يمكنها تحويل 40% أو 400 واط/م^2. الطاقة الشمسية من خلال الأغشية الشمسية ضئيلة التكلفة المستعملة في مواد البناء، بما في ذلك المواد المستخدمة في السقوف والزجاج، تغيّر طريقتنا في إنتاج الطاقة وتوزيعها.



الشكل 34.3

عند تمرير تيار خلال ماء موصل فإنّ فقاقيع من الهيدروجين تتشكّل على أحد الأسلاك، في حين تتشكّل فقاقيع الأكسجين على السلك الآخر. وهذا هو *التحليل الكهربائي*. أما خلية الوقود فتعمل عكس ذلك؛ يدخل كلٌّ من الهيدروجين والأكسجين خلية الوقود فيتفاعلان وينتجان كهرباء وماء.

نقطة فحص

تخيّل سيارة عجيبة تملك آلة احتراق داخلي ذات فاعلية 100%، وتحرق وقودًا بحيث تنتج 40 ميجاجول للتر الواحد (ميجاجول/لتر). إذا كانت مقاومة الهواء وقوى الاحتكاك على السيارة المتحركة على طريق عام سريع هي 500 نيوتن، فأثبت أنّ المسافة التي تقطعها السيارة لكلّ لتر بهذه السرعة هي 80 كم/لتر.

هل كانت هذه إجابتك؟

من التعريف، فإنّ الشغل = القوة × المسافة، وبإعادة ترتيب بسيطة
فإنّ المسافة = الشغل / القوة. إذا تم استخدام الأربعين مليون جول جميعها من الطاقة لبذل شغل من أجل التغلب على المقاومة وقوى الاحتكاك، فإنّ المسافة تكون
المسافة = الشغل / القوة = (40,000,000 جول/لتر) / 500 نيوتن = 80,000 متر/لتر= 80 كم/لتر
(أي 190 ميل/جالون [*mpg*]) تقريبًا. الأمر المهم هنا هو أنه بافتراض وجود آلة مثالية فإنّ هناك حدًّا أقصى من الاقتصاد في الوقود يمليه قانون حفظ الطاقة.

10.3 مصادر الطاقة

ما عدا الطاقة النووية، فإنّ المصدر الرئيس لطاقتنا كلّها هو الشمس. حتى أنّ الطاقة التي نستخلصها من البترول، والفحم، والغاز الطبيعي، والخشب جميعها من الشمس؛ لأن الوقود ينتج عن التركيب الضوئي؛ حيث تمتص النباتات الطاقة الشمسية وتخزنها على شكل أنسجة نباتية.

يقوم ضوء الشمس بتبخير الماء الذي يهطل لاحقًا على شكل مطر يجري في الأنهار ويخزّن في السدود، ثمّ مباشرة إلى مولدات وتوربينات. وبعد ذلك يعود إلى البحار لاستمرارية دورة الماء في الطبيعة. حتى أنّ الرياح الناجمة عن عدم تساوي سخونة سطح الأرض هي شكل من الطاقة الشمسية. نستطيع استخدام طاقة الرياح لتشغيل مولدات التوربينات من خلال طواحين الهواء المعدّة خصيصًا لذلك؛ لأنّ طاقة الرياح لا يمكن تشغيلها أو إيقافها عند الحاجة، إلا أنها حاليًّا تضيف إلى المتحجرات والوقود النووي إنتاج طاقة واسعة النطاق. إنّ استخدام الرياح أكثر فائدة بصورة عملية عندما نستطيع تخزين الطاقة الناجمة عنها لاستخدامها في المستقبل، كما في شكل الهيدروجين.

يعدّ الهيدروجين أقلّ أشكال الوقود تلويثًا. ينتج معظم الهيدروجين في الولايات المتحدة من الغاز الطبيعي باستخدام درجات حرارة عالية وضغط؛ لفصله عن جزيئات الهيدروكربون. وهذا ما يحدث تمامًا في حالة الوقود الأحفوري. إلا أنّ الجانب السلبي لفصل الهيدروجين عن مركبات الكربون هو إنتاج ثاني أكسيد الكربون الذي لا يمكن تجنبه، كما في حالة غاز البيت الزجاجي. إذن يمكن اللجوء إلى طريقة أبسط وأنظف، ولا تنتج غازات البيت الزجاجي، ألا وهي عملية *التحليل* الكهربائي التي تفصل فيها مكونات الماء كهربائيًّا. يوضح الشّكل 34.3 كيفية القيام بذلك في المختبر أو في البيت؛ يوضع سلكان موصولان إلى قطبي بطارية عادية في ماء مالح- تأكد من عدم تلامس السّلكين معًا. فتظهر على أحد السّلكين فقاقيع من الهيدروجين، في حين تظهر فقاقيع أخرى من الأكسجين على السلك الآخر. إنّ خليّة الطاقة شبيهة بهذا، إلا أنّها تعمل في اتجاه عكسي. يضغط الهيدروجين والأكسجين على القطبين الكهربائيين، في حين ينتج التيار الكهربائي خلال الماء. تستخدم السفن الفضائية خلايا الوقود لإنتاج الكهرباء وماء الشرب لروّاد الفضاء. أما على الأرض فقد استطاع الباحثون في مجال خلايا الوقود تطوير خلايا وقود للحافلات والسيارات والقطارات.

في الغالب، قد يبدأ توفير الهيدروجين بسكك حديد القطارات التي تعمل بخلايا الوقود بدلًا من عربات النقل الأخرى. ويمكن إنتاج الهيدروجين بالخلايا الشمسية، عدد منها على طول مسارات القطارات وعلى السكك الحديدية نفسها (الشّكل 35.3). تحوّل الخلايا الكهروضوئية ضوء الشمس إلى كهرباء. وهذا مألوف في الآلات الحاسبة التي تعمل بالطاقة الشمسية، وكذلك لوحات الإعلانات اللينة التي تعمل بهذه الطاقة. كما أنّ الخلايا الشمسية يمكنها تزويد الطاقة اللازمة لإنتاج الهيدروجين. ومن المهم معرفة أنّ الهيدروجين ليس *مصدرًا* للطاقة، بل إنّ الطاقة لازمة لإنتاج الهيدروجين (لاستخلاصه من الماء ومركبات الكربون). وكما في الكهرباء، فإنّ إنتاج الهيدروجين يحتاج إلى مصدر للطاقة. وهكذا، فإنّ الهيدروجين ينتج بشروط طرق التخزين ونقل الطاقة. وللتأكيد، فالهيدروجين ليس مصدرًا للطاقة.

إنّ المصدر الأكثر تركيزًا للطاقة القابلة للاستخدام هو الموجود في الوقود النووي؛ أي اليورانيوم والبلوتونيوم. ولوزن الوقود نفسه، فإنّ التفاعلات النووية تطلق نحو مليون ضعف أكثر من تلك التي تنتج في تفاعلات الغذاء أو التفاعلات الكيميائية. لنعود مجددًا إلى أهمية هذا الشكل من الطاقة التي لا تحدث تلوثًا في البيئة. والمثير للاهتمام هو أنّ باطن الأرض يبقى حارًّا بسبب الطاقة النووية الملازمة لنا منذ البدء.

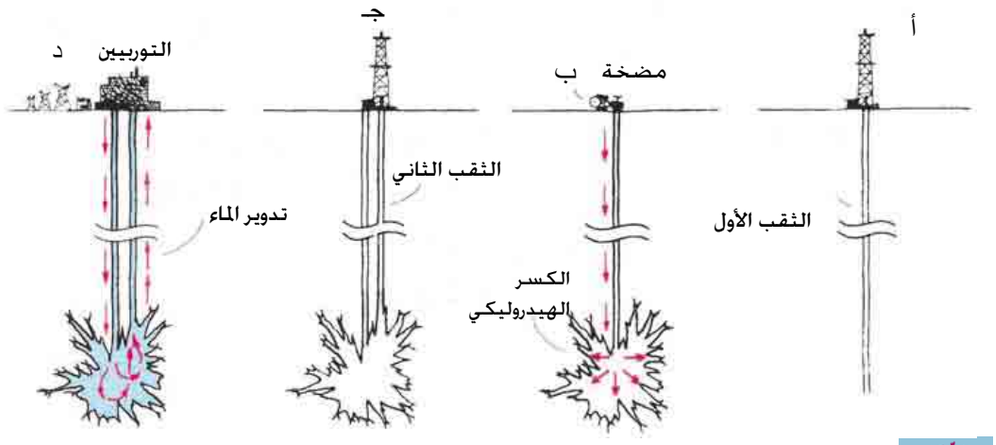
وهناك حصيلة ثانية للطاقة النووية في باطن الأرض ألا وهي الطاقة الحرارية الجيولوجية التي تبقى كخزان للماء الساخن تحت الأرض. وتستعمل هذه الطاقة لأغراض محددة لمساحات النشاط البركاني مثل أيسلندا، ونيوزلندا، واليابان، وهاواي؛ حيث تُسحب في هذه المناطق المياه الحارة القريبة من سطح الأرض لكي توفر البخار اللازم لتشغيل مولدات التوربينات.

وفي الأماكن التي تكون فيها حرارة النشاط البركاني قريبة من سطح الأرض، ولاتكون فيها مياه جوفية، فإنّ هناك طريقة أخرى واعدة لإنتاج الكهرباء، ألا وهي قدرة الحرارة الجيولوجية للصخور الجافة (الشّكل 36.3). وفي هذه الطريقة، يوضع الماء في ثقوب عميقة وجافة لصخور ساخنة. وعندما يتبخر الماء ثانية يُسحب إلى توربينات على السطح. وبعد أن يشغّل التوربين يعود الماء ثانية إلى الفجوة لكي يُستخدم مرة أخرى. وبهذه الطريقة يمكن إنتاج كهرباء نظيفة.

إنّ عدد سكان العالم في تزايد مستمر. لذا فإنّ الحاجة إلى الطاقة في تزايد مستمر أيضًا. يبحث التقنيون حاليًّا عن طرق جديدة ونظيفة لتطوير مصادر الطاقة مستعينين بقوانين الفيزياء وقواعدها. ولكنهم يتسابقون ليبقوا متقدمين على التزايد المطرد في عدد سكان العالم، وهذا مهم جدًّا، وخصوصًا في الدول النامية. ولكن لسوء الحظ، ما دامت الزيادة السكانية ترجع إلى الموروث الديني والسياسي بصورة سلبية، فإنّ الشقاء الإنساني يصبح هو الدلالة على النموّ السكانيّ غير المحدود. قال العالم ويلز (*في موجز التاريخ*): "تاريخ الإنسانية في سباق محموم بين الثقافة والكارثة".

الشّكل 35.3

يمكن استخدام القدرة المستخلصة من خلايا الجهد الضوئي لاستخلاص الهيدروجين في خلايا وقود المواصلات. إنّ مشاريع القطارات التي تسير بطاقة شمسية مجمّعة على قضبان سكك الحديد هي مشاريع على الورق. (انظر http://www.SuntrainUsa.com).



الشّكل 36.3

الطاقة الجيوحرارية للصخور الجافة. (أ) يُحفر ثقب بطول عدة كيلومترات في الجرانيت. (ب) يُضخ الماء في الثقب تحت ضغط عالٍ، ويحطم الصخور المجاورة، ويشكل فجوة بمساحة سطح أكبر. (ج) يُحفر ثقب ثان ليصل الفجوة. (د) يدور الماء في أحد الثقوب والفجوة، حيث يصبح فائق السخونة قبل رفعه من خلال الثقب الثاني. بعد تشغيل التوربين، يعاد تدويره إلى الفجوة الساخنة مرة أخرى لعمل دورة مغلقة.

لمعلوماتك

■ هناك مصدر آخر للطاقة ينشأ عن عمليتي المد والجزر المتلازمتين؛ حيث يعمل هذا المصدر على إدارة محركات ذات دواليب لإنتاج قدرة. ومن المهم معرفة أنّ هذا الشكل من الطاقة ليس نوويًّا ولا شمسيًّا. بل ينتج عن الطاقة الدورانية لكوكبنا.

علم غير مفيد

على العلماء أن يكونوا منفتحين على الأفكار الجديدة؛ فهكذا تطور العلم. ولكن لا يمكن دحض المعرفة الراسخة بسهولة. وهذا يتضمن حفظ الطاقة المتضمّنة في كل فرع علمي ومؤكد من عدد تجارب لا يحصى، من المستوى الذري إلى الكوني. وحتى الآن، لا يوجد مفهوم حظي بتفكير ساذج أكثر من الطاقة؛ كمحاولة الحصول على طاقة دون مقابل، وذلك عن طريق امتلاك آلة تعطينا طاقة أكثر مما نستهلك! وهذا هو العلم الساذج. يخصص أصحاب السلطة السُّذج استثمارات في مثل هذه المشاريع. ولكن لم ينجح أيّ منهم في الوصول إلى مبتغاه ليكوّن علمًا حقيقيًّا. قد يُكتشف في يوم ما أنّ هناك خللًا في حفظ الطاقة. وإذا حدث هذا فسيحتفل العلماء بهذا الإنجاز وهذه الانطلاقة. ولكن حتى الآن، يبقى حفظ الطاقة راسخًا كما هي المعرفة التي نملكها؛ فلا تراهن على ذلك (أي على وجود خلل في قانون حفظ الطاقة).

تنويه: عندما تتعرّف فكرة جديدة، فعليك التأكّد أولا من أنها لا تتعارض مع ما هو معروف. فعلى سبيل المثال، يجب ألا تتعارض مع قانون حفظ الطاقة.

ملخّص المصطلحات

الزّخم الخطّيّ Momentum: حاصل ضرب كتلة جسم ما في سرعته.

دفع القوة Impulse: حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.

قانون حفظ الزخم Law of conservation of momentum: يبقى زخم النظام ثابتًا إذا لم تكن هناك قوة خارجية مؤثرة فيه. وهكذا فإنّ الزخم قبل حدث ما -بما يتضمنه من قوى داخلية- يساوي الزخم بعد الحدث.

mv قبل = mv بعد

تصادم مرن Elastic collision: تصادم بين أجسام دون إحداث تشوهات أو إنتاج حرارة.

تصادم غير مرن Inelastic collision: تصادم بين أجسام ينتج تشوهات فيها، أو ينتج حرارة أو يلصق هذه الأجسام بعضها ببعض.

الطاقة Energy: خاصية نظام قادر على بذل شغل.

الشغل Work: حاصل ضرب القوة في المسافة المقطوعة تحت تأثير القوة

$$W = Fd$$

(عمومًا، الشغل هو مركبة القوة في اتجاه الحركة مضروبة في المسافة المقطوعة.)

طاقة الوضع Potential energy: الطاقة التي تمتلكها المادة بسبب موقعها

PE الجاذبية = mgh

طاقة الحركة Kinetic energy: الطاقة التي يمتلكها جسم ما عند حركته. وتكتب كميًّا وفق العلاقة الآتية:

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}mv^2$

نظرية الشغل والطاقة Work – energy theorem: الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في طاقة حركته.

الشغل = $\Delta(KE)$

قد ينقل الشغل للنظام شكلًا آخر من أشكال الطاقة.

قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy: الطاقة لا يمكن أن تستحدث أو تفنى، ولكنها تتغير من شكل إلى آخر. ومجموعها لا يتغير أبدًا.

القدرة Power: معدل الشغل المبذول

القدرة = الشغل / الزمن

عادة، القدرة هي معدل استهلاك الطاقة.

الآلة Machine: أداة مثل الرافعة أو البكرة تزيد القوة أو تنقصها؛ أي أنّها تغير اتجاهها.

الرافعة Lever: آلة بسيطة تتكون من قضيب صلب يرتكز في نقطة ثابتة تسمى نقطة الارتكاز.

حفظ الطاقة للآلات Conservation of energy for machines: الشغل الناتج عن أيّ آلة لا يمكن أن يزيد على الشغل المدخل للآلة. في الآلة المثالية، لا توجد أيّ طاقة متحولة إلى طاقة حرارية.

الشغل المدخل = الشغل الناتج = (Fd)مدخل = (Fd)ناتج

الكفاءة Efficiency: نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المدخل. (عادة، الطاقة الناتجة مقسومة على الطاقة المدخلة.)

الكفاءة = الطاقة الناتجة / مجموع الطاقة المدخلة.

أسئلة مراجعة

1.3 الزّخم ودفع القوة

1. ما الذي يملك زخمًا أكبر: سيارة ساكنة أم زلاجة متحركة؟
2. عندما تضرب كرة بقوة ما فإنّ السرعة المكتسبة من الكرة تكون أكبر عندما تكون الفترة الزمنية للتلامس أكبر. لماذا؟

2.3 دفع القوة يغير الزخم

3. لِمَ تمدّ يدك نحو الأمام عندما تكون مستعدًّا لالتقاط كرة سريعة؟
4. لماذا يعدّ وضعُ خلفية اليدين على الحائط عند التقاط كرة ساقطة غير مفيد ؟
5. في الكاراتيه، لِمَ تكون القوة المؤثرة لفترة قصيرة أكثر فائدة؟
6. في الملاكمة، لماذا يكون الدوران مع الضربة مفيدًا؟
7. في أيّ ممّا يلي يكون التغير في الزخم أكبر ما يمكن؟
(1) كرة ملتقطة. (2) كرة مقذوفة. (3) كرة التقطت ثم قذفت إلى الخلف. في هذه الحالات جميعها افترض أنّ سرعة الكرة قبل التقاطها مباشرة تساوي سرعة الكرة بعد قذفها مباشرة؟
8. في السؤال السابق، في أيّ حالة يكون دفع القوة اللازم أكبر؟

3.3 حفظ الزخم

9. ما معنى القول إنّ الزخم (أو أي كمية) يكون محفوظًا؟
10. عندما تقذف قذيفة المدفع، فإنّ الزخم يكون محفوظًا للنظام المكون من المدفع والقذيفة. هل يكون الزخم محفوظًا لو لم يكن كمية متجهة؟ اشرح.
11. تتدحرج العربة A بسرعة ما، وتصطدم تصادمًا مرنًا مع العربة B التي لها الكتلة نفسها. بعد التصادم، لوحظ أنّ العربة A قد توقفت. ما سرعة العربة B بعد التصادم مقارنةً بالسرعة الابتدائية للعربة A ؟
12. في السؤال السابق، إذا التحمت العربتان معًا بعد التصادم غير المرن، فما سرعتهما بعد التصادم مقارنة بالسرعة الابتدائية للعربة A؟

4.3 الطّاقة والشّغل

13. متى تكون الطاقة أكثر وضوحًا؟
14. اذكر مثالًا يكون فيه تأثير القوة في جسم ما غير مصحوب بشغل مبذول على ذلك الجسم.
15. أيّهما يحتاج إلى شغل أكثر: رفع 50 كجم مسافة عمودية 2م، أم رفع 25 كجم مسافة عمودية 4 م؟
16. ترفع سيارة إلى الأعلى مسافة ما. وعليه فإنّها تملك طاقة وضع بالنسبة إلى سطح الأرض. إذا رفعت ضعف تلك المسافة، فما طاقة الوضع التي تملكها؟
17. رفعت سيارتان إلى الارتفاع نفسه برافعة محطة خدمات. إذا كانت كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى، فقارن بين طاقتي وضعهما.
18. سيارة تتحرك بطاقة حركة. إذا تضاعفت سرعتها أربع مرات، فكم تكون طاقة حركتها مقارنة بالسابق؟

5.3 نظرية الشّغل والطّاقة

19. بالمقارنة بسرعة ابتدائية، ما الشغل اللازم بذله من كوابح سيارة لإيقافها إذا كانت تسير بسرعة أربعة أضعاف سرعتها الابتدائية؟ ما المسافة المقطوعة في هذه الحالة مقارنةً بالمسافة المقطوعة عند سرعتها الابتدائية؟
20. إذا دفعت عربة بقوة 100 نيوتن مسافة أفقية 10م، وبافتراض أن قوة الاحتكاك بين العربة والأرض ثابتة وتساوي 70 نيوتن، فما طاقة الحركة المكتسبة من العربة؟

6.3 حفظ الطّاقة

21. ما مقدار طاقة حركة عمود مكبس المضخة عندما تنقص طاقة وضعه 10 كيلوجول؟
22. تفاحة معلقة على غصن، ذات طاقة وضع بسبب ارتفاعها. إذا سقطت التفاحة فماذا تصبح طاقتها: أ- قبل اصطدامها بالأرض مباشرةً؟ ب- عند اصطدامها بالأرض؟

7.3 القدرة

23. إذا رُفع كيسان لهما الكتلة نفسها إلى المسافة نفسها، في الزمن نفسه، فقارن بين القدرة اللازمة لكلٍّ منهما؟ ما القدرة اللازمة لرفع الكيس الأخف إلى المسافة نفسها في نصف الزمن مقارنةً بالقدرة اللازمة للآخر؟

8.3 الآلات

24. هل يمكن للآلة مضاعفة: أ- القوة الداخلة؟ ب- المسافة الداخلة؟ ج- الطاقة الداخلة؟ (إذا كانت إجابتك هي نفسها للثلاث فاطلب المساعدة. السؤال الأخير ذو أهمية خاصة).
25. إذا ضاعفت الآلةُ القوةَ أربع مرات، فما الكمية الأخرى التي تتناقص؟ وما مقدارها؟

9.3 الفاعلية

26. ما فاعلية الآلة المعجزة التي تحول الطاقة الداخلة جميعها إلى طاقة خارجية نافعة؟
27. ما الذي يطرأ على نسبة الطاقة المستفادة عندما تتحول من شكل إلى آخر؟

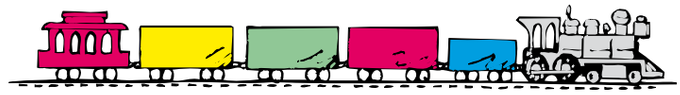
10.3 مصادر الطّاقة

28. ما المصدر الأساس للطاقات المتولدة في وقود المتحجرات: السّدود وطواحين الهواء؟
29. ما المصدر الأساس لطاقة الحرارة الجيولوجية؟
30. هل صحيح إذا قلنا إنّ الهيدروجين مصدرٌ جديد للطاقة؟ اذكر السبب في حال كان الجواب بالإيجاب أو النفي.

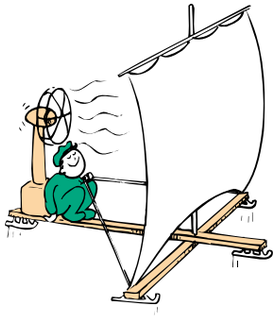
تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

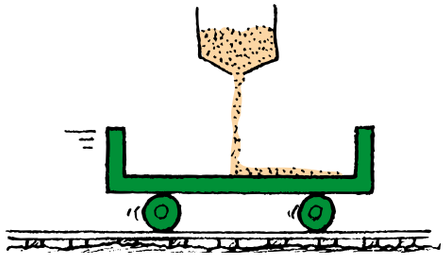
1. ● لإيقاف ناقلة ضخمة؛ يجب إيقاف محركها قبل نحو 25 كم من المرفأ. لماذا يكون من الصعب إيقاف تحويل مسار الناقلة الضخمة؟
2. ● بدلالة دفع القوة والزخم، لماذا تقلّل وسائد الهواء في السيارات احتمالية الإصابة في الحوادث؟
3. ● بدلالة دفع القوة والزخم، لماذا تكون حبال النايلون القابلة للسحب بشكل واضح عند شدها ملائمة لتسلق الجبال؟
4. ● الصلابة من ميزات العربات التي صنعت قديمًا. أما العربات الحديثة فقد صمّمت بحيث تتحطم عند اصطدامها. لماذا؟
5. ● تمّ تجريب عربة فضية على الأرض عند سرعة 15كم/ساعة. فإذا تحركت بالسرعة نفسها على القمر، فهل يكون زخمها، أ- أكبر؟ ب- أقل؟ ج- نفسه؟
6. ● عندما تقوم برمي مجموعة من البيض على حائط فإنها تتكسّر، ولكن إذا رميت البيض بالسرعة نفسها إلى صفيحة مدلاة فإنها لا تتكسر. اشرح سبب هذا مستعينًا بالمفاهيم الواردة في هذا الفصل.
7. ■ عندما يضرب الملاكم حقيبة ثقيلة لأكثر من ساعة، فإنه لا يشعر بالتعب. ولكنه يتعب بسرعة عندما يلاكم خصمًا لبضع دقائق. لماذا؟ (مساعدة: عندما يوجّه الملاكم قبضته للحقيبة، ما الذي يزود قوة الدفع اللازمة لإيقاف الضربات؟ عندما يوجه الملاكم قبضته في اتجاه الخصم، ما الذي يزود قوة الدفع اللازمة لإيقاف الضربات التي لا تنجح؟)
8. ■ ترتبط عربات قطار بشكل غير متماسك بحيث يكون هناك زمن تأخير ملاحظ بين حركة العربتين الأولى والأخيرة عندما تتحرك القاطرة من السكون. ناقش فائدة الربط المرن (الخفيف) والفجوات بين العربات من وجهة نظر الدفع والزخم.



9. ● عندما تقذف كرة أفقيًّا وأنت تقف على أرضية زلقة، فإنك تتدحرج إلى الخلف بزخم يساوي زخم الكرة. هل تتدحرج نحو الخلف إذا أبقيت الكرة في يدك ومشيت معها في أثناء قذفها؟ فسِّر اعتمادًا على حفظ الزخم.
10. ● افترض أنّك في مقدمة زورق يطفو بالقرب من الشاطئ، ثمّ قفزت متوقعا أن تستقر على الشاطئ بسهولة. ولكن بدلًا من ذلك سقطت في الماء. اشرح الموقف من خلال حفظ الزخم.
11. ● يرتدي شخص ملابسه كاملة، ويقف في وسط بركة على طبقة مادة عديمة الاحتكاك تمامًا. وعليه الوصول إلى الشاطئ. كيف يمكنه ذلك؟ اشرح الموقف مستعينًا بحفظ الزخم.
12. ■ يمكن شرح الأمثلة في التمارين الثلاثة الماضية من خلال حفظ الزخم. والآن أجب عنها مستعينًا بقانون نيوتن الثالث.
13. ■ في الفصل الماضي، تمّ شرح دفع الصواريخ بدلالة قانون نيوتن الثالث، وهو أنّ القوة التي تدفع الصاروخ تنتج عن الغازات المنبعثة منه، أي ردّ الفعل على قوة الصاروخ المؤثرة في الغازات المنبعثة. اشرح دفع الصاروخ بدلالة حفظ الزخم.
14. ■ يقول صديقك: إنّ قانون حفظ الزخم لا ينطبق عند تدحرج كرة إلى أسفل تل بحيث تكسب زخمًا. ما ردّك؟
15. ■ زخم حبة تفاح تسقط على الأرض غير محفوظ؛ لأنّ قوة الجاذبية الخارجية تؤثر فيها. ولكن الزخم يكون محفوظًا على المنظومة الأكبر. اشرح.
16. ■ أُسقط حجر من أعلى حافة بناء. حدّد النظام الذي تكون محصلة زخمه صفرًا خلال سقوط الحجر.
17. ■ يهبط برونكو من طائرة عمودية (هليوكوبتر) ويلاحظ أن زخمه يزداد. هل هذا يتعارض مع حفظ الزخم؟ اشرح.
18. ■ مركب شراعي جليدي يستقر على بحيرة متجمدة في يوم عديم الرياح. وضع ربان المركب مروحة كما في الشكل. إذا كان هواء المروحة يرتد نحو الخلف من شراع المركب، فهل تحرّك القوة الناشئة المركبَ؟ إذا كان كذلك ففي أيّ اتجاه؟

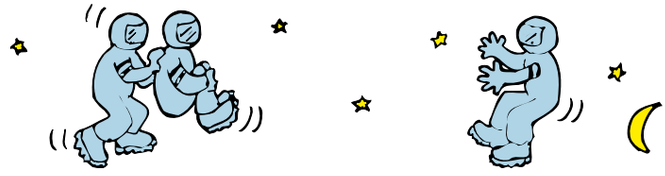


19. ■ هل تختلف إجابة التمرين السابق إذا توقف هواء المروحة عند الشراع ولم يرتدّ؟
20. ■ اشرح ما تراه مفيدًا عند إزالة الشراع في التمرين السابق.
21. ■ لكي تقذف كرة، هل تقوم بالتأثير فيها بدفع قوة؟ هل تؤثر بدفع قوة لكي تلتقطها بالسرعة نفسها؟ ما دفع القوة الذي تؤثر فيها بالمقارنة بالتقاطك الكرة، ثمّ قذفها مباشرة مرة أخرى؟ (تخيل نفسك على لوح تزلج).
22. ♦ عندما يُفرّغُ رمل عموديًّا على سطح عربة تتحرك أفقيًّا، فإنّ العربة تتباطأ. أهمل أيّ احتكاك بين العربة والمسار. هاتِ سببين لذلك؛ أحدهما يتعلق بالقوة الأفقية المؤثرة في العربة والآخر يتعلق بدلالة حفظ الزخم.



23. ♦ في لعبة ما، يقفز البطل الأسطوري مباشرة نحو الأسفل عن جسر في اتجاه قارب صغير يستمر في حركته دون تغير في سرعته. ما وجه التناقض مع الفيزياء هنا؟

24. ♦ افترض أنّ ثلاثة رواد فضاء خارج سفينة فضائية رغبوا أن يلعبوا اللقطة. الرواد جميعًا لهم الوزن نفسه على الأرض، كما أنّهم متساوون في القوة. قذف الرائدُ الأولُ الرائدَ الثاني باتجاه الثالث وهكذا بدأت اللعبة. صفْ حركة الرواد إذا استمر شوط اللعب. كم يستغرق هذا الشوط من اللعب؟



25. ■ إذا دفع صديقك آلة جز العشب أربعة أضعاف المسافة التي دفعتها أنت، ولكن بنصف القوة. أيّكما بذل شغلًا أكثر؟ وما مقدار هذا الشغل الأكثر؟

26. ● ما الذي يحتاج إلى شغل أكثر: سحب زنبرك شديد مسافة معينة، أم سحب زنبرك ضعيف للمسافة نفسها؟ وضح إجابتك.

27. ● تسلّق شخصان لهما الوزن نفسه سلما؛ أكمل الأول التسلق في 30 ثانية، أما الآخر ففي 40 ثانية. من منهما بذل شغلًا أكثر؟ من الذي استخدم قدرة أكبر؟

28. ■ عندما تقذف من بندقية ذات أسطوانة أطول، فإنّ قوة تمدد الغاز تؤثر في القذيفة مسافة أطول. ما تأثير ذلك في سرعة انطلاق القذيفة؟ (ترى، لماذا تملك المدافع الطويلة المدى مثل تلك الأسطوانات الطويلة؟).

29. ■ كرتا البيسبول والجولف لهما الزخم نفسه. أيّهما تملك طاقة حركة أكبر؟

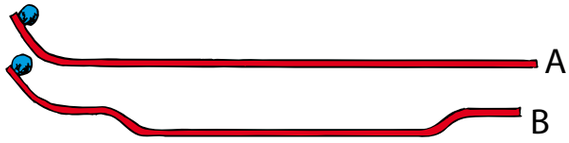
30. ● عند أيّ نقطة من حركة البندول تكون طاقة الحركة K.E لكرة البندول أقصى ما يمكن؟ وعند أيّ نقطة تكون طاقة وضعها أكبر ما يمكن. ومتى تكون طاقة حركتها K.E نصف القيمة القصوى؟ وماذا عند قيمة طاقة وضعها PE ؟

31. ● يوضح مدرس الفيزياء فكرة حفظ الطاقة بترك كرة البندول كما ترى في الرسم المجاور تتأرجح ذهابًا وإيابًا. ماذا سيحدث إذا كان بكامل حيويته، ودفع الكرة بقوة عندما كانت قريبة من أنفه؟ اشرح.

32. ● لماذا تبذل قوة الجاذبية شغلًا على سيارة تتحرك أسفل تل، في حين لاتبذل أيّ شغل عندما تتحرك على سطح مستوٍ؟

33. ● تقلّ طاقة وضع طفلة تلعب على ملعب تزلج بمقدار 1000 جول، إلا أنّ طاقة حركتها تزداد بمقدار 900 جول. ما الشكل الآخر للطاقة المتعلق بذلك؟ ما مقداره؟

34. ■ افترض كرتين متماثلتين تركتا من السكون على مسارين: A، و B كما في الشكل. وعند وصولهما إلى النهايتين من الجهة اليمنى لكلا المسارين، أيهما تكون ذات سرعة أكبر؟ لماذا تكون الإجابة عن هذا السؤال أسهل من الإجابة عن السؤال المشابه (التمرين 33) في الفصل 1؟



35. ■ إذا كانت كرتا جولف وتنس طاولة لهما طاقة الحركة نفسها، فأيهما ذات سرعة أكبر؟ اشرح من خلال تعريف طاقة الحركة. وبالمثل، في خليط غازي يحوي جزيئات ثقيلة وأخرى خفيفة لها متوسط طاقة الحركة نفسه، أيّ الجزيئات لها سرعة أكبر؟

36. ■ هل تحرق السيارة بنزينًا أكثر عندما تكون أنوارها مضاءة؟ وعمومًا هل يتأثر استهلاك البنزين فيما لو كان محرك السيارة يعمل والأنوار مضاءة؟ وضح إجابتك.

37. ■ يبدو هذا وكأنه سؤال فيزيائي نموذجي يسهل الإجابة عنه: ما القوة التي يرتطم بها حجر وزنه 10 نيوتن بالأرض عندما يسقط من السكون من ارتفاع 10م؟ في الحقيقة، لا يمكن الإجابة عن السؤال من دون معلومات إضافية. ما هذه المعلومات، ولماذا؟

38. ■ عند عدم وجود مقاومة هواء، فإنّ الكرة المقذوفة عموديًّا إلى الأعلى بطاقة حركة KE ابتدائية تعود إلى مستواها الأصلي بطاقة الحركة KE نفسها. إذا أخذ تأثير مقاومة الهواء في الحسبان فهل تعود الكرة إلى مستواها الأصلي بطاقة حركة KE نفسها، أم أقل، أم أكثر منها؟ هل تتعارض إجابتك مع قانون حفظ الطاقة؟

39. ■ إذا كنت على سطح بناء وقذفت كرتين: الأولى نحو الأسفل في اتجاه الأرض والأخرى نحو الأعلى، فإنّ الكرة الثانية تصعد ثمَّ تهبط وتصطدم بالأرض. بإهمال مقاومة الهواء، وبافتراض أنّ سرعة قذف الكرة إلى الأعلى والأسفل هي نفسها، فكيف يمكن مقارنة سرعة اصطدام كلتا الكرتين بالأرض؟ (استعن بفكرة حفظ الطاقة.)

40. ■ عندما يؤثر سائق سيارة في الكوابح بحيث تتحرك السيارة إلى أسفل تل بسرعة ثابتة وطاقة حركة ثابتة، فإنّ طاقة وضعها تتناقص. أين ذهبت هذه الطاقة؟ أين تظهر هذه الطاقة في سيارة هجينة (هايبرد)؟

41. ■ هل يمكن لشيء ما أن يملك طاقةً دون أن يملك زخمًا؟ اشرح. وفي المقابل، هل يمكن لشيء ما أن يملك زخمًا دون أن يملك طاقة؟ اشرح.

42. ● إذا تضاعفت كتلة جسم متحرك دون تغير سرعته، فكم يتضاعف زخمه؟ وكم تتضاعف طاقة حركته؟

43. ● عندما تتضاعف سرعة جسم متحرك فكم يتضاعف زخمه؟ وكم تتضاعف طاقة حركته؟

44. ● أيّ الكرتين لها زخم أكبر: كرة كتلتها 1 كجم وتتحرك بسرعة 2 م/ث، أم كرة كتلتها 2 كجم وتتحرك بسرعة 1م/ث؟ أيّ منهما تملك طاقة حركة أكبر؟

45. ■ قطعتان طينيتان لهما زخم متساو في المقدار ومتعاكس، اصطدمتا تصادمًا رأسيًّا مرنًا وتوقفتا. هل الزخم محفوظ؟ هل طاقة الحركة محفوظة؟ لماذا يتفق جوابك أو يختلف؟

46. ■ إذا كانت فاعلية محرك سيارة 100%، وتحول طاقة الوقود

كلّها إلى شغل. هل هذا يؤدي إلى سخونة المحرك عند لمسه؟ هل هنالك طاقة تتسرب إلى هواء المحيط؟ فهل يؤدي هذا إلى ضجيج؟ هل يؤدي هذا إلى اهتزاز؟ أهناك أيّ جزء من الوقود غير مستخدم؟

47. ■ لمحاربة عادات الإسراف، غالبًا ما نتكلم عن "حفظ الطاقة" والتي من خلالها نقوم بإطفاء الأنوار وإغلاق مصدر الماء الساخن عند عدم الحاجة إليهما بحيث يُربط هذا المصدر مع منظم حراري مناسب. وفي هذا الفصل ناقشنا "حفظ الطاقة". ميّز بين هذه الاستخدامات.

48. ■ يدّعي صديقك أنّ هناك طريقة لتسخين نوعية هواء المدينة في وجود إشارات ضوئية متزامنة تساعد على حركة السيارات مسافات طويلة بسرعة ثابتة. ما المبدأ الفيزيائيّ الذي يدعم هذا الادّعاء؟

49. ■ تأتي الطاقة التي تلزمنا لكي نعيش من اختزان طاقة الوضع في الغذاء بشكل كيميائي، والتي تتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة خلال العمليات الحيوية. ماذا يحدث للشخص الذي مجموع شغله وطاقته الناتجة أقل من الطاقة التي يستهلكها؟ ماذا يحدث إذا كان مجموع الشغل والطاقة الناتجة أكبر من الطاقة التي يستهلكها؟ هل يمكن لشخص قليل التغذّي أن ينتج شغلًا إضافيًّا دون غذاء إضافي؟ وضح إجاباتك.

50. ♦ ادرس جهاز الكرات المتأرجحة. إذا رُفعت كرتان وتُركتا فإنّ الزخم يكون محفوظًا إذا دفعت كرتان نحو الجهة الأخرى وبسرعة الكرات نفسها. كما أنّ الزخم يكون محفوظًا أيضًا إذا دفعت كرة واحدة بضعف السرعة. اشرح لماذا لا يمكن حدوث ذلك.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● تعلمنا في الفصل الأول أنّ التسارع $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$. أما في الفصل الثاني فتعلمنا أنّ سبب التسارع يتعلق بقوة محصلة، حيث $a=\frac{F}{m}$ وازن بين هاتين المعادلتين للتسارع، وبيّن أنه بالنسبة لكتلة ثابتة $F\Delta t = \Delta(mv)$.

2. ● دُفعت حقيبة مشتريات كتلتها 5 كجم على طاولة بسرعة 4 م/ث فانزلقت إلى أن توقفت خلال 3 ثوان. ابدأ بالمعادلة التي اشتققتها في المسألة 1. وبيّن أنّ قوة الاحتكاك 6.7 نيوتن.

3. ● تتدحرج كرة كتلتها 8 كجم بسرعة 2 م/ث فاصطدمت بوسادة وتوقفت خلال 0.5 ث. (أ) بيّن أنّ القوة المؤثرة من الوسادة في الكرة 32 نيوتن. (ب) ما القوة المؤثرة من الكرة في الوسادة؟

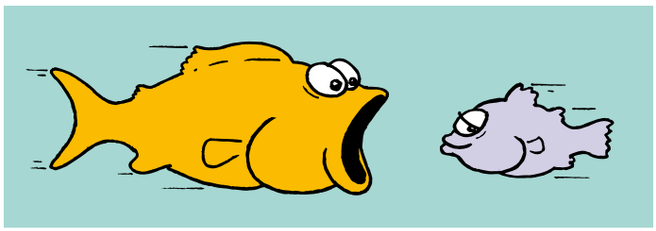
4. ● تتحرك سيارة بسرعة 25 م/ث، اصطدمت بحائط وتوقفت خلال 0.1 ث. بيّن أنّ متوسط القوة المؤثرة في أنموذج تجريبي كتلته 75 كجم مربوط بحزام الأمان أكثر من 18,000 نيوتن.

5. ■ افترض أنّ كرة بيسبول كتلتها 0.15 كجم، وتتحرك بسرعة 40 م/ث. عندما علقت بمروحة. (أ) بيّن أنّ دفع القوة المزوّد واللازم لإيقاف الكرة هو 6 نيوتن.ثانية. (ب) إذا توقفت الكرة خلال 0.03 ثانية، فبيّن أنّ متوسط القوة من الكرة على يد من التقطها هو 200 نيوتن.

6. ■ كتلة جودي (Judy) 40 كجم، ويجلس على جليد زلق، يلتقط كلبه آتي (Atti) الذي كتلته 15 كجم وكان يتحرك بسرعة 3 م/ث. استخدم قانون حفظ الزخم لإثبات أنّ سرعة جودي وكلبه بعد الالتقاط 0.8 م/ث.

7. ■ تزن عربة ذات محرك ديزل أربعة أضعاف وزن سيارة. انزلقت العربة بسرعة 5 كم/ساعة في اتجاه السيارة المتوقفة. استخدم قانون حفظ الزخم لإثبات أنّ سرعتيهما معًا 4 كم/ساعة بعد التحامهما.

8. ■ تسبح سمكة كتلتها 5 كجم بسرعة 1 م/ث. ابتلعت سمكة كتلتها 1 كجم تسبح في اتجاهها وبسرعة بحيث تعمل على إيقافها. بيّن أنّ سرعة السمكة الصغيرة قبل أن تُبتلَع كانت 5 م/ث.



9. ■ تقابل رائد فضاء خارق القوة في الفضاء الخارجي مع كوكب صغير واصطدم به بسرعة 800 م/ث كسرعة طلقة. تبلغ كتلة الكوكب آلاف أضعاف كتلة الرجل. وقد لوحظ عن بُعد أنّ الرجل كان ساكنًا بعد التصادم. آخذًا في الحسبان مفاهيم الفيزياء، بيّن أنّ سرعة الارتداد يجب أن تكون 800,000 م/ث.

10. ● بيلي فلوب (Belly-Flop) يقفز من فوق برج إلى بركة سباحة أسفل منه. إن طاقة وضعه عند النقطة التي غطس منها هي 10,000 جول. بيّن أنه عندما تصبح طاقة وضعه 2000 جول، فإنّ طاقة حركته ستكون 8000 جول.

11. ● استخدمت رافعة لرفع حمل ثقيل. عندما تؤثر قوة 50 نيوتن على إحدى نهايتي الرافعة نحو الأسفل والمسافة 1.2م، فإنّ

النهاية الأخرى للرافعة سترتفع 0.2 م. بيّن أنّ وزن الحمل يساوي 300 نيوتن.

12. ● لرفع بيانو وزنه 5000 نيوتن باستخدام نظام البكرات، لاحظ رافعو البيانو أنه لكلّ 2 م هبوط في حبال البكرات يرتفع البيانو مسافة 0.2 م. بيّن أنّ القوة اللازمة لرفع البيانو هي 500 نيوتن.

13. ● ما القدرة التي يستهلكها رافع أوزان عندما يرفع أثقالًا كتلتها 50 كجم مسافة عمودية 1.2 م في زمن 1.5 ثانية؟

14. ♦ قوة الكبح اللازمة لإيقاف سيارة كتلتها m وتتحرك بسرعة v في زمن t.

(أ) ابدأ بالعلاقة بين دفع القوة والزخم لإثبات أنّ قوة الكبح هي mv/t

(ب) كتلة سيارة 1200 كجم وسرعتها الابتدائية 25 م/ث. بيّن أنّ قوة الكبح اللازمة لإيقافها في 12 ثانية هي 1500 نيوتن.

15. ♦ عربة تسوق مليئة بالمواد كتلتها m وتتحرك أسفل ممر بسرعة v. توقفت العربة تحت تأثير قوة ثابتة.

(أ) استخدم علاقة دفع القوة والزخم لإثبات أنّ الزمن اللازم لإيقاف العربة هو mv/F .

(ب) إذا كان مجموع كتلة العربة 20 كجم، وسرعتها الابتدائية 3 م/ث، وقوة الإيقاف 15 نيوتن، فبيّن أنّ زمن التوقف هو 4 ث.

(جـ) بيّن أنّ طاقة الحركة الابتدائية للعربة المحملة للمواد كانت 90 جول.

16. ♦ عندما يكون متوسط القوة F المؤثرة لمسافة ما على عربة تسوّق كتلتها m، وطاقة حركتها تزداد بمقدار $\frac{1}{2}mv^2$.

(أ) استخدم نظرية الشغل والطاقة لإثبات أنّ المسافة التي تؤثر فيها هي $\frac{mv^2}{2F}$.

(ب) إذا أثرت ضعف القوة لضعف المسافة، فكم تكون الزيادة الناتجة في طاقة الحركة مقارنةً بالزيادة في طاقة الحركة الأصلية؟

أنشطة استكشافية

1. عندما تنجز دراستك مبكرًا، اذهب إلى بركة سباحة أو قاعة بلياردو، وتمعَّن في حفظ الزخم، لاحظ أنه مهما يكن تصادم الكرات معقدًا فإنّ زخم كرة الخصم (المقذوفة) على امتداد خط التأثير (خط عمل القوة المؤثرة) قبل التصادم هو نفسه الزخم الكلي للكرات جميعها في الاتجاه نفسه بعد التصادم، ومجموع مركبات الزخم العمودية على خط التأثير يتلاشى بعد التصادُم إلى الصفر، وهي القيمة نفسها قبل التصادم في هذا الاتجاه. وستلاحظ كلًّا من الطبيعة المتجهة للزخم وحفظه على نحو أوضح عندما تقذف الكرة دونما دوران، أي لا تكون الضربة إنجليزية (تسمى English). عندما تتأثر الكرة بزخم دوراني بتركيز الضرب على حافتها، وليس على مركزها، فإن الزخم الزاوي يكون محفوظًا كذلك، وإن أصبح التحليل أكثر تعقيدًا.

ومهما تكن طريقة ضرب الخصم (المقذوف) في غياب أي قوى أخرى خارجية فإنّ الزخمين الخطي والزاوي محفوظان دائمًا. وفي الواقع، فإنّ البركة وقاعة البلياردو مكانان ممتازان دائمًا لعرض مبدأ حفظ الزخم.

2. ضع كرة مطاطية صغيرة على سطح كرة سلة أو كرة قدم ثم دعهما يسقطا على الأرض معًا. وإذا بقيت إحدى الكرتين موازية للأخرى تمامًا، فستجد أن الكرة الصغيرة قد قفزت مسافات أعلى من الكرة الكبيرة. هل تستطيع أن توافق بين هذه الحقيقة وحفظ الطاقة.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة على الأقل. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الإجابة الأفضل لكلٍّ مما يلي:

1. عند تقليل كتلة عربة مليئة بالبضائع إلى النصف ومضاعفة سرعتها فإنّ زخم العربة:

(أ) يستمر دون تغيير.

(ب) يتضاعف.

(ج) يتضاعف أربع مرات.

(د) يقلّ.

2. في حين يتعلق دفع القوة بالقوة والزمن، فإنّ الشغل يتعلق بالقوة و:

(أ) الطاقة.

(ب) التسارع.

(ج) المسافة.

(د) القدرة.

3. إذا تضاعفت سرعة حصان سباق، فسيتضاعف أيضًا:
(أ) زخمه.
(ب) طاقة حركته.
(ج) زخمه وطاقة حركته.
(د) لا شيء مما ذكر.
4. كرة كتلتها 1 كجم، لها السرعة نفسها لكرة كتلتها 10 كجم. بالمقارنة مع الكرة 1كجم فإنّ الكرة التي كتلتها 10 كجم تملك:
(أ) زخمًا أقل.
(ب) الزخم نفسه.
(ج) 10 أضعاف الزخم.
(د) 100 ضعف الزخم.
5. المعادلة التي تعطي تمثيلا أفضل لفائدة الوسادة الهوائية في السيارة هي:
(أ) $F = ma$.
(ب) $Ft = \Delta mv$.
(ج) $KE = \frac{1}{2}mv^2$.
(د) $Fd = \Delta\frac{1}{2}mv^2$.

6. المعادلة التي تستخدم أكثر لحلّ مسألة تتعلق بإيجاد المسافة التي يقطعها صندوق ينزلق على سطح قبل أن يتوقف هي:
(أ) $F = ma$.
(ب) $Ft = \Delta mv$
(ج) $KE = {}^{1}mv^2$
(د) $Fd = \Delta^{1}mv^2$.
7. تسير طائرة نموذج بسرعة ثلاثة أضعاف سرعة طائرة نموذج أخرى مماثلة. بمقارنة طاقة حركة الطائرة الأبطأ، فإنّ طاقة حركة الطائرة الأسرع تكون:
(أ) هي نفسها.
(ب) ضعفها.
(ج) أربعة أضعافها.
(د) أكثر من أربعة أضعافها.
8. يحتاج رفع سيارة في محطة خدمات إلى شغل. ولكن رفعها إلى ارتفاع مضاعف يحتاج إلى:
(أ) الشغل نفسه ولكن ضعف القدرة.
(ب) ضعف الشغل.
(ج) ضعف القدرة.
(د) جميع ما ذكر.
9. يملك فيل نشيط طاقة حركة، إنه يملك أيضًا:
(أ) طاقة وضع.
(ب) زخمًا.
(ج) شغلا.
(د) جميع ما ذكر.
10. الآلة لا تزيد:
(أ) القوى.
(ب) المسافات.
(ج) الطاقة.
(د) جميع ما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

أ، ج، ج، ب، ب، د، ب، ب، أ، ج

المزيد من الاستكشاف

بودانس ديفيد $E=mc^2$: سيره المعادلة الأشهر في العالم. نيويورك: مجموعة بيركلي للنشر، 2002.

هذا كتاب ممتع وجذاب حول تاريخ فهمنا للطاقة. يكمن جمال الكتاب وسحره في التركيز على الأشخاص الذين ساهموا في فهم الطاقة. وإشارة المساواة، والكتلة، وسرعة الضوء، والترميز الأسّي.

الفصل 3 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 3.10، 3.12، 3.13، 3.22، 3.26

دروس تعليمية

- الاصطدامات والزخم
- الطاقة

أشرطة فيديو

- تعريف الزخم
- تغير الزخم
- تناقص الزخم خلال فترة قصيرة
- كرة البولنغ وحفظ الزخم
- حفظ الزخم: أمثلة رقمية حسابية
- الآلات: البكرات

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

4

الجاذبية، المقذوفات والأقمار

1.4 قانون الجذب الكونيّ

2.4 الجاذبيّة والمسافة: قانون التّربيع العكسيّ

3.4 الوزن وانعدامه

4.4 الجذب الكونيّ

5.4 حركة المقذوفات

6.4 المقذوفات المتحرّكة بسرعة – الأقمار الصّناعيّة

7.4 المدارات الدّائريّة للأقمار الصّناعيّة

8.4 المدارات الإهليلجيّة

9.4 سرعة الإفلات

■ من الخطأ القول إنّ إسحق نيوتن **(Issac Newton)** هو من اكتشف الجاذبية؛ لأنّ هذا الاكتشاف يعود إلى آلاف من السنين خلت، عندما اختبر ساكنو الأرض نتائج الحركة والسقوط. والحقيقة أنّ ما اكتشفه نيوتن هو أنّ الجاذبية كونية، وهذا يعني أنها ليست للأرض فقط كما افترض بعضهم حينذاك.

قبل اكتشاف نيوتن بقرون، تم النظر إلى الحركة الدائرية للأجسام السماوية على أنها طبيعية. اعتقد أرسطوطاليس وتلاميذه أنّ النجوم والكواكب والقمر والمجرات تتحرك في دوائر سماوية رائعة وحرّة من أيّ قوة تحريك. كما أنّهم افترضوا أنّ هذه الحركة الدائرية لا تحتاج إلى أيّ تفسير. ومع ذلك، فقد أدرك نيوتن وجود قوة من نوع ما تؤثر في الكواكب، إلا فإنّ مساراتها تكون خطوطًا مستقيمة. في ذلك الحين، افترض بعض من تأثروا بأفكار أرسطوطاليس أنّ القوة على الكوكب يجب أن تؤثر بشكل مباشر في طول المسار. ومع هذا، فقد فسّر نيوتن ذلك بأنّ القوة على كلّ كوكب يجب أن تؤثر في اتجاه نقطة مركزية ثابتة؛ في اتجاه الشّمس. إنّ قوة الجاذبية هذه هي القوة نفسها التي تسقط التفاحة عن الشجرة.

تعدّ فكرةُ نيوتن الحدسية - أنّ القوة بين الأرض والتفاحة هي القوة المؤثرة نفسها بين الأقمار والكواكب وأيّ شيء آخر في كوننا - خرقًا جذريًّا للنظرية السائدة آنذاك المتمثلة في وجود مجموعتين من القوانين الطبيعية: الأولى تتعلق بالأحداث الأرضية، والأخرى مختلفة للحركة السماوية. يسمى اتحادُ كلّ من القوانين الأرضية والكونية *التركيبَ النيوتونيّ*.

1.4 قانون الجذب الكونيّ

وفق الأسطورة الشعبية، كان نيوتن جالسًا تحت شجرة تفاح عندما راودته فكرة انتشار الجاذبية فوق الأرض. ربما نظر من خلال أغصان الشجرة في اتجاه مصدر التفاحة السّاقطة ولاحظ القمر. وربما ارتطمت التفاحة برأسه كما روت لنا هذه الأسطورة. على أيّ حال، لقد امتلك نيوتن البصيرة ليدرك أنّ القوة بين الأرض والتفاحة السّاقطة هي القوة نفسها التي تحرك القمر في مساره الدورانيّ حول الأرض، وهذا المسار يشبه مسار الكواكب حول الشّمس.

لاختبار هذه الفرضية؛ قارن نيوتن بين سقوط تفاحة ما و"سقوط" القمر. لقد أدرك نيوتن أنّ سقوط القمر يعني أنه *يسقط بعيدًا على خطّ مستقيم إنْ لم تكن هنالك أيّ قوة تؤثّر فيه*. وبسبب السّرعة المماسّيّة، فإنّه يسقط حول الأرض (كما سنوضح ذلك لاحقًا في هذا الفصل). وباستخدام هندسة بسيطة، يمكننا مقارنة المسافة التي يسقطها القمر في وحدة الزمن بالمسافة التي تسقطها تفاحة أو أيّ شيء آخر بعيد عن الأرض في ثانية واحدة. إلا أنّه أحبط بسبب عدم تحقّق حساباته. ولكنه أدرك أنّ الحقيقة المرّة تفوز دائمًا على الفرضية الجميلة. لذا، فقد احتفظ بأوراقه في الأدراج، حيث بقيت فيها مدة 20 عامًا. خلال هذه المدة، استحدث نيوتن موضوع البصريّات الهندسيّة وطوّره، ولهذا السّبب، أصبح مشهورًا لأوّل مرة.

لقد أحيا اكتشافُ مُذَنَّب مدهش عام 1680م اهتمامَ نيوتن بالميكانيكا. فعاد إلى مسألة القمر بإلحاح من صديقه الفلكي إدمون هالي Edmund Halley، الذي سُمِّي المذنب الثاني باسمه. حيث أدخل تصحيحات على البيانات التجريبية التي استخدمها في طريقته السّابقة، فحصل على نتائج ممتازة. وبعد ذلك، نشر واحدًا من أعظم تعميم توصل إليه العقل البشري؛ **إنّه قانون الجذب الكونيّ (Law of universal Gravitation).***

يجذب كلُّ جسم كلَّ جسم آخر بطريقة بسيطة تتضمن الكتلة والبعد فقط.. ووفقًا لما قاله نيوتن، فإنّ أيَّ جسم يجذب أيّ جسم آخر بقوة تتناسب مباشرة مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع البعد الذي يفصلهما.

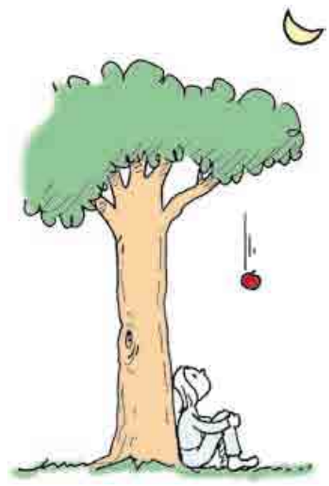
ويمكن التّعبير عن هذه الصّياغة بـ:

القوّة ~ (الكتلة$_1$ × الكتلة$_2$) / (البعد)^2

أو بالرمز

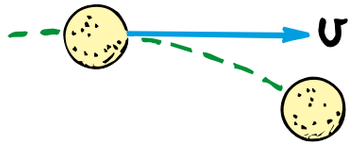
$$F \sim \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

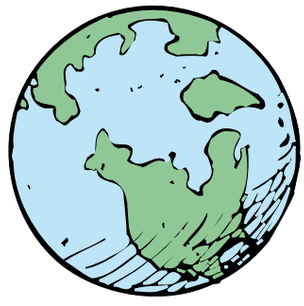
حيث m_1، وm_2 كتلتا الجسمين على التّوالي، وd البعد بين مركزيهما. وهكذا، فكلّما كانت الكتلتان m_1، وm_2 أكبر زادت قوة التجاذب بينهما بتناسب مباشر مع كتلتيهما.* وكلّما زادت المسافة (d) التي تفصلهما ضعفت قوة التجاذب، بتناسب عكسيّ مع مربع المسافة بين مركزيهما.



الشّكل 1.4

هل يمكن للسّحب الجاذبيّ على التفاحة أن يصل إلى القمر؟





الشّكل 2.4

تسمح السرعة المماسية للقمر حول الأرض له بالسقوط حول الأرض بدلًا من السّقوط عليها. إذا انعدمت هذه السّرعة الزاوية، فماذا يكون مصير القمر؟

* هذا مثال مثير على المعاناة والفحص الدقيق الذي يُبذل في صياغة النظرية العلمية. وفي المقابل، طريقة تعامل نيوتن مع هذا الفشل، "لعمل واجب الشخص الآخر". قارن بين طريقة نيوتن مع الفشل في "الفشل في القيام بالواجب". مع الحكم المتسرع، وغياب التمحيص التي غالبًا ما تصف البيانات للمناصرين للنظريات غير العلمية.

■ **نقطة فحص**

1. في الشّكل 2.4، رأينا أنّ القمر يسقط حول الأرض بدلًا من السّقوط عليها مباشرة. إذا كانت سرعة القمر المماسية صفرًا، فكيف يتحرك؟
2. حسب معادلة قوة الجاذبية، ماذا يحدث للقوة بين جسمين إذا تضاعفت كتلة أحدهما ؟ وإذا تضاعفت كتلتاهما؟
3. تؤثّر قوّة الجاذبيّة في الأجسام جميعها بالتناسب مع كُتلها. إذن، لماذا لا تسقط الأجسام الثقيلة أسرع من الأجسام الخفيفة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إذا كانت السّرعة المماسيّة للقمر صفرًا فإنه يسقط على الأرض ويتحطم.
2. إذا تضاعفت كتلة أحد الجسمين فإنّ القوة بين الجسمين تتضاعف. ولكن إذا تضاعفت الكتلتان فستصبح القوة أربعة أضعاف ما كانت عليه.
3. يعود الجواب إلى الفصل الثاني، تذكر من الشّكل 9.2، أنّ الجسمين - الثقيل والخفيف - يسقطان بالتسارع نفسه؛ لأنّ كُلًّا منهما له نسبة الوزن للكتلة نفسها. يذكرنا قانون نيوتن الثاني $(a = F / m)$ بأنه إذا زادت القوة المؤثرة في جسم كتلته أكبر فلا ينتج عنه زيادة في التسارع.

الشّكل 3.4
عند ابتعاد الصاروخ أكثر عن الأرض تقلّ قوة الجاذبية بينهما.

ثابت الجذب الكونيّ، G

يمكن التعبير عن شكل التناسب في قانون الجذب الكوني بمعادلة دقيقة عندما نعرف ثابت التناسب G. ويسمى G ثابت الجذب الكوني. وعليه، تكون المعادلة

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

أي أنّه يمكن إيجاد قوة الجاذبية بين جسمين بضرب كتلتيهما، ثمّ القسمة على مربع المسافة بين مركزيهما، ثمّ ضرب النتيجة في الثابت G. إنّ قيمة G هي القوة بين زوج من الأجسام كتلة كلّ منهما 1 كجم، ويبعد أحدهما عن الآخر مسافة 1م: 0.0000000000667 نيوتن. وتشير هذه القيمة الصغيرة جدًا إلى أنّ القوة ضعيفة للغاية. باستخدام نظام الوحدات الدولي والشكل العلمي للثابت G*

$$G = 6.67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$$

ترشد المعادلات طالب الفيزياء إلى فهم كيفية ارتباط المفاهيم بعضها ببعض، كما ترشد النوتة الموسيقية الموسيقار في عزفه.

من الأهمية بمكان أن نذكر أنّ نيوتن تمكن من حساب حاصل ضرب G وكتلة الأرض ولكن ليس أيّ منهما وحده. لقد كان العالم الفيزيائي الإنجليزي هنري كافندش (Henry Cavendish) أول من حسب G وحدها في القرن الثامن عشر، أي بعد قرن من عصر نيوتن.

تربط G قوة الجاذبية بالكتلة والبعد كما تربط π محيط الدائرة بقطرها.

* لاحظ الدور المختلف للكتلة هنا. حتى الآن، تعاملنا مع الكتلة على أنّها مقياس للقصور، وتسمّى الكتلة القصورية. والآن، نرى أنّ الكتلةَ مقياسٌ لقوة الجاذبية، وتسمّى في هذا السياق كتلة الجاذبية. وقد ثبت بالتجربة أنهما متساويتان. ومن ناحية مبدئيّة، فإنّ التكافؤ بين الكتلتين القصورية والجاذبية هو أساس نظرية النسبية العامة لأينشتاين.

** تعتمد القيمة العددية للكمية G على وحدات القياس التي نختارها للكتلة، والمسافة والزمن. تستخدم الوحدات التالية في النظام الدولي: الكيلوجرام للكتلة، والمتر للمسافة، والثانية للزمن. وقد شُرح الترميز العلمي في الملحق أ في نهاية هذا الكتاب.

حَسبَ كافندش G بقياس القوة الضعيفة جدًّا بين كتل صغيرة جدًّا باستخدام ميزان ذي حساسيّة فائقة. ولاحقًا، اكتشف العالم فيليب جولي Phillip Jolly طريقة أبسط، وذلك بربط قارورة كروية من الزئبق بإحدى كفتي الميزان الحسّاس (الشّكل 4.4). ولكي يتزن الميزان؛ توصل إلى أنه يجب وجود كرة كتلتها 6 أطنان من الرّصاص أسفل قارورة الزّئبق. تمّ قياس قوة الجاذبية بين كتلتين بمعرفة الوزن اللازم ووضعه على الكفة المعاكسة للميزان؛ وذلك للحصول على الاتزان من جديد. إنّ الكميات m_1، وm_2، وF، و d جميعها معروفة. وعليه، يمكن حساب قيمة الثابت G كما يلي:

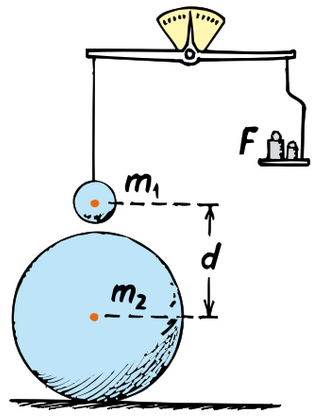
$$G = \frac{F}{\left(\frac{m_1 m_2}{d^2}\right)} = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N/kg^2/m^2} = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}$$

إنّ قوة الجاذبية هي القوة الأضعف بين القوى الأربع الأساسية المعروفة. (القوى الثلاث الأخرى هي القوة الكهرومغناطيسية، وشَكلا القوى النووية). ويمكننا تحسس الجاذبية فقط عندما تكون الكتل المتعلقة بالقوة شبيهة بكتلة الأرض. إذا كنت تجلس في سفينة كبيرة، فإنّ قوة التجاذب بينكما تكون ضعيفة جدًّا بالنسبة إلى القياسات العادية. في حين أنّ القوة بينك وبين الأرض يمكن قياسها؛ إنّها وزنك. إنّ وزنك لا يعتمد على كتلتك فقط. وإنما على موقعك من مركز الأرض أيضًا؛ فكتلتك على قمة جبل هي نفسها كما في أيّ مكان آخر. ولكن وزنك يكون أقلّ قليلًا عما هو عند مستوى سطح البحر. ويعزى هذا إلى أنّ بُعْدَك عن مركز الأرض يكون أكبر عندما تكون على قمة الجبل.

وعند معرفة قيمة G فإنه يمكن حساب كتلة الأرض بسهولة. إنّ القوة التي تؤثر بها الأرض في كتلة 1كجم على سطحها هي 9.8 نيوتن. وأنّ المسافة بين 1كجم ومركز الأرض، أي نصف قطر الأرض، هي 6.4x106 م. وهكذا، من العلاقة $F = G(m_1 m_2/d^2)$، حيث m_1 هي كتلة الأرض.

$$9.8\ \mathrm{N} = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}\ \frac{1\ \mathrm{kg} \times \mathrm{m_1}}{(6.4 \times 10^6\ \mathrm{m})^2}$$

ومن هذه، يمكن حساب كتلة الأرض m_1 التي تساوي $m_1 = 6 \times 10^{24}\ \mathrm{kg}$ لقد تمّ أول حساب لقيمة G في القرن الثامن عشر، وقد أثار ذلك الناس حول العالم. حيث أعلنت الصحف في كلّ مكان ذلك الاكتشاف، وأنّ شخصا ما قام بقياس كتلة كوكب الأرض. لقد كانت الإثارة في أنّ صيغة نيوتن تعطي كتلة محتوى الكوكب مع المحيطات والجبال جميعها، وحتى الأجزاء الداخلية التي لم تكتشف بعد. لقد تمّ حساب قيمة G وكتلة الأرض في حين أنّ جزءًا كبيرًا من سطح الأرض لم يكن قد اكتشف بعد.



الشّكل 4.4

طريقة فون جولي (Phillip von Jolly) لقياس G. تتجاذب كتلتا الكرتين، m_1، و m_2 بعضها إلى بعض بقوة F تساوي الوزن اللازم لإعادة الميزان.

لا يمكن تغيير شيء واحد فقط! كلّ معادلة تذكّرنا بهذا؛ لا يمكن تغيير أيٍّ من حدود جانبي المعادلة دون التأثير في الجانب الآخر منها.

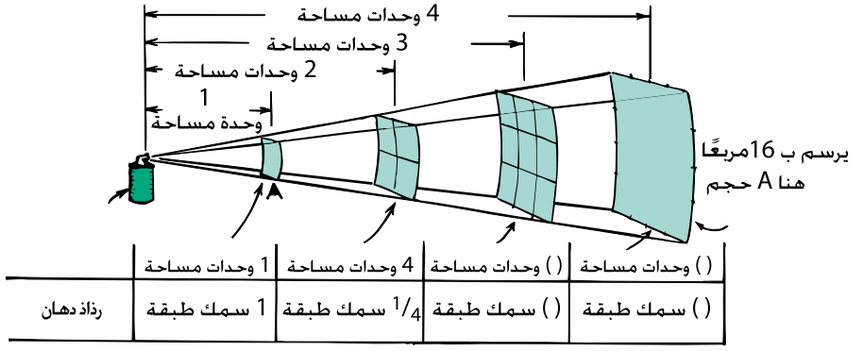
2.4 الجاذبيّة والمسافة

قانون التّربيع - العكسيّ

إذا أردنا الفهم الأفضل لكيفية ضعف الجاذبية مع المسافة؛ فعلينا مشاهدة كيفية انتشار الطلاء من المِرشّ مع زيادة المسافة. (الشكل 5.4). افترض أننا وضعنا المِرشّ في مركز كرة نصف قطرها 1م، وأنّ رشّة الطلاء وصلت مسافة 1م لكي تنتج بقعة طلاء سمكها 1مم. كيف يصبح سمك البقعة عند مضاعفة نصف قطر الكرة أي 2 م؟ إذا كانت كمية الطلاء نفسها قطعت مسافة 2 م في خطوط مستقيمة، فإنها ستنتشر في بقعة لها ضعف الطول وضعف العرض. وعليه، فإنّ الطلاء سينتشر على أربعة أضعاف هذه المسافة. ولهذا فإنّ سُمك طبقة الطلاء يكون $\frac{1}{4}$ مم فقط.

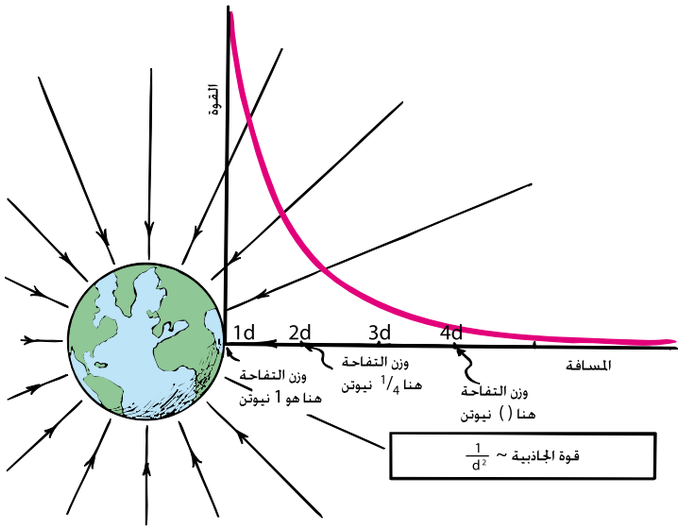
من الشكل (5.4) هل تمكنت من ملاحظة أنه في حالة الكرة التي نصف قطرها 3م يكون سمك بقعة الطلاء $\frac{1}{9}$ مم فقط. وهل تمكنت من ملاحظة أنّ سمك طبقة الطلاء يقلّ بزيادة مربع المسافة؟ هذا هو **قانون التّربيع - العكسيّ (Inverse - Square Law)**. ينطبق قانون التربيع العكسي على الجاذبية وعلى الظواهر جميعها التي ينتشر فيها تأثير مصدر مركزي بشكل متجانس خلال الفراغ المحيط، مثل: المجال الكهربائي حول إلكترون معزول، والضّوء الصادر من فتيل أو عود ثقاب، والإشعاع من قطعة يورانيوم، وكذلك الصوت الناتج عن ألم التّشنّج.

القول إنّ F تتناسب عكسيًّا مع مربع d يعني، مثلًا، إذا زادت d إلى ثلاثة أضعاف، فإنّ F تنقص أصغر – مضروبة في 9.



الشّكل 5.4
قانون التّربيع العكسيّ. ينتقل رذاذ الطلاء قطريًّا مبتعدًا عن فوهة المرشّ في خطوط مستقيمة. وكالجاذبية، فإنّ الـشّدّة تخضع لقانون التّربيع العكسيّ.

إنّ قانون نيوتن في الجاذبية - كما كتب - يطبق على أجسام كروية. وكذلك على أجسام غير كروية بعيدة بعضها عن بعض. وأنّ عبارة المسافة d في معادلة نيوتن هي المسافة بين مراكز كتل الأجسام. لاحظ في الشّكل (6.4) أنّ التفاحة التي تزن عادة 1 نيوتن على سطح الأرض. فإنها تزن $\frac{1}{4}$ هذه القيمة عندما يتضاعف ارتفاعها عن مركز الأرض. وكلّما كان ارتفاع موقع جسم عن سطح الأرض أكبر كان وزنه أقلّ: فالطفل الذي يزن 300 نيوتن عند سطح البحر. ويزن 299 نيوتن عند قمة إفرست. وعند الارتفاع إلى الأعلى تكون القوة أقلّ. كما أنه عند ارتفاعات عالية جدًّا. تقترب قوة الجاذبية الأرضية من الصفر. ولكنها لا تساويه. حتى لو انتقلت إلى مسافات بعيدة في الكون فسيبقى أثر الوطن (الأرض) يجذبك إليه. ولكن يمكن لهذا الأثر أن يضعف بوجود آثار جاذبية ناجمة عن أجسام أخرى قريبة أو ذات كتل أكبر. إلا أنّ ذلك يظلّ موجودًا. إنّ التأثير الجذبيّ لأيّ جسم ماديّ سواء أكان صغيرًا أم بعيدًا يؤثر خلال الفضاء كاملا.



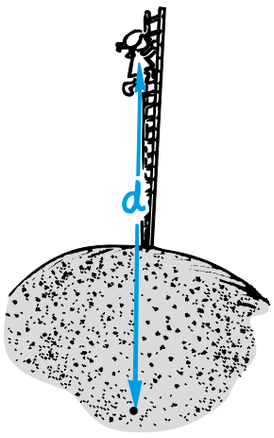
الشّكل 6.4
يعتمد وزن التفاحة على بعدها عن مركز الأرض.

■ نقطة فحص

1. ما مقدار النقصان في قوة الجاذبية بين جسمين عندما تتضاعف المسافة بين مركزيهما: مرّة واحدة؟ ثلاث مرات؟ عشر مرّات؟
2. افترض وجود تفاحة على قمة شجرة. وتسحب بقوة جاذبية من الأرض تساوي 1 نيوتن. إذا تضاعف طول الشجرة فهل تصبح قوة الجاذبية $\frac{1}{4}$ ما كانت عليه فقط ؟ دافع عن إجابتك.

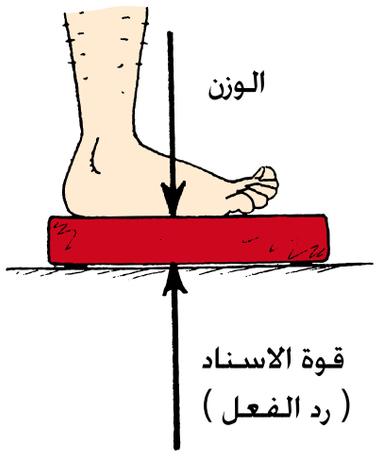
هل كانت هذه إجابتك؟

1. تقلّ إلى: الرّبع. التّسع. واحد في المئة من القيمة الأصلية.
2. لا؛ لأنّ التفاحة عندما تكون على قمة شجرة ذات ارتفاع مضاعف فهذا لا يعني أنّ ارتفاعها قد تضاعف عن مركز الأرض. ولكي يقلّ الوزن إلى $\frac{1}{4}$ قيمته؛ فإنه يجب أن يساوي ارتفاع الشجرة نصف قطر الأرض (6،370 كم). ولكي ينقص وزن جسم ما بنسبة 1%؛ يجب أن يرتفع 32كم – تقريبًا أربعة أضعاف ارتفاع قمة إفرست. عمليّا. نحن نتجاهل تأثيرات التغير في الارتفاع.



الشّكل 7.4
يتناقص وزن الشخص (ليس كتلته) بازدياد بُعده عن مركز الأرض.

3.4 الوزن وانعدامه



الشّكل 8.4
عندما تقف على ميزان فإنّ قوتين تؤثران فيه؛ الأولى، قوة الجاذبية إلى الأسفل (وزنك العادي، *mg*، إنْ لم يكن هناك تسارع) والأخرى، قوة إسناد إلى الأعلى. تضغط هاتان القوتان على جهاز شبه زنبركيّ داخل الميزان والمعاير ليشير إلى الوزن.

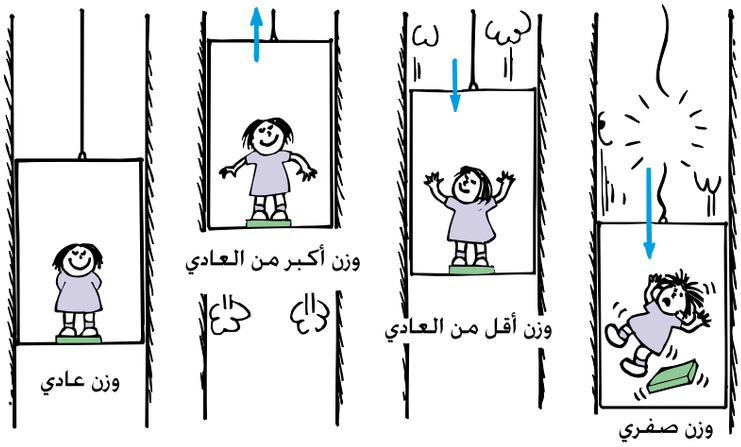
عندما تضع قدمك على ميزان حمام فإنك عمليًّا تضغط على زنبرك داخله. وعندما يتوقف مؤشره فإنّ قوة مرونة الزّنبرك المضغوط تعادل قوة الجاذبية بينك وبين الأرض؛ لا شيء يتحرك، لأنك والميزان في حالة اتزان سكونيّ. وتتم معايرة المؤشر بحيث يظهر **وزنك**. إذا وقفت على ميزان داخل مصعد متحرك، فستجد تغيرات في وزنك: فإذا كان المصعد يتسارع نحو الأعلى، فإنّ الزّنبرك داخل الميزان يكون مضغوطًا أكثر. وعليه تكون قراءة وزنك أكبر. أما إذا كان المصعد يتسارع نحو الأسفل فيكون انضغاط الزّنبرك أقلّ، لذا تكون قراءة وزنك أقلّ. ولكن إذا انفصلت حاملات المصعد بحيث يسقط بشكل حرّ فإنّ قراءة الميزان تكون صفرًا. ووفقا لقراءة الميزان، فإنك **عديم الوزن**. فهل حقيقة أنك عديم الوزن؟ يمكننا الإجابة عن هذا السؤال فقط، إذا اتفقنا على مايعنيه *مفهوم الوزن*.

الشّكل 9.4
كلاهما عديم الوزن.

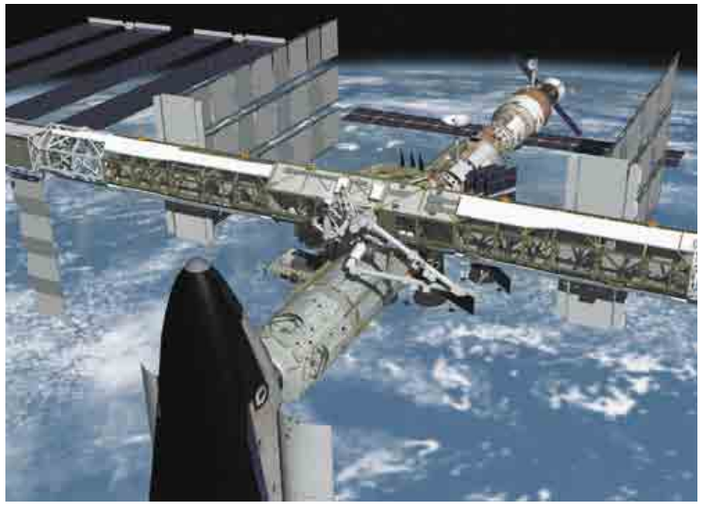
في الفصل الأول، اعتبرنا أنّ وزن جسم ما هو القوة المؤثرة فيه من الجاذبية. عندما يتّزن جسم على سطح صلب، فإنّ الوزن يظهر بقوة الدّفع. أما إذا علّق بحبل، فإنه يظهر بقوّة الشّدّ. وفي كلتا الحالتين بانعدام وجود تسارع، فإنّ الوزن يساوي *mg*. في المساكن المستقبلية المتخيَّلة التي تدور في الفضاء، فإنّ المحيط يؤثّر كطارد مركزيّ هائل دون أخذ الجاذبية في الحسبان. وهكذا فإنّ التعريف الشّائع للوزن هو أنّه القوة المؤثرة ضد السّطح الداعم، أو الحامل للجسم، أو ميزان الوزن. ووفق هذا التعريف، فإنك تكون ثقيلا كما تشعر؛ في مصعد يتسارع نحو الأسفل، فإنّ قوّة الدفع من السّطح تكون أقلّ. وعليه، يكون وزنك أقلّ. ولكن إذا كان المصعد ساقطًا بشكل حرّ، فإنّ وزنك يكون صفرًا (الشّكل 10.4). حتى في حالة انعدام الوزن هذه، فإنّ قوة الجاذبية لا تزال تؤثر فيك بحيث تسبب تسارعك نحو الأسفل. ولكن في هذه الحالة، لا تبدو الجاذبية كالوزن؛ بسبب عدم وجود قوة دفع من السّطح.

إنّ رواد الفضاء في مدارهم لا يكونون تحت تأثير قوة دعم، بل يكونون في حالة انعدام وزن مستمرة. إنّهم يعانون أحيانًا ما يسمى بمرض الفضاء حتى يعتادوا على حالة مستمرة من انعدام الوزن، فهم في حالة سقوط مستمر في مدارهم.

تهيّىء محطة الفضاء الدولية (ISS) المبينة في الشّكل 11.4 بيئة انعدام وزن. إنّ هذه المحطة، ومستلزماتها، ورواد الفضاء جميعهم يتسارعون في اتجاه الأرض بتسارع أقلّ بعض الشّيء من $1g$ بسبب موقعهم المرتفع عن سطح الأرض. وهذا التسارع غير ملموس على الإطلاق. وبالنسبة إلى المحطة، فإنّ رواد الفضاء يتعرضون لتسارع g = صفرًا. وهذا ما يسبب فقدان بعض من قوة العضلات على المدى البعيد. ويعمل كذلك على تَغيُّرات ضارة في الجسم. أما مرتادو الفضاء في المستقبل، فإنّهم لا يحتاجون إلى التعرض لحالة انعدام الوزن هذه. السكان الذين يدورون بتكاسل كما تدور عجلات ضخمة أو أكياس مربوطة بنهاية حبل مشدود سيحلّون مكان مرتادي السفينة الفضائية الحالية الذين لايدورون عمليّا. يُزوِّد الدوران قوة دعم ووزن أيضًا.



الشّكل 10.4
يساوي وزنُك القوةَ التي تضغط بها على الأرضية. إذا تسارعت الأرضية إلى أعلى أو إلى أسفل، فإنّ وزنك يتغير (ومع ذلك، بقيت قوة الجاذبية mg التي تؤثر فيك كما هي).



الشّكل 11.4
يختبر الأشخاص وتجهيزات السّقالات في هذا المختبر باستمرار انعدام الوزن. إنهم في سقوط حرّ حول الأرض. هل تؤثر قوة الجاذبية فيهم؟

لا يصاب سكان محطة الفضاء الدائرة بالدّوار في أثناء دورانهم؛ لأنّ محيطهم يدور معهم (إلا إذا نظروا خارج النافذة).

نقطة فحص

بأيّ شكل يمكن فهم الانسياق في الفضاء بعيدًا عن الأجسام السّماويّة كما في حالة الانزلاق على السّلّم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

في كلتا الحالتين، فإنك تتأثر بحالة انعدام وزن. إنّ الانسياق في الفضاء السّحيق يجعلك تستمر في حالة انعدام الوزن بسبب عدم وجود قوة مرئيّة تؤثّر فيك. أمّا في حالة الانزلاق على السّلّم فإنّك تكون للحظة في حالة انعدام وزن؛ لأنّ فقدان قوة الدّعم يكون للحظة أيضًا.

ليس لرواد الفضاء وزن داخل عربة الفضاء التي تدور، مع أنّ قوة الجاذبية بينهم وبين الأرض أقلّ قليلًا منها على سطح الأرض.

4.4 الجذب الكونيّ

نعرف جميعًا أنّ الأرض كروية. ولكن السّؤال هو: لماذا هي كروية؟ والجواب هو: بسبب الجاذبية. كلّ شيء يجذب كلّ شيء آخر. وهكذا فإنّ الأرض يجذب بعضها بعضًا قدر الإمكان! أي رُكن من أركان الأرض سُحب نحو الداخل بفعل الجاذبية بحيث أصبحت كلّ أجزاء الأرض على مسافات ثابتة من مركز الجاذبية. وهذا يجعلها كروية. وهكذا فإنّنا نرى من قانون الجاذبية أنّ الشّمس، والقمر، والأرض تكون كرويّة لأنها يجب أن تكون هكذا (على الرّغم من أنّ تأثير الدّوران يجعلها بيضويّة الشّكل تقريبًا).

إذا كان كلّ شيء يسحب كلّ شيء آخر فإنّ الكواكب يسحب بعضها بعضًا. إنّ القوة التي توجّه كوكب المشتري على سبيل المثال ليست القوة المؤثرة من الشّمس فقط ؛ بل هناك قوى سحب غيرها من الكواكب الأخرى. ويعدّ تأثير هذه القوى بسيطًا مقارنة بتأثير الشّمس ذات الكتلة الأضخم. ومع ذلك يبقى تأثير الكواكب الأخرى موجودًا. عندما يكون كوكب زحل قريبًا من المشتري، فإنّ قوة سحبه تشوّه مسار المشتري الرّتيب. كلا الكوكبين "يتذبذبان" حول مساريهما المتوقعين. وتسمّى القوى بين الكواكب التي تسبب هذا التذبذب *اضطرابات*. وفي عام 1840م دُرس الكوكب الذي اكتشف متأخرًا من حيث الوقت ألا وهو كوكب أورانوس، حيث تبين أنّ انحرافه عن مساره لا يمكن تفسيره بالاضطرابات الموجودة في الكواكب الأخرى المعروفة كلّها. وقد يعزى هذا إلى أنّ قانون الجاذبية ناقص عند هذه المسافة البعيدة جدًّا عن الشّمس، أو أنّ الكواكب الثّمانية غير المعروفة هي التي أنتجت هذا الاضطراب في مدار أورانوس.

افترض كلّ من البريطاني ج آدمز (J. C. Adams) والفرنسي أوربان ليفيرير (Urbain Leverrier)، صحّة قانون نيوتن، وأجرى كلّ منهما حساباته منفردا مع الأخذ في الحسبان وجود الكواكب الثّمانية الأخرى. أرسل آدمز رسالة إلى مرصد جرين وتش (Greenwich) في إنجلترا، بالتزامن مع رسالة أرسلها ليفيرير إلى مرصد برلين في ألمانيا، حيث اقترحا مساحة محددة من السّماء للاستقصاء عن كوكب جديد. لقد كانت الاستجابة لطلب آدمز متأخرة بسبب سوء الفهم في جرين وتش، في حين قوبل طلب ليفيرير بالاهتمام مباشرة ؛ اكتشف الكوكب نبتون في الليلة ذاتها!

لمعلوماتك

- تشحن المنطقة المحيطة بجميع الأجسام ذات الكتل بمجال جاذبية. وبالمثل تكون المنطقة المحيطة بالمغناطيس مشحونة بالمجال المغناطيسي وكذلك المنطقة الموجودة حول شحنة كهربائية تكون مشحونة بمجال كهربائي.

لمعلوماتك

■ بعد التأكّد من أنّ الأرض لم تعد مركزا للكون، افترض أنّ كلّا من الجنس البشري والأرض تقلصت أهميتهما بحيث لم ينظر إليهما على أنهما متميزان. وعلى النقيض من هذا، فقد أشارت الكتابات في ذلك العصر إلى أنّ معظم الأوربيين ينظرون إلى البشر على أنهم قذرون وآثمون؛ بسبب تدني موقع الأرض بعيدًا عن الجنّة، وجهنم في مركزها. ولم ينظر إلى البشر باحترام ونبل إلا عندما نُظر إلى الشّمس بإيجابيّة، وأخذت موقعًا مركزيًّا. عندئذ أصبحنا متميزين باعترافنا أننا لسنا متميزين!

إنّ متابعة مسار كلٍّ من أورانوس ونبتون أسهمت في اكتشاف بلوتو عام 1930م من مرصد لويل Lowell في أريزونا. ومهما كان العلم الذي تعلمته في المرحلة الابتدائية، فإنّ بلوتو لم يعد كوكبنا. وفي عام 2006م صُنّف هذا الكوكب رسميًّا على أنه كوكب قزم. وهناك أجسام أخرى حجمها كحجم بلوتو تم اكتشافها إلى جانب نبتون*. يحتاج بلوتو إلى 248 سنة لإتمام دورة حول الشّمس. ولهذا لا يمكن لأحد رؤيته مرة أخرى في المكان الذي اكتشف فيه حتى عام 2178.

ويشير دليل حديث إلى أنّ الكون يتمدّد ويتسارع خارجًا مدفوعًا *بالطاقة المعتمة* المضادة للجاذبية، والتي تشكّل حوالي 73% من الكون. أمّا الجزء الآخر من الكون والذي نسبته 23%، فإنّه يتشكّل من جسيمات غريبة لم تُكتشف بعد، ألا وهي المادة المعتمة. في حين أنّ المادة العادية، والنجوم، وما بقي من الكون تشكّل نحو 4% فقط. لقد تمّ التّأكّد من مفهوم الطاقة المعتمة والمادة المعتمة في نهاية القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين. وتمّ تقدير المظهر الحالي للكون وتصوره من خلال ملاحظات نيوتن ومَنْ كان في عصره.

أضف إلى ذلك، أن بعض النّظريّات ذات دور مهم في العلوم والحضارة، كالدور الذي قامت به نظرية نيوتن في الجاذبية تمامًا. إنّ النجاحات التي توصّل إليها نيوتن تزامنت مع حركة التنوير. ولقد أظهر نيوتن من خلال الملاحظة والبرهان أنه لا يمكن للناس الإحاطة بكل الكون الفيزيائيّ. إنّ ما يصعب فهمه هو أنّ الأقمار، والكواكب، والنجوم، والمجرات جميعها ينطبق عليها القانون البسيط الآتي:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

تعدّ الصيغة الرياضية البسيطة لهذا القانون أحد الأسباب الرّئيسة التي أسهمت في تقدّم العلوم لاحقا؛ لأنها أعطت الأمل في إمكانية وصف الظواهر الكونية الأخرى بقوانين كونية بسيطة مشابهة.

لقد عزّز هذا الأمل تفكير العديد من العلماء، والأدباء، والكتّاب، والفلاسفة في عام 1700م. ومن هؤلاء الفيلسوف الإنجليزي جون لوكي الذي اقتنع بأنّ الملاحظات والتبريرات التي قدّمها نيوتن هي أفضل حكم ومرشد للأشياء جميعها. كما بيّن لوكي أنّ كلّ ما في الطبيعة، وحتى المجتمع يجب أن يبحث من أجل اكتشاف أيّ قوانين طبيعية قد تكون موجودة. وباستخدام الفيزياء النيوتونية للتفسير، فقد نَمذَجَ لوكي ومن تبعه نظامًا حكوميّا أوجد أتباعًا له في المستعمرات البريطانية الثلاث عشرة عبر الأطلنطي. وقد بلغت هذه الأفكار الذروة في إعلان استقلال الولايات المتحدة الأمريكية ودستورها.

■ 5.4 حركة المقذوفات

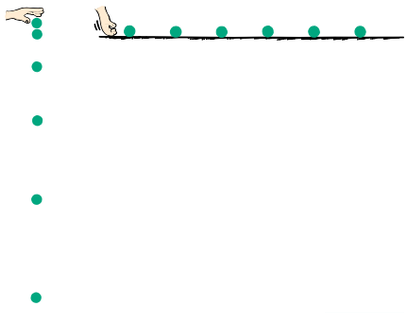
إنّ الحجر المقذوف بزاوية نحو الأعلى يتحرك بخطّ مستقيم دون وجود جاذبية. ولكن في وجود الجاذبية، فإنّ المسار سينحني. يسمى الحجر المضروب، أو قذيفة المدفع، أو أيّ جسم مقذوف بأيّ شكل ويستمر في حركته تحت تأثير قصوره الذاتي **مقذوفًا**. بالنسبة لجنود المدفعية في القرون السابقة، فقد كان المسار المنحني للمقذوفات يبدو معقّدًا جدًّا. أمّا في الوقت الحاضر فإنّ هذه المسارات بسيطة بشكل مدهش إذا نظرنا إلى مركبات السرعتين الأفقية والعمودية بشكل منفصل.

* قواوور (*Quaoar*) له قمر، إيريس (Eris) أكبر 30% من بلوتو. الجسم 2003EL 61 له قمران. شيئان آخران هما سيدنا (Sedna) وبوفي (Buffy) اكتشفا عام 2005. وحجمهما يقارب حجم بلوتو.

إنّ مُركّبة السّرعة الأفقية للمقذوف ليست أعقد من السّرعة الأفقية التي تتدحرج بها كرة البولنج بشكل حرّ على مسارها. وبإهمال قوة الاحتكاك المعيقة للحركة، فإنّ الكرة لا تتأثر بأيّ قوة أفقيّة. وعليه، ستكون سرعتها الأفقية ثابتة. تتدحرج الكرة تحت تأثير قصورها الذاتي بحيث تقطع مسافات متساوية في فترات زمنية متساوية (الشكل 12.4، الأعلى). إنّ المركبة الأفقية لحركة المقذوف هي تمامًا كحركة كرة البولنج في مسارها.

إنّ المركّبة العموديّة لحركة المقذوف في المسار المنحني كحركة الجسم السّاقط بشكل حرّ كما تم وصفه في الفصل الأول. وهذه المركبة هي نفسها تمامًا كما في حالة السّقوط الحرّ عموديًّا نحو الأسفل، كما يظهر في الجزء الأيسر من الشّكل 12.4. كلّما كان الجسم السّاقط أسرع كانت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن أكبر. أو إذا قذف الجسم نحو الأعلى، فإنّ المسافة العمودية المقطوعة في وحدة الزمن تتناقص مع زمن صعوده.

إنّ المسار المنحني للمقذوف هو تراكب حركتين: أفقيّة وعموديّة. وإنّ السّرعة هي كمية متجهة، ومتجه السّرعة عند زاوية ما له مركبة أفقيّة وأخرى عموديّة كما يتضح من الشّكل 13.4. وعندما تكون مقاومة الهواء صغيرة بحيث يمكن إهمالها تكون مركبتا السّرعتين الأفقيّة والعموديّة مستقلتين تمامًا إحداهما عن الأخرى. وإنّ دمج تأثيرهما ينتج مسار المقذوف.

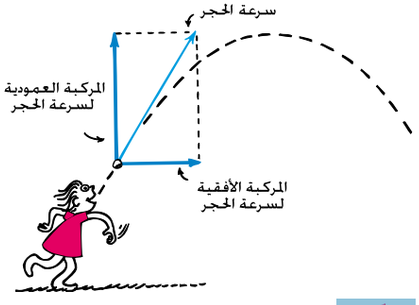


الشّكل 12.4
إلى اليسار، تمّ إسقاط الكرة، وهي تتسارع إلى الأسفل، وتقطع مسافة رأسية أكبر في كلّ ثانية. وإلى اليمين، تتدحرج الكرة على سطح أفقيّ، وسرعتها ثابتة بسبب عدم وجود قوة جاذبية تؤثّر أفقيًّا.

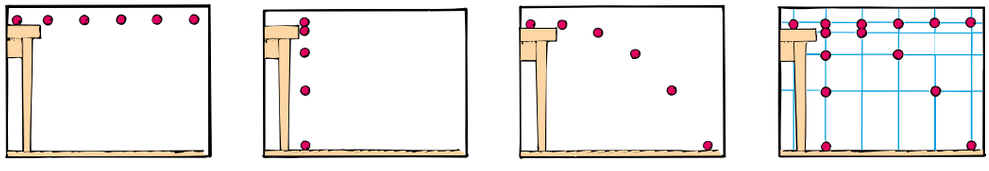
مقذوف يُطلق أفقيًا

تم تحليل حركة مقذوف بشكل رائع، كما في الشّكل 14.4 الذي يوضح محاكاة وميض متكرر لموقع كرة تتدحرج من حافة طاولة. ادرسها جيدًا بتمعن؛ لأنها تحوي كمًّا كبيرًا من المعلومات الفيزيائيّة. إلى يسار الشّكل، نلاحظ المواقع المتتالية في الفترات الزمنية المتساوية للكرة دون أيّ تأثير للجاذبية. في حين يظهر تأثير المركبة الأفقيّة لحركة الكرة فقط. وبعد ذلك، نلاحظ الحركة العموديّة دون المركبة الأفقيّة. لقد تمّ تحليل المسار المنحني في المنظر الثالث جيّدًا آخذين في الحسبان مركبات الحركتين الأفقيّة والعموديّة بشكل مستقل. وهنالك أمران مهمان جديران بالاهتمام؛ الأول عدم تغيّر المركبة الأفقيّة لسرعة الكرة خلال سقوطها، فالكرة تقطع المسافة الأفقيّة نفسها خلال الفترات الزمنيّة المتعاقبة نفسها، ويعزى ذلك إلى عدم وجود مركبة أفقيّة للجاذبية. وبما أنّ الجاذبية تؤثر نحو الأسفل فقط، فإنّ التّسارع يكون *نحو الأسفل* فقط أيضا. أمّا الأمر الآخر، فهو أنّ المواقع العموديّة تتباعد أكثر مع الزمن. لاحظ أنّ انحناء مسار الكرة هو تراكب الحركتين: الأفقيّة التي تبقى ثابتة، والعموديّة التي تخضع للتّسارع الناتج عن الجاذبيّة.

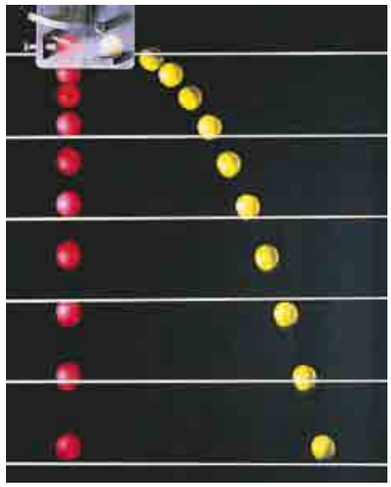
إنّ مسار المقذوف المتسارع فقط في الاتجاه العمودي، والمتحرك بسرعة أفقية ثابتة هو مسار **قطع مكافئ (Parabola)**. عندما تكون مقاومة الهواء صغيرة بما فيه الكفاية (بحيث يمكن إهمالها) كما في حالة جسم ثقيل دون سرعة كبيرة، فإنّ المسار يكون قطعًا مكافئًا.



الشّكل 13.4
المركبتان العموديّة والأفقيّة لسرعة الحجر.



الشّكل 14.4
صور تحاكي حركة كرة مضاءة بمنظار ضوئيّ (ستروبوسكوب).



الشّكل 15.4
صورة بمنظار ضوئيّ لكرتي جولف تطلقان في آن واحد بآلية تسمح لإحدى الكرتين بالسّقوط الحرّ عندما تُقذف أفقيًّا.

■ **نقطة فحص**

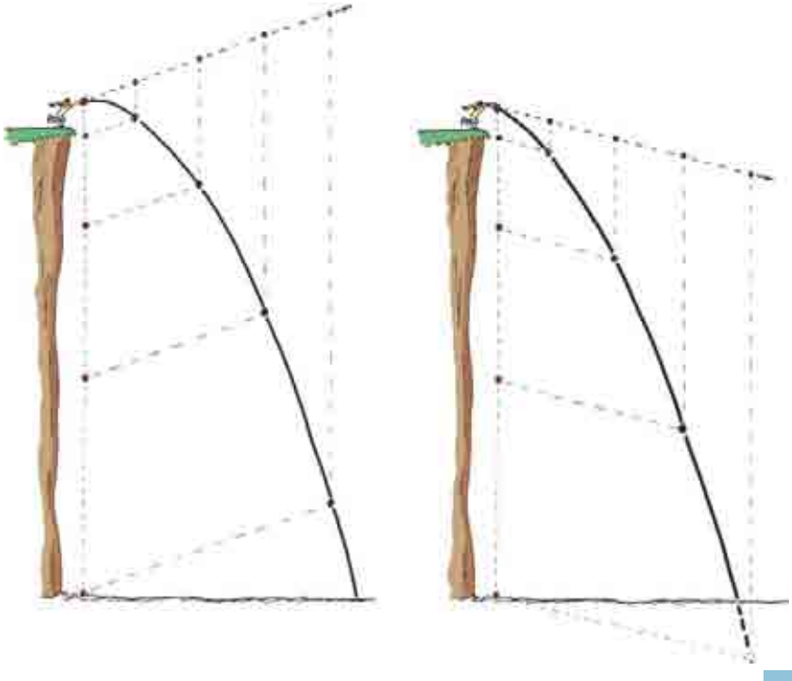
في اللحظة نفسها التي يطلِق فيها مدفع قذيفة أفقيًّا، يُسقِط مدفع آخر قذيفة موجودة عند حافته عموديًّا إلى الأسفل نحو الأرض من السكون. أيّ القذيفتين تصل الأرض أولًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

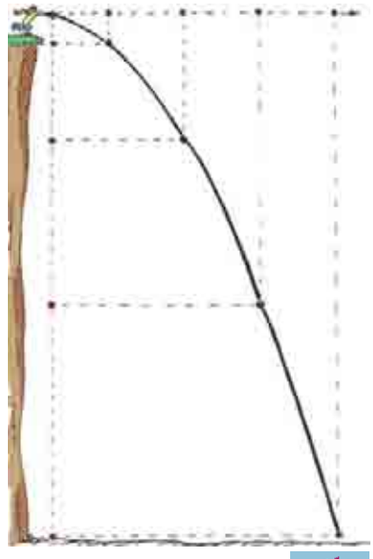
كلتا القذيفتين تصلان الأرض في الوقت نفسه؛ لأنّهما سقطتا من المسافة العمودية نفسها. لاحظ أنّ ذلك يعود إلى مبادئ الفيزياء (الأشكال من 14.4 وحتى 16.4). ويمكننا تبرير ذلك بطريقة مختلفة من خلال السؤال عن أيّ منهما يصطدم بالأرض أولا إذا كان المدفع موجهًا نحو الأعلى بزاوية. وهكذا فإنّ القذيفة التي تسقط تصطدم أولا. أمّا قذيفة المدفع فلا تزال محلّقة في الهواء. وسنفترض الآن أنّ المدفع موجّه *نحو الأسفل*. في هذه الحالة، سنجد أنّ قذيفة المدفع تصطدم أولا. لذا سنلاحظ أنّه في حالة القذف نحو الأعلى فإنّ القذيفة السّاقطة تصطدم أولا. ولكن إذا تمّ القذف نحو الأسفل، فإنّ قذيفة المدفع ستصطدم أولا. هل هنالك زاوية تكون عندها حرارة ضائعة، وعليه تصطدم كلتا القذيفتين بالأرض في الوقت نفسه؟ هل يمكنك ملاحظة حدوث ذلك عندما يكون المدفع أفقيًّا؟

مقذوفات تطلق بزاوية ما

نرى في الشّكل 17.4 مسارات أجسام رُميت بزاوية نحو الأعلى (اليسار)، ونحو الأسفل (اليمين). تُظهر الخطوطُ المستقيمة المتقطعة في أعلى الشّكل المساراتِ المثاليةَ للأجسام بعدم وجود جاذبية. لاحظ أنّ المسافة العمودية التي يقطعها كلّ جسم أسفل مسار الخطّ المستقيم المثالي تكون هي نفسها للفترات الزمنية المتساوية. ولا تعتمد هذه المسافة العمودية على ما يحدث أفقيًّا.



الشّكل 17.4
بغض النظر عما لو أطلقت بزاوية إلى أعلى أو إلى أسفل فإنّ المسافة العموديّة المقطوعة أسفل مسار الخطّ – المستقيم المثالي هي نفسها للأزمان المتساوية.



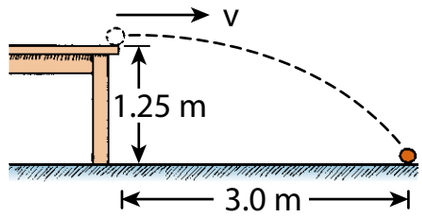
الشّكل 16.4
الخطّ العموديّ المتقطّع في اليسار هو مسار الحجر السّاقط من السكون. أمّا الخطّ الأفقيّ المتقطّع في الأعلى فهو المسار عند عدم وجود جاذبية. في حين يمثّل الخطُّ المنحني المستمر المسارَ الناتج عن الحركتين الأفقيّة والعموديّة معًا.

حساب العلوم الطبيعية

■ **حلّ مسائل**

عينة مسألة 1

تتدحرج كرة كتلتها 1.0 كجم على طاولة مختبر ارتفاعها 1.25م، وترتطم بالأرض على بعد 3 م من قاعدة الطاولة.



(أ) بيّن أنّ الكرة تحتاج إلى زمن 0.5 ث لترتطم بالأرض.

(ب) بيّن أنّ الكرة تترك الطاولة بسرعة 6 م/ث.

الحلّ:

(أ) نريد إيجاد زمن تحليق الكرة في الهواء. بداية، الزمن المستغرق قبل أن تصدم الكرة بالأرض هو الزمن المستغرق نفسه من الكرة الساقطة عموديًّا من السّكون لقطع المسافة y. ويُقال من السّكون؛ لأنها تكون متحركة أفقيًا قبل أن تترك الطاولة، أي أنّ سرعتها الابتدائية العموديّة تساوي صفرًا.

من العلاقة $y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t^2 = \frac{2y}{g}$

ثم $t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{2(1.25\ \text{m})}{10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 0.5\ \text{s}$

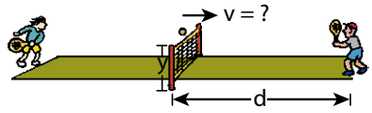
(ب) السرعة الأفقيّة للكرة عند مغادرتها سطح الطاولة باستخدام زمن 0.5 ث هي

$$v_x = \frac{d}{t} = \frac{x}{t} = \frac{3.0\ \text{m}}{0.5\ \text{s}} = 6.0\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

لاحظ أنّ حدود المعادلات تقود إلى الحلّ. ولاحظ أيضًا أنّ كتلة الكرة لا تظهر في المعادلات؛ لذا فهي معلومة غير مطلوبة (تمامًا كلون الكرة).

عينة مسألة 2

تتحرك كرة تنس طاولة أفقيًّا بحيث تكون على وشك ملامسة الشّبكة التي ترتفع مسافة y عن سطح الطّاولة. ولكي تسقط الكرة ضمن حدود الطّاولة، فإنّ الكرة يجب ألا تكون سريعة جدًّا.



(أ) لكي تبقى الكرة ضمن حدود الطّاولة في المسافة الأفقيّة d من أسفل الشّبكة؛ أهمل مقاومة الهواء والأثر الدّورانيّ للكرة، وبيّن أنّ السّرعة القصوى للكرة فوق الشّبكة هي

$$v = \frac{d}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$$

(ب) افترض أنّ ارتفاع الشّبكة هو 1م، وأنّ حدود الطّاولة من أسفل الشّبكة هو 12م. وافترض كذلك أنّ 10 م/ث^2 = g. وبيّن أنّ أقصى سرعة أفقيّة تتحرك بها مباشرة فوق الشّبكة نحو 27 م/ث (60 ميل/ساعة تقريبًا).

(ج) هل تسبب كتلة الكرة أيّ اختلاف؟ وضّح إجابتك.

الحلّ:

(أ) كما في عينة المسألة 1، فإنّ المفهوم الفيزيائي هنا يتضمن حركة مقذوف عند عدم وجود مقاومة هواء؛ حيث إنّ مركبات السّرعتين الأفقيّة والعموديّة لا يعتمد بعضها على بعض. نسأل عن السرعة الأفقيّة. وعليه، يمكننا القول إنّ $g = 10\ \text{m/s}^2$

حيث d المسافة الأفقيّة المقطوعة في الزّمن t. وكما في مسألة العينة الأولى، فإنّ زمن تحليق الكرة t هو نفسه إذا ما أسقطناها من السكون من أعلى الشّبكة عموديًّا مسافة y. وعند مغادرة الكرة الشّبكة حيث تكون على وشك ملامستها- وهذا الموقع للكرة هو أعلى نقطة في مسارها- تكون المركبة العمودية للسرعة صفرًا.

من العلاقة

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t^2 = \frac{2y}{g} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

وعليه، فإنّ $v = \frac{d}{t} = \frac{d}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$.

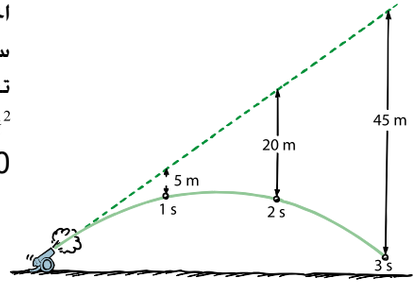
هل يمكنك ملاحظة أنّ الحلّ باستخدام الرموز يوضّح بشكل أفضل أنّ هاتين المسألتين هما ذات المسألة. لقد دُمجت الفيزياء كلّها في الخطوتين أ و ب في عينة المسألة الأولى في الخطوة أ في عينة المسألة الثّانية.

(ب) $v = \frac{d}{\sqrt{\frac{2y}{g}}} = \frac{12.0\ \text{m}}{\sqrt{\frac{2(1.00\ \text{m})}{10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}}$

$= 26.8\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 27\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

(ج) يمكننا ملاحظة أنّ كتلة الكرة (في كلتا المسألتين) لم تظهر في معادلات الحركة. وهذا يشير إلى أنّ الكتلة ليس لها أثر. بالرجوع إلى الفصل الثاني حيث لا أثر للكتلة في السّقوط الحرّ للأجسام، وأنّ كرة التنس هي جسم ساقط سقوطًا حرًّا (كما يكون المقذوف عند إهمال مقاومة الهواء).

ويوضح الشّكل 18.4 مسافات عموديّة محدّدة لقذيفة مدفع مقذوفة بزاوية نحو الأعلى. إذا لم تكن هنالك جاذبية فإنّ قذيفة المدفع تتبع مسار خطّ مستقيم، وهو الموضّح بخطّ متقطع. ولكن لن يحدث ذلك بعدم وجود الجاذبية. إنّ ما يحدث هو أنّ قذيفة المدفع تسقط على نحو متصل أسفل خطّ تخيّليّ حتى تصطدم بالأرض في النهاية. لاحظ أنّ المسافة العموديّة التي تسقطها أسفل أيّ نقطة على الخطّ المتقطع هي المسافة العمودية نفسها التي تقطعها إذا سقطت من السكون، وسقطت خلال الفترة الزمنية نفسها. تعطى هذه المسافة كما عرفت في الفصل الأول بالعلاقة $d = \frac{1}{2}gt^2$ حيث t الفترة الزمنية المستغرقة. وعندما تكون g = 10 م/ث^2 فهذا يعني أنّ $d = 5t^2$.



الشّكل 18.4
من دون جاذبية، سيسير المقذوف في مسار خطّ مستقيم (الخطّ المتقطّع). ولكن بسبب الجاذبية سيسقط المقذوف أسفل هذا الخطّ، وبالمسافة العموديّة نفسها كما لو أنه يسقط من السّكون. قارن المسافات المقطوعة مع تلك المعطاة في الجدول 2.1 في الفصل الأول. (افترض أنّ 9.8 م/ث^2 = g. وهذه المسافات بدقة أكثر هي: 4.9 متر، و19.6 متر، و44.1 متر).

ويمكننا مناقشة هذا بطريقة أخرى اقذف مقذوفًا نحو الأعلى بزاوية، وافترض عدم وجود جاذبية. ستجد بعد بضع ثوانٍ من الزمن أنّ t ستكون عند نقطة محددة على مسار الخطّ المستقيم. لكن، وبسبب الجاذبية، فإنّ ذلك غير ممكن. إذن أين يكون موقع المقذوف؟ الجواب هو مباشرة أسفل هذه النقطة. كم يكون البعد نحو الأسفل؟ الجواب هو $5t^2$ (أو أكثر تحديدًا $4.9t^2$). كيف يكون ذلك؟

■ نقطة فحص

1. إذا قُذفت قذيفة المدفع في الشّكل 18.4 بسرعة أكبر، فكم مترًا تكون قد قطعت أسفل الخطّ المتقطّع مع نهاية الثّانية الخامسة؟
2. إذا كانت مركبة السّرعة الأفقيّة لقذيفة المدفع هي 20 م/ث، فما المدى الأفقيّ المقطوع من القذيفة في خمس ثوانٍ؟

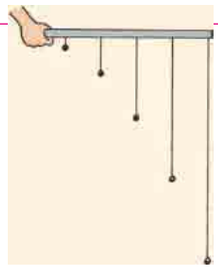
هل كانت هذه إجابتك؟

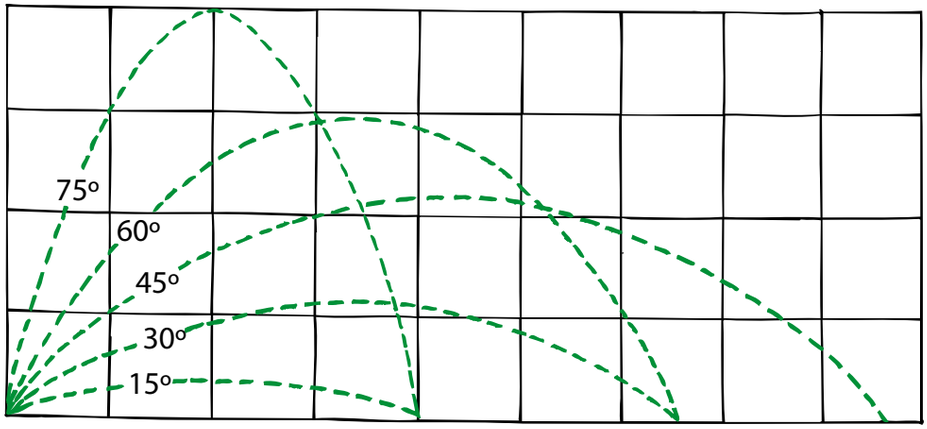
1. المسافة العمودية أسفل الخطّ المتقطّع مع نهاية الثّانية الخامسة هو 125م. انظر المقدار فقط:
[$d = 5t^2 = 5(5)^2 = 5(25) = 125$م].
من الأهمية معرفة أنّ هذه المسافة لا تعتمد على زاوية المدفع. وبإهمال مقاومة الهواء، فإنّ أيّ مقذوف سيسقط مسافة $5t^2$ من الأمتار أسفل النقطة التي يصل إليها عند عدم وجود جاذبية.
2. عند عدم وجود مقاومة هواء، فإنّ قذيفة المدفع تقطع مسافة أفقية 100م
[$d = v_x t = (20$ م/ث$)(5$ ث$) = 100$م] . لاحظ أنه بسبب الجاذبية التي تؤثر عموديًّا نحو الأسفل فقط، فإنّه لا يوجد أيّ تسارع في الاتجاه الأفقيّ. إنّ قذيفة المدفع تقطع مسافات أفقيّة متساوية في فترات زمنيّة متساوية. وهذه المسافة ببساطة حاصل ضرب مركبة السّرعة الأفقيّة في الزمن (وليس $5t^2$ التي تطبّق فقط على الحركة العموديّة تحت تأثير تسارع الجاذبيّة).

نشاطات في العلوم الفيزيائيّة

■ الأيدي على الخرزات المدلّاة

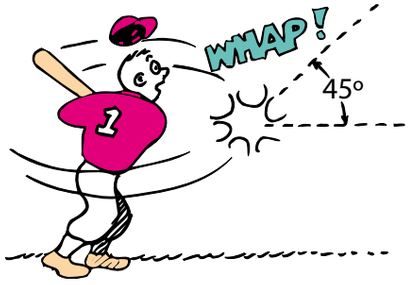
اعمل بنفسك نموذجًا لمسار مقذوف. قسّم مسطرة أو عصا إلى خمسة أجزاء متساوية. علّق في الموقع الأول خرزة بسلك طوله 1 سم كما في الشّكل. وعلّق في الموقع الثاني خرزة بسلك طوله 4 سم. وفي الموقع الثالث، علّق خرزة بسلك طوله 9 سم. أما في الموقع الرابع فعلّق خرزة بسلك طوله 16 سم. وأخيرا علّق في الموقع الخامس خرزة بسلك طوله 25 سم. إذا جعلت العصا أفقيّة، فستحصل على نسخة من الشّكل 16.4. ولكن إذا ثبّتّ العصا بحيث تميل إلى الأعلى بزاوية صغيرة، فستحصل حينئذ على نسخة من الشّكل 17.4 (يسار). أمّا إذا ثبّتّ العصا بحيث تميل نحو الأسفل بزاوية صغيرة، فستحصل عندئذ على نسخة من الشّكل 17.4 (يمين).





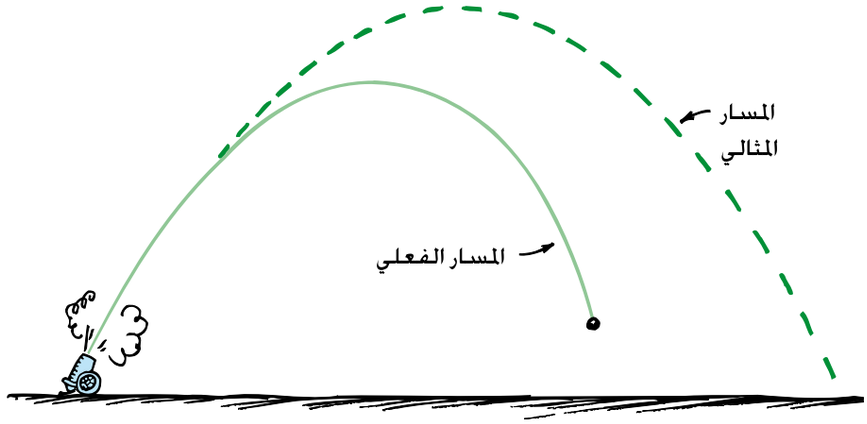
الشّكل 19.4
اختلاف المدى لمقذوف أطلق بالسرعة نفسها وبزوايا قذف مختلفة.

الشّكل 19.4 يوضح مسارات مجموعة مقذوفات، جميعها لها السّرعة الابتدائيّة نفسها، ولكنها تختلف في زوايا الإطلاق. تم إهمال مقاومة الهواء. وعليه، فإنّ مساراتها جميعًا هي قطع مكافئ. لاحظ أنّ هذه المقذوفات تصل ارتفاعات قصوى مختلفة، كما أنّ لكلّ منها مدى أفقيًّا مختلفًا. إنّ الشيء المميز الذي يمكن ملاحظته من الشّكل 19.4 هو أنّه يمكن الحصول على المدى الأفقيّ نفسه من زاويتي إطلاق مختلفتين عندما يكون مجموعهما 90°! وعلى سبيل المثال، إذا قُذف جسم إلى الهواء بزاوية 60°، فسيكون له المدى الأفقيّ نفسه، كما لو تم قذفه بالسّرعة نفسها ولكن بزاوية 30°. وفيما يتعلق بالزاوية الأقلّ، فإنّ الجسم يمكث في الهواء فترة زمنية أقصر. ويكون المدى الأفقيّ أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية قذف الجسم 45°. وكذلك عندما تكون مقاومة الهواء مهملة.



الشّكل 20.4
يتحقق أعظم مدى عند قذف الكرة بزاوية قريبة من 45°.

ينتج أكبر مدى أفقيّ لكرة البيسبول عندما تقذف الكرة بزاوية 45° فوق المستوى الأفقيّ عند إهمال تأثير الهواء. ولكن إذا أُخذت مقاومة الهواء والحركة الدّورانيّة للكرة (الفصل 5) في الحسبان فإنّ أفضل (أكبر) مدى يتحقق عندما تكون زاوية الإطلاق أقلّ من 45°. إنّ كلًّا من مقاومة الهواء والحركة الدّورانيّة تكونان ذات أهمية أكبر لكرة الجولف عندما تُقذف بزاوية أقلّ من 38°؛ حيث يكون المدى الأفقيّ عندها أقصى ما يمكن. أمّا فيما يتعلّق بالمقذوفات الثقيلة كرمي رمح أو قذيفة مدفع، فإنّ تأثير مقاومة الهواء يكون أقلّ على المدى الأفقيّ؛ لأنّ الرّمح ثقيل، ويمسح مساحة مقطع ضئيلة جدًّا في الهواء. وعليه، فإنه يتبع مسار قطع مكافئ مثاليًّا عندما يُقذف. وهذا ينطبق أيضًا على قذيفة المدفع. وفي مثل هذه المقذوفات، فإنّ أقصى مدى أفقيّ لسرعة القذف نفسها يكون عند زاوية قذف 45° تقريبًا (أقلّ قليلًا من هذه الزاوية؛ لأنّ علو المقذوف يكون فوق سطح الأرض). ولكن سرعة القذف ليست متساوية لمثل هذا المقذوف بزوايا مختلفة. في حالة رمي الرّمح أو القذيفة فإنّ جزءًا كبيرا من قوة الإطلاق يذهب في مواجهة الجاذبية؛ كلّما كانت الزاوية أكبر، نقصت سرعة الجسم عندما يُغادر يد القاذف. وهكذا فإنّ الجاذبية تؤدّي دورًا قبل عملية الإطلاق وبعدها. ويمكنك فحص ذلك بنفسك؛ إذا رميت جسمًا ثقيلًا أفقيًّا، ثم عموديًّا، فسترى أنّ الرّمي الأفقيّ كان أسرع كثيرًا من الرّمي العموديّ. وعليه، فإنه يمكن الحصول على أقصى مدى أفقي لرمي مقذوف ثقيل من البشر، وهو قذفه بزاوية أقلّ من 45° - وليس بسبب مقاومة الهواء.



الشّكل 21.4
ينقص مسار المقذوف عن المسار المثالي بوجود مقاومة الهواء.

نظرة أخرى على زمن التّحليق

ذكرنا في الفصل الأول أنّ زمن الطيران خلال القفز لا يعتمد على السرعة الأفقيّة. ونسأل الآن: لماذا؟ الحركتان الأفقيّة والعموديّة مستقلتان إحداهما عن الأخرى. وتطبق قواعد حركة المقذوف على القفز. حينما تصبح قدما اللاعب فوق الأرض فإنّ قوة الجاذبية تؤثر فيه (بإهمال مقاومة الهواء). إنّ زمن التّحليق يعتمد على مركبة السّرعة العموديّة الابتدائيّة فقط. ولكن يمكن أن يُحدث فعل الرّكض فرقًا؛ فعندما يركض القافز فإنّ قوة الإقلاع في أثناء القفز يمكن أن تزداد من أثر ضرب القدمين الأرض (وردّ فعل الأرض على الأقدام) في عملية فعل – ردّ فعل). وهكذا فإنّ زمن التّحليق للقافز الذي يركض غالبًا ما يكون أكبر من زمن التّحليق للقافز من الثّبات. ولكن حينما تصبح قدمًا القافز فوق الأرض.

يُحدَّد زمن التّحليق من مركبة السّرعة العموديّة الابتدائيّة فقط.

نقطة فحص

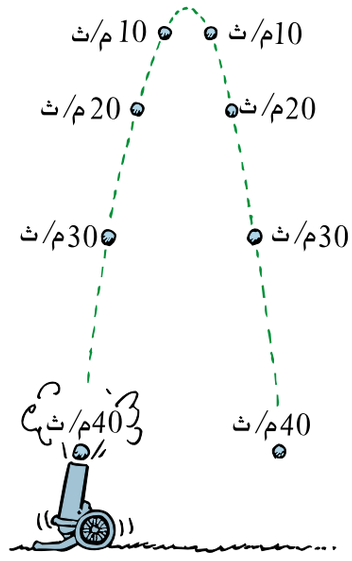
1. إذا قُذفت كرة بيسبول بزاوية في الهواء. فما تسارعاها العموديّ والأفقيّ عندما تكون في الجوّ. مع إهمال مقاومة الهواء؟
2. في أيّ جزء من مسارها تكون سرعة الكرة أقلّ ما يمكن؟
3. خذ كرة بيسبول مقذوفة. وتتبَّع مسار قطع مكافئ في يوم تكون فيه الشّمس عموديّة. قارن سرعة ظلّ الكرة عبر الملعب مع مركبة سرعة الكرة الأفقيّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. التّسارع العموديّ g؛ لأنّ قوة الجاذبية عموديّة. أمّا التسارع الأفقي فهو صفر لعدم وجود قوة أفقيّة تؤثّر في الكرة.
2. إنّ أقلّ سرعة للكرة تكون عند قمة المسار. إذا قذفت عموديًا. فإنّ سرعتها عند القمة تكون صفرًا. وإذا قذفت بزاوية. فستكون مركبة السّرعة العموديّة صفرًا عند القمة. وتبقى فقط مركبة السّرعة الأفقيّة. وهكذا. تكون السّرعة عند القمة هي المركبة الأفقيّة لسرعة الكرة عند أيّ نقطة. هل هذا منطقيّ؟
3. إنهما متساويتان.

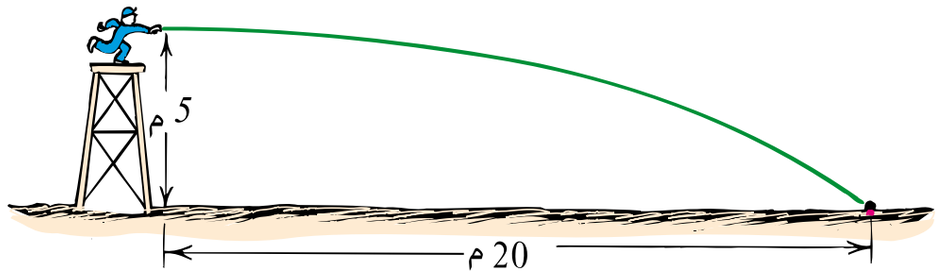
عندما تكون مقاومة الهواء صغيرة بحيث يمكن إهمالها. فإنّ الزّمن اللازم لصعود القذيفة إلى أقصى ارتفاع لها هو الزّمن نفسه الذي تحتاج إليه لترجع إلى مستوى الإطلاق (الشّكل 22.4). ويعزى هذا إلى أنّ التباطؤ الناتج عن الجاذبية والقذيفة صاعدة إلى أعلى هو تسارع الجاذبية نفسه حينما تهبط إلى الأسفل. كما أنّ السّرعة المفقودة في أثناء الصعود تساوي السّرعة المكتسبة في أثناء الهبوط. وهكذا تصل القذيفة إلى مستوى الإطلاق نفسه بسرعة الإطلاق الابتدائيّة نفسها.

تُلعب كرة البيسبول عادة على الأرض. ويمكن اعتبار الملعب سطحًا مستويًا لحركة مقذوف قصيرة - المدى لعدم تأثر طيران كرة البيسبول بانحناء الأرض. ولكن. لحركة مقذوف. طويلة – المدى. يجب أخذ انحناء سطح الأرض في الحسبان. وسنرى ذلك الآن؛ إذا قذف جسم بسرعة عالية جدًّا وكافية فإنه يسقط بحيث يدور حول الأرض ويصبح قمرًا صناعيًّا أرضيًّا.



الشّكل 22.4

من دون مقاومة الهواء فإنّ نقصان السرعة عند الصعود يكتسب عند الهبوط: يتساوى زمنا كلّ من الصعود والهبوط.



الشّكل 23.4
ما سرعة الكرة المقذوفة؟

■ **نقطة فحص**

عند أعلى برج في الشّكل 23.4، رمى صبيّ كرة إلى أسفل. فسقطت على مسافة 20 م. ما سرعة الرمي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

رميت الكرة أفقيًّا. لذا، فإنّ سرعة الرّمي تساوي المسافة الأفقيّة مقسومة على الزّمن. المسافة الأفقيّة معلومة وهي 20 مترًا. أمّا الزّمن فغير مذكور. ولكن، من معرفة ارتفاع مكان الرّمي وهو 5م، فلعلك تتذكّر أنّ مسافة 5 م تحتاج إلى ثانية واحدة! ومن معادلة السّرعة الثابتة (تنطبق كذلك على الحركة الأفقيّة).

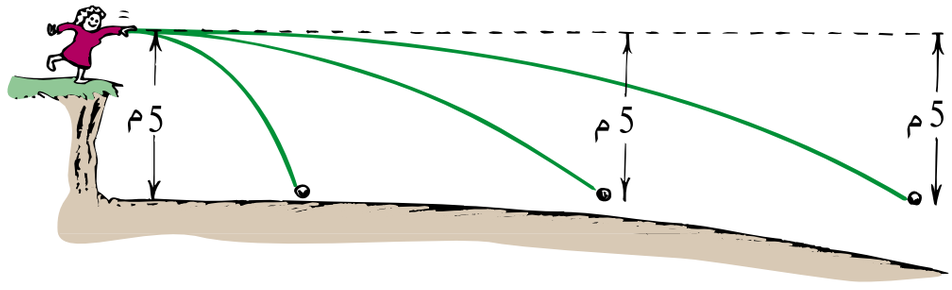
$v = d/t = (20\ \text{m})/(1\ \text{s}) = 20\ \text{m/s}$. ومن المهم ملاحظة أنّ معادلة السرعة الثابتة $v = d / t$ هي دليل تفكيرنا في العامل المهم في هذه المسألة : إنّه *الزّمن*.

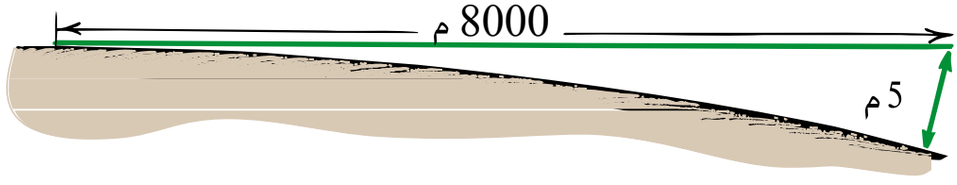
يسقط انحناء الأرض 5 م لكلّ 8 كم، وهذا يعني أنك تطفو في محيط هادئ، ويمكنك رؤية قمة سارية ترتفع 5م فوق سفينة على بعد 8 كم.

■ 6.4 المقذوفات المتحرّكة بسرعة – الأقمار الصّناعيّة

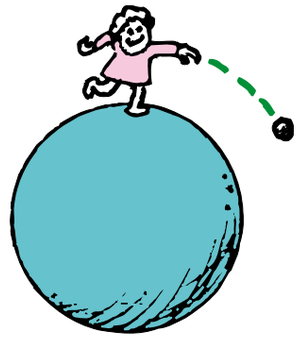
افترض ضارب كرة بيسبول على الحافة كما في الشّكل 24.4. إذا لم تؤثر الجاذبية في الكرة فإنّها ستسلك المسار – الخطّيّ المبيّن بالخطّ المتقطّع. ولكن بسبب تأثير الجاذبية فإنّها ستسلك في الواقع المسار أسفل الخطّ – المتصل. وكما تمّ نقاشه، بعد أن تغادر الكرة يد ضارب الكرة بثانية واحدة فإنها تسقط مسافة عمودية مقدارها 5 أمتار أسفل الخطّ المتقطّع – مهما كانت سرعة الضرب. ويعدّ فهم هذا مهمًّا جدًّا لأنه أساس حركة الأقمار الصّناعيّة.

يعدّ المكّوكُ الفضائي مقذوفًا في حالة مستمرة من السّقوط الحرّ. وبسبب سرعته الزاوية فإنّه يسقط حول الأرض لا عليها.

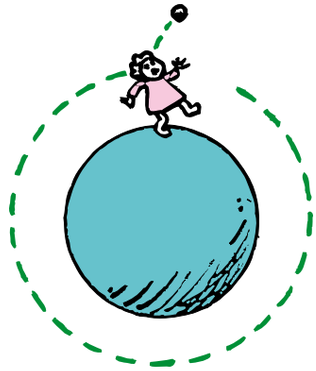




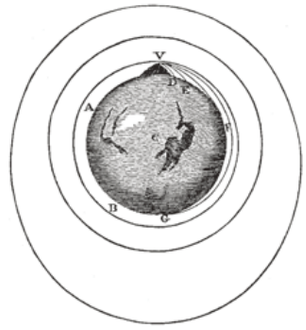
الشّكل 24.4
إذا رميتَ حجرًا بأيّ سرعة، فسيسقط مسافة 5 أمتار إلى أسفل بعد ثانية واحدة.



الشّكل 25.4
انحناء الأرض (لم يؤخذ مقياس الرسم في الحسبان).



الشّكل 26.4
إذا كانت سرعة الحجر وانحناء مساره كبيرين بما فيه الكفاية، فمن الممكن أن يصبح الحجر قمرًا صناعيًا.



الشّكل 27.4
"كلما كبرت السرعة التي يُقذف بها (الحجر)، ذهب أبعد قبل أن يسقط على الأرض. إذن يمكننا الافتراض أنه إذا زادت السرعة كثيرًا، أمكن وصفها بقوس طوله 1، 2، 5، 10، 100، 1000 ميل قبل أن تصل إلى الأرض، حتى تتخطى أخيرًا حدود الأرض، وتذهب إلى الفضاء دون أن ترجع" – من كتاب إسحق نيوتن، نظام العالم *System of the World*.

القمر الصناعي الأرضي ببساطة هو مقذوف يسقط *حول* الأرض بدلًا من سقوطه عليها. ويجب أن تكون سرعة القمر كبيرة بما فيها الكفاية حتى تكون مسافة السّقوط مساوية لانحناء الأرض. وهناك حقيقة هندسية حول انحناء الأرض مفادها أنّ سطحها يسقط مسافة 5 أمتار لكلّ 8000 متر مقابلة للسّطح (الشكل 24.4). إذا رميت كرة البيسبول بسرعة كافية لتقطع مسافة أفقية مقدارها 8 كم وتسقط 5 أمتار خلال ثانية واحدة فإنها ستتبع انحناء الأرض. وهذه السرعة هي 8 كم/ث. وإن كنت لا تعتقد أنها سريعة بما فيها الكفاية، فحوّلها إلى كيلومترات في السّاعة لتحصل على رقم ضخم 29,000 كم/ساعة (أو 18,000 ميل/ساعة)!

تحترق كرة البيسبول من الاحتكاك بالغلاف الجوي عند هذه السرعة، حتى أنّ قطعة الحديد تصبح هشّة. وهذا هو مصير الصّخور والنيازك التي تدخل الغلاف الجوي؛ إنّها تحترق وتظهر "كنجوم ساقطة". ولهذا السبب، تقذف الأقمار الصناعية، مثل المكوك الفضائي إلى ارتفاع 15 كم أو أكثر – حتى ترتفع فوق معظم الغلاف الجوي، ولكي تتخلص كذلك من معظم مقاومة الهواء. وهناك خطأ شائع، وهو أنّ الأقمار الصناعية التي تدور على ارتفاعات عالية لا تتأثر بالجاذبية. وهذا أبعد ما يكون عن الحقيقة. إن شدّة قوة الجاذبية على قمر ارتفاعه 200 كم فوق سطح القمر تقريبًا هي نفسها على سطح الأرض. وما عدا ذلك، فإنّ القمر سيتحرك في خط مستقيم ويغادر الأرض. إنّ الموقع المرتفع للصاروخ ليس خارج الجاذبية، ولكنه خارج الغلاف الجوي للأرض، حيث يمكن الافتراض أنّ مقاومة الهواء في معظمها غائبة.

لقد فُهِمت حركة الصاروخ من إسحق نيوتن الذي بيّن أنّ القمر هو ببساطة قذيفة تدور حول الأرض تحت تأثير الجاذبية. وضّح نيوتن هذا المفهوم بالرّسم الذي عمله (في الشّكل 27.4). حيث قارن بين حركة كلّ من القمر وقذيفة مدفع تطلق من قمة جبل عال. لقد تخيّل أنّ قمة الجبل فوق الغلاف الجوي الأرضي، ومن ثم فإنّ مقاومة الهواء لا تعيق حركة القذيفة. وعليه،إذا قُذفت القذيفة بسرعة ابتدائية أفقية منخفضة فإنّها ستسلك مسارًا منحنيًا، وستضرب الأرض لاحقًا. ولكن إذا قذفت أسرع من ذلك، فإنّ المسار يكون أقلّ انحناءً، وسيضرب الأرض على مسافة أبعد لاحقًا. أما إذا قذفت بسرعة عالية بما فيها الكفاية، فإنّ نيوتن قد اعتقد بأنّ المسارَ المنحني دائرةٌ، وأنّ القذيفة ستدور في مدار حول الأرض بلا حدود.

إنّ القذيفة والقمر لكلٍّ منهما سرعة زاوية (موازية لسطح الأرض) كافية لتضمن حركة *حول* الأرض بدلًا من *عليها*. ومن دون وجود مقاومة لإنقاص السرعة فإنّ القمر أو أيّ قمر صناعي "يسقط" حول الأرض دون حدود. وبالمثل، تستمر الكواكب في السقوط حول الشّمس في مسارات مغلقة. وإذا سألنا: لِمَ لا تتحطم الكواكب على الشّمس؟ فإنّ الجواب هو: لأنّ لها سرعات زاوية. ولكن، ماذا يحدث إذا نقصت هذه السرعات إلى الصفر؟ الجواب بسيط جدًّا: يكون السّقوط مباشرا على الشّمس. وبالفعل فإنها تتحطم عليها. لقد تحطمت الأجسام جميعها في النظام الشّمسيّ التي لم تكن تمتلك سرعات زاوية كافية منذ زمن بعيد في الشّمس. وما تبقى، فهو هذا التوافق الذي نراه اليوم.

■ **نقطة فحص**

إحدى عجائب الفيزياء هو وجود طرق عدّة لرؤية ظاهرة معينة وتفسيرها. فهل التفسير الآتي صحيح؟ "تبقى الأقمار الصناعية في المدار بدلًا من السّقوط على الأرض لأنها خارج تأثير جاذبية الأرض"

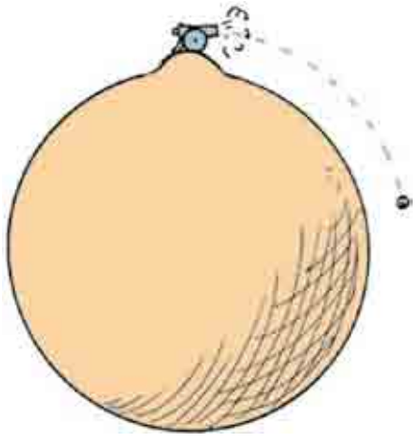
هل كانت هذه إجابتك؟

لا؛ إذا كان أيّ جسم متحرك خارج الجاذبية، فسيتحرك في خط مستقيم، ولن ينحني حول الأرض. لذا تبقى الأقمار الصناعية في المدار لأنها تُسحب بالجاذبية، وليس لأنها خارجها. وتكون قوة الجاذبية الأرضية على معظم الأقمار الأرضية التي تكون على ارتفاعات عالية أقلّ بنسبة مئوية قليلة من تلك التي على سطح الأرض.

7.4 المدارات الدّائريّة للأقمار الصّناعيّة

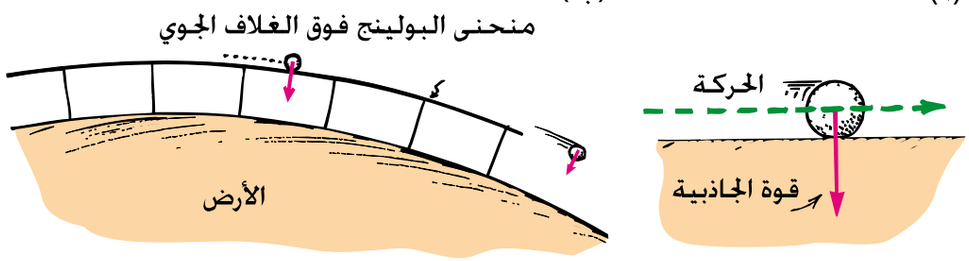
إذا أُطلقت قذيفة مدفع بسرعة 8 كم/ث أفقيًّا من جبل نيوتن فإنها ستتبع انحناء الأرض، وتستمر في الحركة في مسار دائريّ حول الأرض عدّة مرات (بشرط أن يبتعد المدفع وضارب المدفع عن طريقها). ولكن إذا أطلقت القذيفة بسرعة أقلّ من ذلك فإنّ القذيفة ستضرب سطح الأرض. أمّا إذا قذفت بسرعة أكبر من ذلك فإنها ستخرج عن المدار الدائريّ. كما سنناقش بعد قليل. قدّر نيوتن السّرعة اللازمة للجسم حتى يدور في المدار الدائريّ. ولكن بسبب استحالة الحصول على هذه السرعة من فوهة المدفع، لم يستطع البشر تخيل إطلاق الأقمار الصناعية (وكذلك لم يستطيعوا تخيل الصواريخ المتعددة المراحل).

لاحظ أنه في المدار الدائريّ، لا تتغير سرعة القمر بالجاذبية، بل إنّ الذي يتغير هو الاتجاه فقط. ويمكن فهم هذا بمقارنة القمر في المدار الدائريّ وكرة البولنغ المتدحرجة على مسربها. لماذا لا تغير قوة الجاذبية المؤثرة في كرة البولنج من سرعتها؟ الجواب هو أنّ الجاذبية تسحب عموديًّا إلى أسفل دون مركبة قوة تؤثر إلى الأمام أو إلى الخلف.



الشّكل 28.4
إذا تم الإطلاق بسرعة كافية، فستذهب القذيفة إلى المدار.

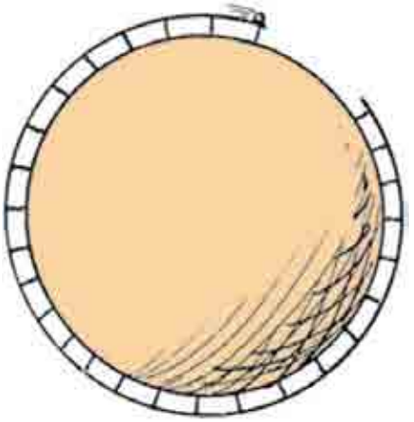
ادرس مسرب البولنج الذي يحيط بكامل الأرض، ويرتفع بما فيه الكفاية ليكون فوق الغلاف الجوي ومقاومة الهواء. تتدحرج كرة البولنج بسرعة ثابتة على المسرب. إذا قطع جزء من المسرب، فإنّ الكرة تتوقف عن التدحرج عند الحافة، وتسقط إلى الأسفل على الأرض. الكرة الأسرع التي تواجه الفجوة ستضرب الأرض على مسافة أفقية أبعد عبر الفجوة. هل هناك سرعة تجعل الكرة تتخطى الفجوة (مثل سائقي الدراجات الذين يقودون أسفل المنحدر ويقفزون فوق الفجوة إلى المنحدر الذي على الجهة الأخرى)؟ الجواب، نعم: 8 كم/ث تكون كافية لتخطي الفجوة . وأيّ فجوة: حتى فجوة بـ 360°. تكون الكرة في مدار دائريّ.



الشّكل 29.4
(أ) تؤثر قوة الجاذبية في كرة البولنج بزاوية 90° مع اتجاه الحركة. وهكذا، فليس هناك مركبة قوة لسحبها إلى الأمام أو إلى الخلف، وتتدحرج الكرة بسرعة ثابتة. (ب) يبقى الأمر نفسه صحيحًا حتى لو كان مسار البولنج أكبر، ويبقى "مستويًا" مع انحناء الأرض.

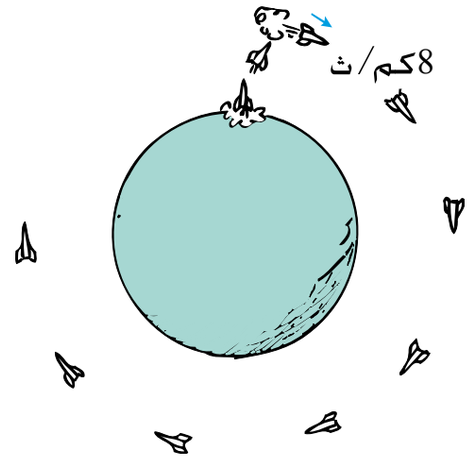
لاحظ أنّ القمر في المدار الدائريّ يتحرك دائمًا في اتجاه متعامد على قوة الجاذبية التي تؤثر فيه. لا توجد مركبة قوة تؤثر في اتجاه حركة القمر لتغير من سرعته. بل يحدث تغير في الاتجاه فقط. وهكذا، يمكننا فهم سبب دوران القمر في مدار دائريّ موازٍ لسطح الأرض بسرعة ثابتة؛ حالة خاصة جدًّا من السّقوط الحرّ.

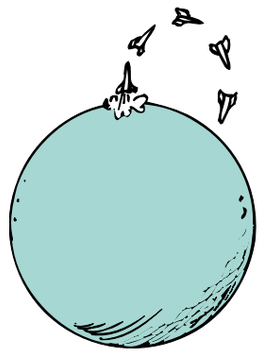
تكون الدورة (الزمن اللازم لإكمال المدار حول الأرض) نحو 90 دقيقة للأقمار الصناعية القريبة من الأرض. وعند ارتفاعات أعلى، تكون السّرعة الزاوية أقلّ، والمسافة أكبر، والدورة أكبر كذلك. فمثلًا، دورة أقمار الاتصالات التي تقع على بعد 5.5 أضعاف نصف قطر الأرض فوق سطحها، تكون 24 ساعة. وهي تساوي الدورة اليومية لدوران الأرض. وحول الاستواء، تبقى هذه الأقمار فوق النقطة نفسها على الأرض. وتكون دورة القمر الأبعد 27.3 يومًا. وكلما كان القمر أعلى، نقصت سرعته. وكلما زاد مساره، زادت دورته*.



الشّكل 30.4
ما السرعة التي تسمح للكرة بالقفز فوق الفجوة؟

* تعطى السرعة للقمر الصناعي في المدار الدائري بـ $v = \sqrt{GM/d}$. أما الدورة فتعطى بـ $T = 2\pi\sqrt{d^3/GM}$. حيث G ثابت الجذب الكوني، وM كتلة الأرض (أو الجسم الذي يدور حوله القمر). أمّا d فهي المسافة بين القمر ومركز الأرض، أو مركز الجسم الذي يدور حوله القمر.





يتطلب وضع حمولة في مدار الأرض التحكم في السّرعة، وكذلك في اتجاه الصّاروخ الذي يحمل الحمولة فوق الغلاف الجويّ. يطلق الصّاروخ في البداية عموديًا، ثم ينحرف قصدا عن الطريق العمودي. وبعد أن يكون فوق مانعة الغلاف الجوي يُوجه أفقيًا، حيث يُعطى دفعًا نهائيًّا إلى السرعة المدارية. ونشاهد ذلك في الشّكل 31.4، حيث وضعت الحمولة كاملة كصاروخ من مرحلة – واحدة من أجل التبسيط وبالسرعة الزاوية الصحيحة، يسقط حول الأرض، بدلًا من سقوطه عليها، ويصبح قمرًا أرضيًّا.

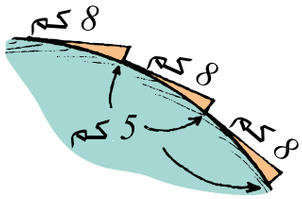
الشّكل 31.4
يرفع الدفع الابتدائي الصاروخ عموديًّا، ويحرفه دفع آخر عن الخط العمودي. وعندما يتحرك أفقيًّا، ينطلق بالسرعة المطلوبة إلى المدار.

■ **نقطة فحص**

1. يدور مكوك الفضاء على ارتفاعات أكثر من 150 كم ليكون فوق الجاذبية والغلاف الجويّ الأرضي. هل هذا صحيح؟
2. تسقط (تنزل) الأقمار الصناعية (التوابع) في المدار الدائريّ المغلق حوالي 5 أمتار في كلّ ثانية في المدار. لِمَ لا تتجمع هذه المسافات، ويتحطم القمر على سطح الأرض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. خطأ: لأنّ الأقمار الصناعية (التوابع) موجودة فوق الغلاف الجوي ومقاومة الهواء، وليس فوق الجاذبية! من المهم ملاحظة أنّ جاذبية الأرض تمتد خلال الكون وفق قانون التربيع – العكسي.
2. يسقط (ينزل) القمر الصناعي 5 كم في كلّ ثانية أسفل الخط المستقيم المقابل له لو لم تكن الجاذبية موجودة. ينحني سطح الأرض أيضًا 5 كم أسفل الخط – المستقيم المقابل لكلّ 8 كم. تستمر عملية السقوط مع انحناء الأرض من الخط المقابل إلى الخط المقابل. وهكذا "يتساوى" انحناء مسار القمر مع انحناء مسار الأرض على طول المسار حول الأرض. وفي الحقيقة، فإنّ الأقمار تتحطم على سطح الأرض من وقت إلى آخر عندما تتعرض لمقاومة هواء في أعلى الغلاف الجوي التي تقلّل سرعته الزاوية.

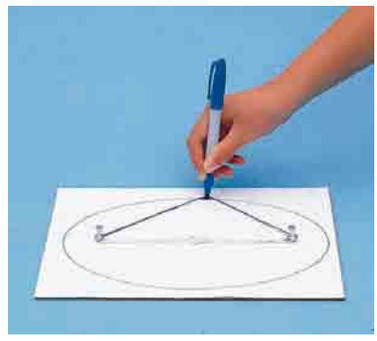


يُدخِل الصعود العمودي الابتدائي الصاروخ بسرعة خلال الجزء الكثيف من الغلاف الجوي. وأخيرًا، يجب أن يستحوذ الصاروخ على سرعة مماسّية كافية ليبقى في المدار دون دفع. وعليه يجب أن يميل حتى يصبح مساره موازيًا لسطح الأرض.

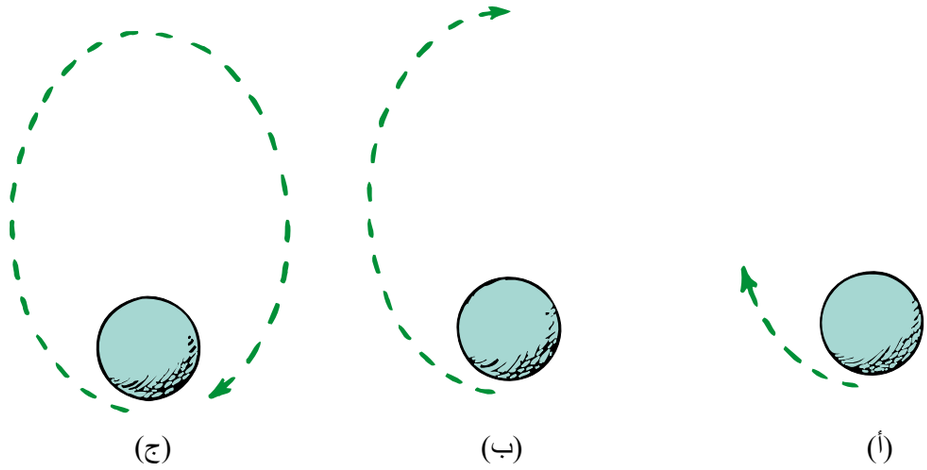
■ 8.4 المدارات الإهليلجيّة

إذا أعطيت القذيفة التي فوق الغلاف الجوي سرعة أفقية أكبر من 8 كم/ث، فإنها تتجاوز المسار الدائري وتتبع مسارًا بيضيًّا يسمى **الإهليلج (القطع الناقص)(Ellipse)**.

الإهليلج (القطع الناقص) هو منحنى خاص، مسار مغلق من قطع ناقص مكون من نقطة تتحرك بطريقة بحيث يكون مجموع بعديها من نقطتين ثابتتين (*البؤرتين*) مقدارًا ثابتًا. وللقمر الصناعي الذي يدور حول الكوكب، فإنّ إحدى هاتين البؤرتين تكون في مركز الكوكب، أما البؤرة الأخرى فتكون داخل الكوكب أو خارجه. ويمكن رسم الإهليلج بسهولة باستخدام مسمارين صغيرين (واحد في كلّ بؤرة)، وعروة خيط، وقلم (الشكل 32.4). كلما كانت البؤرتان أحداهما أقرب إلى الأخرى، اقترب الإهليلج من الشّكل الدائريّ. وعندما تنطبق البؤرتان معًا يصبح الإهليلَج دائرة. وهكذا نرى أنّ الدائرة حالة خاصة من الإهليلج.



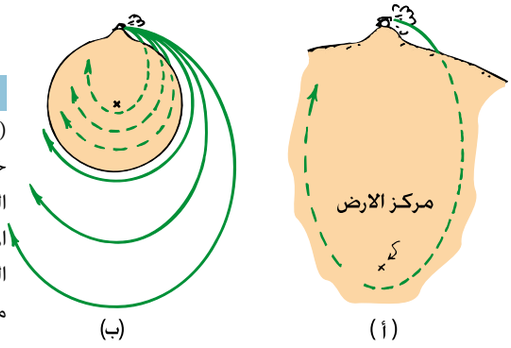
الشّكل 32.4
طريقة بسيطة لرسم الإهليلج.



الشّكل 33.4
المدار الإهليلجيّ. عندما تزيد سرعة القمر الصناعي على 8 كم/ث، (أ) يتجاوز المسار الدائريّ وينتقل بعيدًا عن الأرض ضد الجاذبية. (ب) يبدأ بالعودة عند أقصى ارتفاع في اتجاه الأرض. (ج) تعوّض الخسارة في السرعة في الذهاب بعيدًا بالكسب حين العودة، وهكذا تكرر الدورة نفسها.

عندما تكون سرعة القمر الصناعي ثابتة في المدار الدائريّ تتغير السّرعة في المدار الإهليلجيّ. يتجاوز القمر الصناعي المسار الدائري، ويبتعد عن الأرض ضد قوة الجاذبية إذا كانت سرعته الابتدائية أكبر من 8 كم/ث. وهكذا، فهو يخسر سرعته. تعوّض السرعة المفقودة حين الابتعاد عن الأرض بالسرعة المكتسبة حين العودة إليها. وفي النهاية تلحق بالمسار الأصلي بالسرعة نفسها التي ابتدأت به الحركة (الشكل 33.4). يتكرر الإجراء مرة تلو مرة. وفي كلّ مرة يُرسم إهليلج.

من المدهش أنّ مسار القطع الزائد للمقذوف، مثل كرة بيسبول مضروبة أو قذيفة مدفع، هي في الواقع جزء من إهليلجيّ صغير يمتد داخل الأرض وإلى ما بعد مركزها (الشّكل 34.4أ). في الشّكل 34.3ب، نرى عدة مسارات لقذيفة مدفع أطلقت من قمة جبل نيوتن. واحدة من بؤرتي هذه الإهليلجات جميعها هي مركز الأرض. ويوجد هناك اختلاف مركزي (يقترب من الدائريّ) عندما تزداد السّرعة الابتدائية. وعندما تصل هذه السّرعة الابتدائية إلى 8 كم/ث يصبح الإهليلج دائرة، ولا يضرب سطح الأرض. وتدور القذيفة في مدار دائري. وعند سرعات لقذيفة ابتدائية أعلى، ترسم القذائف الدائرة الإهليلجات الخارجية المألوفة.



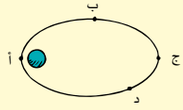
الشّكل 34.4
(أ) مسار القطع المكافئ لقذيفة هو جزء من إهليلج يمتد خلال الأرض. مركز الأرض هو البؤرة البعيدة. (ب) مسارات القذيفة جميعها هي إهليلجات. وبسرعة أقلّ من سرعة المدار، يكون مركز الأرض هو البؤرة البعيدة. أمّا للمسار الدائري، فمركز الأرض هو كلتا البؤرتين، في حين يكون مركز الأرض هو البؤرة القريبة لسرعات أعلى.

لمعلوماتك

■ إذا دخلت سفينة فضاء الغلاف الجويّ بزاوية حادة جدّا، أي أكثر من حوالي 6°، فإنّها قد تحترق. أمّا إذا دخلت بشكل مسطح فإنّها ترجع ثانية إلى الفضاء كحصاة سقطت في ماء.

■ **نقطة فحص**

المسار المداري للقمر الصناعي مبيّن في الرسم. عند أيّ موقع من تلك المشار إليها، من أ إلى د، تكون للقمر الصناعي: 1. أقصى سرعة؟ 2. أدنى سرعة؟



هل كانت هذه إجابتك؟

يكون للقمر الصناعي أقصى سرعة عندما يصل إلى أ، وأدنى سرعة عند الموقع ج. وبعد أن يتجاوز ج يكتسب سرعة عند سقوطه فيعود إلى أ ليكرّر دورته.

9.4 سرعة الإفلات

نحن نعلم أنه عند إطلاق قذيفة مدفع أفقيًّا بسرعة 8 كم/ثانية من جبل نيوتن، فستكون في المدار. ولكن ماذا يحدث لو أطلقت القذيفة *عموديًا؟* ستصل إلى أقصى ارتفاع ما، ثمَّ تعكس اتجاهها، وأخيرا تسقط على الأرض. وهذا مرادف للقول المأثور: "كلّ صعود يقابله هبوط". فالحجر الذي يقذف إلى السماء يرجع بالجاذبية (إلا إذا كانت سرعته كبيرة بما فيها الكفاية كما سنرى).

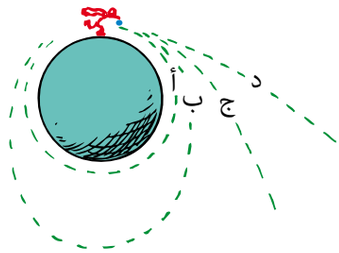
في عصر سباق الفضاء، من الدقة القول: "ما يصعد إلى الأعلى يمكن أن يهبط" لوجود سرعة ابتدائية حدّيّة تسمح للقذيفة بالإفلات من الأرض. تسمّى هذه السرعةُ الحدّيّة **سرعةَ الإفلات**. وإذا كان الاتجاه مهمًّا، فتسمى عندئذ سرعة *الإفلات المتجهة*. وتبلغ سرعة الإفلات من سطح الأرض 11.2 كم/ث. إذا أطلقت قذيفة بأيّ سرعة أعلى من هذه السرعة، فستغادر الأرض، وتسافر ببطء، ثمّ ببطء أكثر، ولكنها لن تتوقف بسبب الجاذبية* . يمكننا فهم مقدار هذه السرعة من اعتبارات الطاقة.

ما مقدار الشغل اللازم لرفع حمولة ضد قوة الجاذبية إلى مسافة بعيدة جدّا ("بعيدة إلى مالانهاية")؟ يمكننا التفكير في أنّ التّغيّر لانهائيّ في طاقة الوضع؛ لأنَّ المسافة لانهائية. ولكن الجاذبية تتناقص مع المسافة وفق قانون التربيع – العكسي. تكون قوة الجاذبية على الحمل شديدة بالقرب من الأرض. ويُبذل معظم الشغل في إطلاق الصاروخ ضمن الـ 10,000 كم أو حولها من الأرض. لقد تبيّن أنّ التّغيّر في طاقة الوضع لجسم كتلته 1كجم يتحرك من سطح الأرض إلى مسافة لانهائية هو 62 مليون جول (62 *MJ*). وعليه، فإنّنا نحتاج إلى 62 مليون جول على الأقلّ لكلّ كجم من الحمولة لرفعها مسافة بعيدة جدًّا من سطح الأرض. وهنا، لا نقوم بعمليات حسابية. ولكن، 62 مليون جول/كجم تقابل سرعة 11.2 كم/ث، مهما كانت كتلة الحمولة. وهذه هي سرعة الإفلات من سطح الأرض** .

إذا زوّدنا الحمولة بطاقة أكثر من 62 مليون جول/كجم عند سطح الأرض، أو ما يعادلها، أي سرعة أعلى من 11.2 كم/ث، وبإهمال مقاومة الهواء، فإنّ الحمولة تفلت من الأرض ولا تعود. وإذا استمرت الحمولة في الإفلات فستزداد طاقة وضعها، وتنقص طاقة حركتها، ويستمر سحب جاذبية الأرض فتقلل من سرعتها، ولكن لا يمكن أن تصل بها إلى الصفر؛ تفلت الحمولة.

يبين الجدول 1.4 سرعات الإفلات لمختلف الأجسام في النظام الشّمسيّ. لاحظ أنّ سرعة الإفلات من سطح الشّمس هي 620 كم/ث. وحتى على بعد 150,000,000 كم من الشمس (بعد الأرض)، فإنّ سرعة الإفلات لكي تتحرّر من تأثير الشّمس هي 42.5 كم/ث، وهي أكبر كثيرًا من سرعة الإفلات من الأرض. إنّ قذف جسم من الأرض عند سرعة أكبر من 11.2 كم/ث، ولكن أقلّ من 42.5 كم/ث، سيفلت من الأرض، ولكنه لا يفلت من الشّمس.

لقد كانت بيونير – 10 (*Pioneer* 10) أول مسبار يفلت من النّظام الشّمسيّ. وقذف من سطح الأرض في عام 1972م بسرعة 15 كم/ث. لقد تم تحقيق الإفلات بتوجيه المسبار إلى مسار زحل المقترب. وقد انطلق بقوة من المجال الجاذبي الكبير للمشتري، وكسب سرعة في هذه العملية كزيادة السرعة لكرة البيسبول عندما تصطدم بالمضرب. وازدادت سرعة المغادرة بما فيها الكفاية من المشتري، لتصبح أكبر من سرعة الإفلات من الشّمس عند البعد عن المريخ. كما تخطت *بيونير*- 10 مدار بلوتو *Pluto* في عام 1984. وستبقى بيونير- 10 تتجول إلى الأبد في الفضاء بين النجوم، إلا إذا اصطدمت بجسم آخر، كمدونة داخل علبة ملقاة في البحر، تحتوي على معلومات عن الأرض قد تكون مهمة للأحياء خارجها، على أمل أن "تنظف في يوم من الأيام" وتوجد على مسافة ما من "الشاطئ".



الشّكل 35.4
إذا قذف رجل خارق كرة أفقيًا بسرعة 8 كم/ث من أعلى جبل مرتفع كفاية فوق مقاومة الهواء (أ) يستطيع الاستدارة والتقاط الكرة بعد 90 دقيقة (أهمل دوران الأرض). وإذا زادت سرعتها قليلًا فإنّها (ب) تأخذ مدارًا إهليجيًا وتعود بعد زمن أطول قليلا. ولكن إذا زادت السرعة أكثر من 11.2 كم/ث فإنّها (ج) تغادر الأرض. أمّا إذا قذفت بسرعة 42.5 كم/ث فإنّها (د) تستطيع الإفلات من النظام الشّمسيّ.

---

* تعطى سرعة الإفلات من أيّ كوكب بـ $v = \sqrt{2GM/d}$. حيث G ثابت الجذب الكوني، في حين تشير M إلى كتلة الجسم الجاذب. أمّا d فهي المسافة من مركزه. (عند سطح الجسم، تكون d هي نصف قطر الجسم.) وللاستزادة الرياضية: قارن بين هذه الصيغة وتلك التي للسرعة الزاوية في هامش البند 8.4.

** من المناسب جدا تسميتها سرعة *السّقوط العظمى*. أيّ جسم، مهما كان بعيدًا عن الأرض، ينطلق من السكون، ويسمح له بالسقوط إلى الأرض تحت تأثير جاذبية الأرض التي لا تزيد على 11.2 كم/ث. (في وجود مقاومة للهواء تكون أقلّ.)

الجدول 1.4 سرعات الإفلات عند سطوح كواكب النّظام الشّمسيّ.

الجسم الفلكي (الكواكب)	الكتلة (بوحدة كتلة الأرض)	نصف القطر (بوحدة نصف قطر الأرض)	سرعة الإفلات كم/ث
الشّمس	333,000	109	620
الشّمس (عند بعد مدار الأرض عنها)		23,500	42.2
المشتري	318	11	60.2
زحل	95.2	9.2	36.0
نبتون	17.3	3.47	24.9
أورانوس	14.5	3.7	22.3
الأرض	1.00	1.00	11.2
الزّهرة	0.82	0.95	10.4
المريخ	0.11	0.53	5.0
عطارد	0.055	0.38	4.3
القمر	0.0123	0.27	2.4

من المهم التأكيد على أنّ سرعة الإفلات لجسم ما هي السرعة الابتدائية المعطاة من دفع لفترة قصيرة. وبعد ذلك، لا توجد أيّ قوة للمساعدة في الحركة. يمكن الإفلات من الأرض بأيّ سرعة مستدامة أكثر من صفر، إذا أعطيت الزمن الكافي. فمثلًا، افترض أننا أطلقنا صاروخًا إلى مكان ما كالقمر مثلا. إذا احترق محرك الصاروخ عندما كان قريبًا من الأرض، فإنّ الصاروخ يحتاج إلى حدّ أدنى من السرعة 11.2 كم/ث. ولكن إذا أمكن استدامة محرك الصاروخ فترة زمنية طويلة فيمكن للصاروخ عندئذ أن يصل إلى القمر دون أن يحصل على سرعة 11.2 كم/ث.

لمعلوماتك

■ لا يمكنك أن تدرك حدود العلوم الطبيعية إدراكًا كاملًا حتى تنسجم مع أُسسها.

الشّكل 36.4
بيونير – 10، أطلقت من الأرض في عام 1972م، متجاوزة الغلاف الخارجي للكوكب في عام 1984 وهي الآن تتجول في مجرتنا.

الشكل 37.4
مركبة الفضاء الأوربية – الأميركية كاسيني *Cassini* تصور زحل وقمره العملاق إلى الأرض. وتقيس أيضًا درجة حرارة السطح والمجالات المغناطيسية، والحجم، والسرعة والمسارات للأجسام الفضائية الصغيرة.

كما تدور الكواكب حول الشّمس، فإنّ النّجوم تدور حول مركز المجرات. تلك التي لا تمتلك سرعة مماسّية كافية تسحب إلى الداخل، وتلتهم من نواة المجرة – عادة الثقب الأسود.

العقل الذي يحيط بالكون رائع كروعة الكون الذي يحيط بالعقل.

ومن الجدير بالاهتمام أيضا ملاحظة أنّ الدقة التي يصل بها صاروخ غير مأهول إلى المكان المحدد لا يحصل بالإبقاء على المسار المخطط له مسبقًا، أو العودة إلى المسار الأصلي إذا ضلّ الصاروخ طريقه. وفي هذه الحالة،لا تبذل أيّ محاولة لإرجاع الصاروخ إلى مساره الأصلي. وبدلًا من ذلك، فإنّ مركز السيطرة يسأل: "أين هو الآن؟ وما سرعته؟ وما أفضل طريق ليصل إلى الهدف من موقعه الحالي؟" وباستخدام حواسيب سريعة، تستخدم الإجابات عن هذه الأسئلة لإيجاد طريق جديد له. حيث توجهه تعليمات إرشادية أخرى إلى مساره الجديد. وتكرر هذه العملية على طول طريقه إلى الهدف.*

ملخّص المصطلحات

قانون الجذب الكونيّ Law of universal gravitation: إنّ كلّ جسم في الكون يجذب أيَّ جسم آخر بقوة. وهو لجسمين، يتناسب مباشرة مع حاصل ضرب كتلتيهما، وعكسيًّا مع مربع البعد بينهما:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

قانون التّربيع العكسيّ Inverse-square law: ينتشر الأثر من مصدر نقطي بانتظام خلال الفضاء المحيط، ويتناقص مع مربع المسافة:

الكثافة = 1 / (المسافة)^2

تتبع الجاذبية قانون التربيع- العكسيّ، كما هو الحال أيضًا في الكهرباء، والضّوء، والصّوت وظاهرة الإشعاع.

الوزن Weight: القوة التي يؤثر بها جسم في سطح داعم (وإذا علّقت فإنّها تؤثر في حبل تعليق)، بسبب قوة الجاذبية غالبًا، لا دائمًا.

انعدام الوزن Weightless: عندما يكون الجسم من دون قوة داعمة، كما في السّقوط الحرّ.

القذيفة Projectile: أيّ جسم يتحرك خلال الهواء أو الفضاء تحت تأثير الجاذبية.

القطع المكافئ Parabola: مسار منحنٍ تتبعه القذيفة تحت تأثير الجاذبية الثابتة فقط.

القمر الصّناعيّ Satellite: مقذوف أو جسم سماوي صغير يدور حول جسم سماوي أكبر.

إهليلج Ellipse: مسار بيضيّ يسلكه القمر الصناعي. مجموعُ البعدين من أيّ نقطة على المسار إلى النقطتين المسماتين بالبؤرتين - مقدارٌ ثابتٌ. ويصبح الإهليلج دائرة عندما تنطبق البؤرتان في نقطة واحدة. وعندما تتباعد البؤرتان يصبح مركز الإهليلج أكثر *اختلالا*.

سرعة الإفلات Escape speed: السّرعة التي يجب أن يصل إليها المقذوف أو مِجَسُّ الفضاء أو أيُّ جسم ليفلت من أثر الجاذبية الأرضية، أو أيّ جسم سماويّ آخر ينجذب إليه.

* هل هناك ما يجب تعلمه هنا؟ لنفترض أنك وجدت نفسك خارج المسار عندها، قد تجد أنك مثل الصاروخ، ستتبع مسارًا أكثر فائدة لمتابعة خط سيرك الذي سيؤدي إلى هدفك كما يظهر ذلك من موقفك وظروفك الحالية، وبدلًا من محاولة العودة على المسار نفسه الذي قمت برسمه من نقطة سابقة، وربما تحت ظروف مختلفة.

أسئلة مراجعة

1. ما الذي اكتشفه نيوتن حول الجاذبية؟
2. ما التركيب النيوتوني؟

1.4 قانون الجذب الكوني

3. ما معنى "يسقط" القمر؟
4. اكتب كلًّا من قانون نيوتن في الجذب الكوني ومعادلته.
5. ما مقدار قوة الجاذبية بين جسمين كتلة كلّ منهما 1 كجم على بعد 1م أحدهما من الآخر؟
6. ما مقدار قوة الجاذبية بين جسم كتلته 1 كجم والأرض؟

2.4 الجاذبية والمسافة: قانون التّربيع- العكسيّ

7. كيف تتغير قوة الجاذبية بين جسمين عندما تزداد المسافة بينهما إلى أربعة أضعاف؟
8. في أيّ المكانين تزن أكثر: على مستوى البحر، أم على قمة جبال روكي (Rocky)؟ دافع عن إجابتك.

3.4 الوزن وانعدامه

9. هل تنضغط الزّنبركات داخل ميزان الحمّام أكثر أم أقلّ إذا قست وزنك في مصعد يتسارع إلى الأعلى؟ إلى الأسفل؟
10. هل تنضغط الزّنبركات داخل ميزان الحمّام أكثر أم أقلّ إذا قست وزنك في مصعد يتحرك إلى الأعلى بسرعة ثابتة؟ يتحرك إلى الأسفل بسرعة ثابتة؟
11. فسّر كيف أنّ الرواد في محطة الفضاء الدولية لا وزن لهم، مع أن الجاذبية تمسكهم بثبات.
12. متى يساوي وزنك *mg*؟

4.4 الجذب الكونيّ

13. ما سبب الاضطرابات المكتشفة في مدار كوكب الزهرة؟ ما الاكتشاف الكبير الذي أدّى إليه هذا؟
14. ما الوضع الذي جعل من بلوتو (Pluto) كوكبًا قزمًا؟
15. ما نسبة الكون الذي يخمن على أنه مكوّن من مادة معتمة وطاقة معتمة؟

5.4 حركة المقذوفات

16. لماذا تتغير المركبة العمودية للسرعة مع الزمن، في حين لا تتغير المركبة الأفقية للسرعة؟
17. إذا قذف حجر إلى أعلى بزاوية ما فماذا يحدث لمركبة سُرعته الأفقية عندما يرتفع؟ وعندما يهبط؟
18. إذا قذف حجر إلى أعلى بزاوية ما فماذا يحدث لمركبة سُرعته العمودية عندما يرتفع؟ وعندما يهبط؟
19. إذا أطلقت قذيفة إلى أعلى بزاوية 75° أفقيًّا وارتطمت بالأرض على مدى أفقيّ معين. فعلى أيّ زاوية إطلاق أخرى تصل إلى المدى نفسه إذا أطلقت بالسرعة نفسها؟
20. أطلقت قذيفة عموديًّا إلى أعلى بسرعة 100م/ث. إذا أهملت مقاومة الهواء، فبأيّ سرعة تصل إلى مستوى الإطلاق نفسه؟

6.4 القذائف المتحركة بسرعة – الأقمار الصّناعيّة

21. لماذا يتبع المقذوف الذي يتحرك بسرعة أفقية 8 كم/ث مسارًا يساوي انحناء الأرض؟
22. لماذا يجب أن يكون المقذوف في السؤال السابق فوق الغلاف الجويّ للأرض؟
23. عندما يكون القمر الصناعيّ فوق الغلاف الجويّ للأرض، فهل هو خارج سَحْبِ جاذبية الأرض؟ دافع عن إجابتك.

7.4 المدارات الدّائريّة للأقمار الصّناعيّة

24. لماذا لا تُغيّر قوة الجاذبية سرعة كرة البولنج عندما تتدحرج على مسارها ؟
25. لماذا لا تغيّر قوة الجاذبية سرعة القمر الصناعيّ في المدار الدائريّ؟
26. هل تطول دورة المدار على ارتفاعات كبيرة أم تقصر؟

8.4 المدارات الإهليليجيّة

27. لماذا لا تغيّر قوة الجاذبية سرعة القمر الصّناعيّ في المدار الإهليلجيّ؟
28. في أيّ جزء من المدار الإهليلجيّ تكون سرعة القمر الصناعي أقصى ما يمكن؟ وفي أيّ جزء تكون أقلّ ما يمكن؟

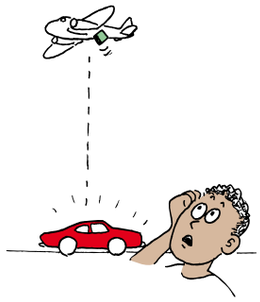
9.4 سرعة الإفلات

29. ماذا يحدث للقمر الصناعيّ بالقرب من سطح الأرض حينما تصل سرعته 11.2 كم/ث؟
30. على الرّغم من أنّ مركبة الفضاء تتغلب على جاذبية الأرض، فهل تتخلص كليًّا منها؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

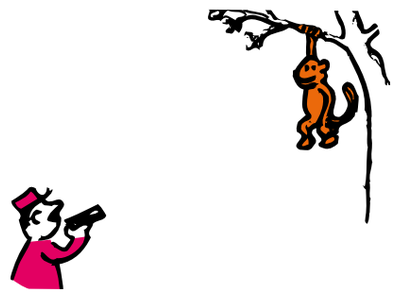
1. ● علِّق فيما إذا كان الملصق التالي على منتج مستهلك يتطلب الحذر. تحذير: *تسحب كتلة هذا المنتج كلّ جسم في الكون بقوة جذب تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الكتل وتتناسب عكسيًّا مع مربع البعد بينهما.*
2. ● تؤثر قوة الجاذبية في الأجسام جميعها بتناسب مع كتلتها. إذن، لماذا لا يكون سقوط الأجسام الثقيلة أسرع من سقوط الأجسام الخفيفة؟
3. ● هل قوة الجاذبية أقوى على قطعة حديد منها على قطعة خشب، إذا كان لهما الكتلة نفسها ؟ دافع عن إجابتك.
4. ● هل قوة الجاذبية أكبر على قطعة ورق مهشمة منها على ورقة مماثلة لم تهشم؟ دافع عن إجابتك.
5. ● يدّعي صديق لك أنّ رواد الفضاء يكونون عديمي الوزن لأنهم فوق سَحب الجاذبية. صحّح خطأ صديقك.
6. ● تنعدم الجاذبية بين جسمين في مكان ما بين القمر والأرض. فهل هذا المكان أقرب إلى الأرض أم القمر؟
7. ● هل التسارع بسبب الجاذبية على قمة إفرست أكثر من التسارع على مستوى البحر أم أقلّ؟ دافع عن إجابتك.
8. ● نزل رائد فضاء على كوكب كتلته تساوي كتلة الأرض، إلا أنّ قطره ضعف قطر الأرض. كيف يختلف وزن رائد الفضاء على الكوكب مقارنة بوزنه على الأرض؟
9. ● نزل رائد فضاء على كوكب له كتلة تساوي ضعف كتلة الأرض، وقطره ضعف قطر الأرض. كيف يختلف وزن رائد الفضاء على الكوكب مقارنة بوزنه على الأرض؟
10. ● إذا تمددت الأرض بطريقة ما بحيث زاد نصف قطرها، دون زيادة في كتلتها، فكيف يتأثر وزنك؟ كيف يتأثر إذا تقلصت الأرض؟ (مساعدة: استعن بمعادلة قوة الجاذبية).
11. ● وُضِعَ مصدرٌ ضوئيّ صغير على بعد متر واحد أمام فتحة مساحتها متر مربع واحد لإنارة الحائط خلفها (على بعد مترين من مصدر الضوء). تغطي منطقة الإنارة أربعة أمتار مربعة. ما عدد الأمتار المربعة التي ستضاء إذا كان الحائط على بعد ثلاثة أمتار من مصدر الضوء؟ خمسة أمتار؟ عشرة أمتار؟
12. ● تتغيّر شدة الضوء من مصدر مركزي عكسيًا مع مربع المسافة. إذا عشت في كوكب يبعد عن الشمس نصف بعد الأرض عنها، فكيف تقارن شدة الضوء على ذلك الكوكب مع تلك التي على الأرض؟ ماذا عن كوكب يبعد عن الشمس 10 مرات بعد الأرض عنها؟
13. ■ تبلغ كتلة المشتري 300 مرة كتلة الأرض. لذا يبدو أنّ جسمًا ما يزن 300 مرة أكثر مما يزن على الأرض. ولكن بصعوبة تجد وزن جسم ما 3 مرات وزنه على سطح الأرض. ما سبب ذلك؟ (مساعدة: ارجع إلى الحدود في معادلة قوة الجاذبية).
14. ● لماذا يشعر المسافرون في طائرة نفاثة على ارتفاع عالٍ بالوزن، في حين لا يشعر المسافرون بهذا داخل المركبة في مدارها، كالمكوك الفضائيّ؟
15. ● إذا كنت في مركبة تتحرك عبر حافة جرف، لماذا تشعر للحظة بانعدام الوزن؟ هل ما تزال الجاذبية تؤثر فيك؟
16. ● ما القوتان اللتان تؤثران فيك وأنت في مصعد متحرك؟ متى تكون هاتان القوتان متساويتين في المقدار، ومتى لا تتساويان؟
17. ● إذا أَسقطت قلمًا وأنت في مصعد، فإنه يسقط سقوطًا حُرًّا، ويحوم أمامك. هل تؤثر قوة الجاذبية في القلم؟ دافع عن إجابتك.
18. ● يقول صديقك: إنّ السبب الرئيس لشعور رواد الفضاء بانعدام الوزن أنّه يُسحب من كواكب ونجوم أخرى. هل تتفق مع ما قاله؟
19. ■ وضح خطأ الاستنتاجات التالية: "تجذب الشّمس الأجسام جميعها التي على الأرض. في منتصف الليل، وعندما تكون الشّمس في الأسفل، فإنها تسحبك في اتجاه سحب الأرض لك. وعند الظهيرة، عندما تكون الشّمس فوق رأسك مباشرة، فإنها تسحبك في عكس اتجاه سحب الأرض لك. وعليه فإنّك ستكون أثقل قليلًا في منتصف الليل، وأخفّ قليلا عند الظهيرة".
20. ■ أيهما يحتاج إلى وقود أكثر: صاروخ ينطلق من الأرض إلى القمر، أم صاروخ يعود من القمر إلى الأرض؟ لماذا؟
21. ● يتجاهل بعضهم صحة النظريات العلمية؛ فيدّعون أنّها نظريات فقط. إنّ قانون الجذب الكونيّ نظرية. فهل هذا يعني أنّ العلماء ما زالوا يشكّكون في صحته؟ فسِّر.
22. ● إذا دحرجت كرة على سطح طاولة، فهل يعتمد زمن وصولها إلى الأرض على سرعتها؟ (هل تستغرق الكرة الأسرع زمنًا أطول لتصل إلى الأرض؟) دافع عن إجابتك.
23. ● سقط صندوق ثقيل بالخطأ سقوطًا حرًّا من طائرة تطير على ارتفاع عالٍ في أثناء تحليقها مباشرة فوق سيارة حمراء لامعة تقف في موقفٍ للسيارات. أين يسقط الصندوق بالنسبة إلى السيارة؟



24. ● في غياب مقاومة الهواء، لماذا لا تتغير مركبة السرعة الأفقية لمقذوف، في حين تتغير المركبة العمودية؟
25. ● عند أيّ نقطة على مسار كرة البيسبول المضروبة تكون سرعتها أقلّ ما يمكن؟ إذا أمكن إهمال مقاومة الهواء، كيف يمكن مقارنة هذه مع السرعة الأفقية عند نقاط أخرى؟
26. ● يدَّعي شخص أنّ الرصاصات المنطلقة من بندقية سريعة وقوية تنتقل العديد من الأمتار في مسار مستقيم قبل أن تبدأ في السقوط. يَدحَضُ شخص آخر هذا الادّعاء ويقول إنّ الرصاصات جميعها -من أيّ بندقية- تسقط أسفل مسار الخط المستقيم بمسافة عمودية تعطى بالعلاقة، $\frac{1}{2}gt^2$ وأنّ المسار المنحني يكون واضحًا للرصاصات البطيئة ولكنه أقلّ وضوحًا للرصاصات السريعة. والآن: هل تسقط الرصاصات جميعها بالمسافة العمودية نفسها في أزمان متساوية؟ فسِّر.
27. ● يضرب لاعبا جولف كرتين كُلًّا على حدة بالسرعة نفسها، ولكن

الأول يضرب كرته بزاوية 60° مع الأفقيّ. أما الآخر فيضرب كرته بزاوية 30° مع الأفقي. أيّ الكرتين تقطع مسافة أكثر؟ أيهما تصل الأرض أولًا؟ (أهمل مقاومة الهواء.)

28. ● يطلق حارس متنزه سهمًا مخدرًا صوب قرد يتعلق بغصن شجرة. سدَّد الحارس مباشرة على القرد (على خطّ البصر). ولم يدرك أنّ السهم سيتبع مسار قطع مكافئ ولذا سيسقط أسفل القرد. ولكن حين شاهد القرد السهم ينطلق من البندقية، ترك الغصن ليتجنب الإصابة بالسهم. هل سيصاب القرد؟ هل تؤثر سرعة السهم في إجابتك على افتراض أنها كبيرة بما فيها الكفاية لتقطع المسافة الأفقية إلى الشجرة قبل أن تصل الأرض؟ دافع عن إجابتك.



29. ■ أطلقت قذيفة عموديًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 141 م/ث. ما سرعتها في اللحظة التي تصل فيها إلى قمة مسارها؟ افترض أنها أطلقت بزاوية 45°. ما سرعتها عند قمة مسارها؟

30. ● عندما تقفز إلى الأمام فإنّ زمن تحليقك هو الزمن الذي تكون فيه قدماك فوق الأرض. هل يعتمد زمن تحليقك على مركبة السّرعة العمودية لك حينما تقفز، أم على مركبة السّرعة الأفقية، أم على كليهما؟ دافع عن إجابتك.

31. ● يكون زمن التحليق للاعب كرة السلة الذي يقفز عموديًّا إلى ارتفاع قدمين (0.6 متر) نحو ثانية. ما زمن التحليق إذا وصل اللاعب إلى الارتفاع نفسه، وقطع مسافة أفقية مقدارها 4 أقدام (1.2 متر)؟

32. ● لأنّ القمر ينجذب بالجاذبية إلى الأرض، فَلِمَ لا يتحطم على الأرض؟

33. ● هل تعتمد سرعة الجسم السّاقط على كتلته؟ هل تعتمد السّرعة الزاوية لقمر صناعيّ في المدار على كتلته؟ دافع عن إجابتك.

34. ● إذا شاهدت في حياتك إطلاق قمر صناعيّ أرضيّ، فربما تكون قد لاحظت أنّ الصاروخ يبدأ الحركة عموديًّا إلى أعلى، ثم ينحرف عن المسار العموديّ ويستمر في صعوده بزاوية. لماذا يبدأ الحركة عموديًّا؟ ولِمَ لا يستمر كذلك؟

35. ● إذا أطلقت قذيفة مدفع من جبل مرتفع فإنّ الجاذبية تغير سرعتها على طول المسار. ولكن إذا أطلقت بسرعة عالية كافية لتدور في مدار دائريّ، فلا تغيّر الجاذبية سرعتها أبدا. فسِّر.

36. ● يمكن لقمر صناعيّ أن يدور حول القمر على ارتفاع 5 كم منه. ولكن لا يمكنه الدوران حول الأرض على مثل هذا الارتفاع. لماذا؟

37. ● هل تكون سرعة القمر الصّناعيّ الذي يدور في مسار دائري مغلق حول المشتري أكبر من 8 كم/ث؟ أم أقلّ؟ أم تساويه؟

38. ■ لماذا تُطْلَقُ الأقمارُ الصناعية عادة في اتجاه الشرق، أي الاتجاه نفسه الذي تدور به الأرض؟

39. ■ لِمَ تعدّ هاواي أكثر مكان ملائم لإطلاق الأقمار الصناعية غير القطبية في الولايات المتحدة؟ (مساعدة: انظر إلى الأرض الدوّارة من أعلى القطبين وقارنها بطاولة دوّارة).

40. ■ تكون الأرض قريبة من الشّمس في كانون الأول أكثر منها في حزيران. في أيّ هذين الشهرين تتحرك الأرض بسرعة أكبر حول الشّمس؟

41. ● ما شكل المدار عندما تكون سرعة القمر الصناعيّ عمودية في الأماكن كلّها على قوة الجاذبية؟

42. ■ يحوم قمر اتصالات بدورة مقدارها 24 ساعة حول نقطة ثابتة على الأرض. لماذا يوضع في المدار الصحيح في مستوى استواء الأرض؟ (مساعدة: تخيّل مدار القمر خاتمًا حول الأرض.)

43. ■ أسقط مهنيّ مفكًّا من طائرة نفاثة تطير على ارتفاع عالٍ، فارتطم بالأرض. إذا أسقط رائد فضاء في المكوك الفضائي مفكًّا فهل يرتطم بالأرض أيضًا؟ دافع عن إجابتك.

44. ● كيف يمكن لرائد فضاء في مكّوك فضائيّ أن "يُسقط" جسمًا عموديًّا على الأرض؟

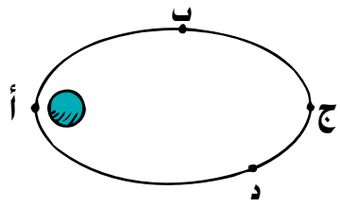
45. ● إذا أُوقف قمرٌ صناعيٌّ أرضيٌّ في مساره فإنه يسقط على الأرض. إذن لِمَ لا يتحطم على الأرض قمر الاتصالات الذي "يحوم دون حركة" فوق المنطقة نفسها من الأرض؟

46. ● السرعة المدارية للأرض حول الشّمس 30 كم/ث تقريبًا. إذا توقفت الأرض فجأة في مسارها فإنها تسقط قطريًّا في الشّمس. صمِّم خطة حيث تحمل حمولة مخلفات إشعاعية على صاروخ لينطلق إلى الشّمس كمكبّ نُفايات دائم. ما سرعة إطلاق الصاروخ واتجاهه بالنسبة إلى مدار الأرض؟

47. ■ انشطر قمر صناعي بسبب حادث انفجار إلى نصفين وهو في مداره الدائريّ حول الأرض. وقد تمّ إيقاف أحد النصفين لحظيًا. ما مصير النصف الذي تم إيقافه؟ ماذا يحدث للنصف الآخر؟ (مساعدة: فكِّر في حفظ الزخم.)

48. ■ إذا توقف بلوتو بطريقة ما في المدار فإنه سيسقط في الشّمس، بدلا من السقوط حولها. ما سرعته عندما يصطدم بالشّمس؟

49. ■ عند أيّ نقطة من تلك المشار إليها يتعرض القمر في المدار الإهليلجيّ لأكبر: قوة جاذبية؟ سرعة؟ سرعة متجهة؟ زخم؟ طاقة حركية؟ طاقة وضع جاذبية؟ مجموع طاقة؟ تسارع؟



50. ♦ ينطلق صاروخ في مدار إهليلجيّ حول الأرض؛ ليحصل على أكبر كمية طاقة حركية للإفلات باستخدام كمية معينة من الوقود. هل عليه إطلاق محركه في اتجاه النقطة الأبعد من الأرض، أم في اتجاه النقطة الأقرب إليها؟ (مساعدة: استعن بالعلاقة $Fd = \Delta KE$. افترض أنّ قوة الدفع F لفترة قصيرة وفي الفترة نفسها في كلتا الحالتين. ثم افترض أنّ d هي المسافة التي يقطعها الصاروخ خلال الانتقال القصير في الاتجاهين).

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

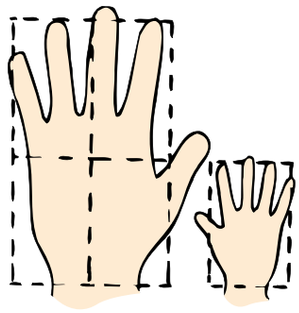
1. ● افترض أنّ المسافة بين كوكبين تتناقص إلى 5 . برهن أنّ القوة بينهما تصبح 25 مرة أقوى.
2. ● يعتقد العديد من الناس خطأً أنّ رواد الفضاء الذي يدورون حول الأرض هم "خارج الجاذبية". إذا علمت أنّ كتلة الأرض 6×10^{24} كجم، ونصف قطرها 6.38×10^{6} متر (6380 كم)، فاستخدم قانون التربيع – العكسي لتبيّن أنّ مكوك الفضاء، على بعد 200 كم عن سطح الأرض، وتؤثر فيه قوة جاذبية نحو 94% منها على سطح الأرض.
3. ■ كتلة نجم نيوتروني معين 3.0×10^{30} كجم (1.5 كتل شمسيّة) ونصف قطره 8,000 متر (8 كم). أثبت أنّ قوة الجاذبية عند سطح هذا النجم الكثيف المحترق هي 300 بليون مرة مثل الأرض.
4. ■ رميت كرة أفقيًّا من أعلى مرتفع بسرعة 10 م/ث. بيّن أنّ سرعتها بعد ثانية واحدة هي 14.1 م/ث.
5. ■ طارت طائرة أفقيًّا بسرعة ثابتة مقدارها 1000كم/ ساعة (280 م/ث) عندما سقط المحرك. مع إهمال مقاومة الهواء، افترض أنّ المحرك يصطدم بالأرض بعد 30 ثانية.
(أ) أثبت أنّ ارتفاع الطائرة 4500 متر.
(ب) أثبت أنّ المحرك يسقط على مسافة أفقية مقدارها 8400 متر.
(ج) إذا استمرت الطائرة في الطيران كما لو أنّ شيئًا لم يحدث، فأين يصبح المحرك بالنسبة إلى الطائرة في لحظة اصطدام المحرك بالأرض؟
6. ■ يطلق مدفع كرات بسرعة ابتدائية 141 م/ث بزاوية 45° وتتبع مسار قطع مكافئ. ثم تصيب بالونًا عند أعلى المسار. مع إهمال مقاومة الهواء، بيّن أنّ المدفع يضرب البالون بسرعة 100 متر/ث.
7. ■ تبلغ الطاقة الحركية لقمر صناعي معين 8 بلايين جول عند أقرب نقطة للأرض، و5 بلايين جول عند أقصى نقطة عنها. عند انتقال القمر من أقصى نقطة إلى أقرب نقطة، ما مقدار الشغل الذي تبذله الجاذبية؟ هل تزيد طاقة الوضع خلال هذا الزمن، أم تنقص؟ وما مقدار الزيادة أو النقصان؟
8. ■ تعطى القوة المركزية بالمعادلة $F_c = \frac{mv^2}{d}$، حيث m كتلة الجسم المتحرك في مسار دائري، وبسرعة v، وبعد d عن مركز المسار الدائري. وللقمر الذي يدور حول الأرض، فإنّ الجاذبية تعادل القوة المركزية. ساوِ بين القوتين المركزية والجاذبية، وبيّن أنّ سرعة القمر في مداره حول الأرض هي $v = \sqrt{\frac{GM}{d}}$ حيث M كتلة الأرض، وd هي المسافة بين مركزي الأرض والقمر.
9. ■ احسب السرعة بالمتر/ثانية التي تدور بها الأرض حول الشّمس. يمكنك الافتراض أنّ المسار دائريّ تقريبًا.
10. ■ يبعد القمر 3.8×10^{5} كم عن الأرض تقريبًا. بيّن أنّ معدل السّرعة المداريّة حول الأرض 1026 م/ث.
11. ♦ قوة الجاذبية من الأرض عليك هي GmM/d^2 ، حيث G ثابت الجذب الكوني، وm هي كتلتك. أمّا M فهي كتلة الأرض، وd هي بعدك عن مركز الأرض.
(أ) استخدم قانون نيوتن الثاني لإثبات أنك تتسارع بالجاذبية نحو الأرض على مسافة d من مركزها بمقدار $a = GM/d^2$.
(ب) كيف تدعم هذه المعادلة حقيقة أنّ تسارع الجاذبية لا يعتمد على كتلة الجسم في السقوط الحرّ؟
12. ♦ يعرف مجال الجاذبية حول جسم **كبير الكتلة** على أنه قوة الجاذبية للكتلة على جسم ما في جوار الجسم الكتلي. رمز مجال الجاذبية هو g الغامقة (وبقيمة تسارع الجاذبية g نفسها عند تلك النقطة)
(أ) بيّن أنّ مجال الجاذبية على مسافة r من مركز الأرض هو GM/r^2 ، حيث G ثابت الجذب الكوني، وM كتلة الأرض.
(ب) قيمة g عند سطح الأرض 9.8 نيوتن/كجم. بيّن أنّ قيمة g على بعد 4 أضعاف نصف قطر الأرض من مركز الأرض 0.6 م/ث^2.
13. ♦ قُذف حجر أفقيًّا من فوق جسر فارتطم بالماء في الأسفل على مسافة أفقية مقدارها x تقع مباشرة أسفل نقطة القذف. قطع الحجر مسار قطع مكافئ في زمن t.
(أ) بيّن أنّ ارتفاع الجسر $\frac{1}{2}gt^2$.
(ب) ما ارتفاع الجسر إذا كان زمنُ تحليق الحجر ثانيتين؟
(ج) ما المعلومات المتوافرة في الفصل الرابع، ولكنها لم تتوافر في الفصل الثاني لحلّ هذه المسألة؟
14. ♦ ضربت كرة بيسبول بزاوية حادة في الهواء، وصنعت مسار قطع مكافئ أملس. إذا كان الزمن في الهواء هو t، ووصلت إلى أقصى ارتفاع h. افترض أنّ مقاومة الهواء مهملة.
(أ) بيّن أنّ الارتفاع الذي تصل إليه الكرة هو $gt^2/8$.
(ب) إذا مكثت الكرة في الهواء 4 ثوانٍ، فبيّن أنّ الكرة تصل إلى ارتفاع 19.6 متر.
(ج) إذا وصلت الكرة إلى الارتفاع نفسه عند ضربها بزاوية أخرى، فهل يكون زمن التحليق هو نفسه؟
15. ♦ انزلقت قطعة نقود بسرعة مقدارها v عن سطح طاولة أفقية ترتفع مسافة y عن سطح الأرض.
(أ) بيّن أنّ القطعة ستسقط على مسافة $v\sqrt{\frac{2y}{g}}$ من رِجل الطاولة.
(ب) إذا كانت السرعة 3.5 م/ث، وكان ارتفاع الطاولة 0.4 متر، فبيّن أنّ المسافة التي ستسقط عندها تبعد عن رِجل الطاولة 1.0 متر.
16. ♦ يقيس الطلبة في المختبر سرعة كرة فولاذية تنطلق أفقيًّا من سطح طاولة وهي v. إذا كان سطح الطاولة على ارتفاع y فوق الأرضية. ووضعوا علبة قهوة طويلة من القصدير على الأرضية بارتفاع 0.1 متر لتسقط الكرات فيها.

(أ) بيّن أنّه يجب وضع العلبة على مسافة أفقية من رِجل الطاولة مقدارها $v\sqrt{\frac{2(0.9)y}{g}}$.

ب. إذا غادرت الكرة سطح الطاولة بسرعة 4.0 م/ث، وكان سطح الطاولة على ارتفاع 1.5م من الأرضية، وطول العلبة 0.15 متر، فبين أنّ مركز العلبة يجب أن يكون على بعد 0.52 متر من رِجل الطاولة.

أنشطة استكشافية

1. ارفع كفّيك بشكل ممدود أمامك، بحيث تكون المسافة بين إحداهما وعينيك ضعف مسافة الأخرى. للوهلة الأولى أيهما أكبر؟ يرى معظم الناس أنّ لهما الحجم نفسه، في حين يرى العديد منهم أنّ الكفّ الأقرب أكبر قليلا. وغالبًا لا أحد عند الفحص العشوائي، يرى أنّ الأقرب أكبر أربع مرات. ولكن بحسب قانون التربيع – العكسي، فإنّ طول الكفّ الأقرب وعرضها يجب أن يبدو أضعف طول الكفّ الأخرى وعرضها. وعليه، يجب أن تحتل مجالًا بصريًّا أكبر أربع مرات من الكفّ البعيدة. إنّ اعتقادك بأنّ حجم كفّيك هو نفسه يعدّ أقوى هذه المعلومات. والآن، إذا



طابقْتَ كفّيك قليلًا، ونظرت إليهما في حال كانت إحدى عينيك مغلقة، فسترى بوضوح أنّ الكفّ القريبة هي الأكبر. وهذا يثير سؤالا مهمًّا، هو: ما الأوهام الأخرى التي لديك، والتي لا يسهل فحصها؟

2. كرّر تجربة فحص العينين باستخدام ورقتي دولار: الأولى عادية (غير مثنية) والثانية مثنية في الوسط طوليًّا، ثم في الوسط عرضيًّا، وهكذا يصبح لها $\frac{1}{4}$ المساحة (مساحة الدولار العادي). ارفع الدولارين أمام عينيك. أين يجب أن تمسك الدولار المثني لكي ترى حجمه بحجم الدولار العادي؟ نشاط جميل؛ تشارك أنت وزملاؤك في تنفيذه.

3. اصنع "مسار عصا" باستعمال عصا وخيط، كما هو مبين في الجزء 4.4 الجزء الثاني.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقلّ مما يلي. أما إذا حصلت على أقلّ من 7 فعليك المزيد من الدراسة قبل الانتقال إلى فصل آخر.

اختر الإجابة الأفضل لكلّ مما يلي:

1. تعتمد قوة الجاذبية بين كوكبين على:
(أ) كتلتيهما والبعد بينهما.
(ب) الغلافين الجوّيين للكوكبين.
(ج) الحركات الدائرية.
(د) جميع ما ذكر.

2. عندما تنقص المسافة بين نجمين إلى الـ $\frac{1}{5}$ فإنّ القوة بينهما:
(أ) تتناقص إلى $\frac{1}{5}$.
(ب) تتناقص إلى $\frac{1}{25}$.
(ج) تزداد إلى 5.
(د) تزداد إلى 25.

3. إذا تضاعفت كتلة الشّمس، فإنّ جذبها للمريخ:
(أ) لا يتغير.
(ب) ضعف ما كان عليه.
(ج) نصف ما كان عليه.
(د) أربعة أضعاف ما كان عليه.

4. عندما ينعدم وزن رائد الفضاء، فإنه:
(أ) خارج سحب جاذبية الأرض.
(ب) ما زال ضمن تأثير جاذبية الأرض.
(ج) يتأثر بجاذبية بين النجوم.

(د) لا شيء مما ذكر.

5. عندما لا تؤثر مقاومة الهواء في كرة البيسبول السريعة الحركة، فإنّ تسارعها هو:
(أ) أقلّ من g.
(ب) بسبب الجمع بين حركتها الأفقية الثابتة وحركة تسارعها إلى الأسفل.
(ج) عكس قوة الجاذبية.
(د) صفر.

6. هل تقطع كرة مضروبة بزاوية 30° مع الأفقي مدًى كتلك التي لها السرعة نفسها وتقذف بزاوية:
(أ) 45°.
(ب) 60°.
(ج) 75°.
(د) لا شيء مما ذكر.

7. عندما تضرب مقذوفًا إلى الجوانب، فإنّه ينحني عندما يسقط. وسيصبح قمرًا أرضيًّا إذا كان المنحنى الذي يعمله:
(أ) يتساوى مع انحناء سطح الأرض.
(ب) يسير في خطوط مستقيمة.
(ج) يستمر إلى الأبد في حركة حلزونية.
(د) لا شيء مما ذكر.

8. إنّ قوة الجاذبية على القمر الصّناعيّ في المدار الدّائريّ:
(أ) ثابتة في المقدار.
(ب) متعامدة مع حركة القمر.
(ج) في اتجاه تسارعها.
(د) جميع ما ذكر.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

9. سرعة القمر الصّناعيّ في مدار إهليلجيّ:
(أ)تبقى ثابتة.
(ب) تؤثر بشكل عمودي في حركته.
(ج) تتغير.
(د) جميع ما ذكر.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

10. القمر الصناعي في مدار الأرض هو فوق ..... الأرضي
(أ) الغلاف الجوي.
(ب) المجال الجذبي.
(ج) كليهما.
(د) لا شيء مما ذكر.

إجابات إختبار الاستعداد للقراءة

1أ، 2ج، 3ج، 4ب، 5د، 6ج، 7أ، 8د، 9ب، 10أ

المزيد من الاستكشاف

كول، كي، سي. الثقب في الكون: كيف أطل العلماء من على حافة الفراغ ووجدوا كل شيء. نيويورك: هاركوت، 2001. قراءات ممتعة لغير العلماء.

اينشتاين، آي. و ل. انفليد. نشوء الفيزياء. نيويورك: سايمون وشوستر، 1938.

إذا كنت تعتقد أن كتابات آينشتاين كانت صعبة للقراءة، فسيغير هذا الكتاب نظرة عن الموضوع.

لمزيد من المعلومات حول توقعات ارتياد الفضاء، يرجى زيارة موقع شبكة جمعية الفضاء الوطنية (NSS) من خلال الرابط http://www.nss.org

الفصل 4 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 4.6، 4.14، 4.15، 4.19، 4.21، 4.28، 4.32، 4.35

دروس تعليمية

- الحركة والجاذبية
- المدارات وقوانين كبلر
- حركة المقذوفات

أشرطة فيديو

- طريقة فون جولي في قياس التجاذب بين كتلتين.
- قانون التربيع العكسي
- الوزن وانعدام الوزن
- انعدام الوزن الظاهري
- اكتشاف نيبتون
- عرض لحركة المقذوفات
- المزيد من حركة المقذوفات
- المدارات الدائرية

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

5

ميكانيكا الموائع

1.5 الكثافة

2.5 الضغط

3.5 الطّفو في السائل

4.5 قاعدة أرخميدس

5.5 الضّغط في الغاز

6.5 الضّغط الجوّيّ

7.5 مبدأ باسكال

8.5 الطّفو في الغاز

9.5 قاعدة برنولي

■ تسمّى كلّ من السّوائل والغازات موائع بسبب مقدرتها على الجريان؛ وحيث إنّ كليهما موائع فإنّه ينطبق عليهما قوانين ميكانيكيّة متشابهة. كيف يمكن لقارب مصنوع من الحديد ألا يغرق داخل الماء؟ أو ألا يهبط بالون مملوء بالهيليوم من السّماء؟ ما الذي يحدّد ما إذا كان جسم ما يمكن أن يطفو أو يغطس في الماء والهواء؟ لماذا يكون الغاز قابلًا للانضغاط، أما السّائل فلا؟ لماذا يكون من المستحيل استخدام أداة تنفُّس عندما تكون على عمق أكثر من متر داخل الماء؟ لِمَ تتأثر الأذن بقوة عندما تكون في مصعد؟ كيف يمكن للطّائرت الاستمرار في التّحليق؟ لشرح الموائع؛ علينا أن نبدأ بمبدأين هما الكثافة والضغط.

1.5 الكثافة

إنّ الكثافة خاصّية مهمة للمادة، سواء أكانت مادة صلبة، أم سائلة، أم غازيّة. وهي مقياس للتّراصّ (compactness): **الكثافة**. وأنّ ما نعرفه عن الكثافة هو أنّها خفّة المواد ذات القياس نفسه أو ثقلها. وهي مقياس لمقدار شَغْل الكتلة لحيّز معين؛ أي أنّها كمية المادة في وحدة الحجم. وتكتب في صورة المعادلة الآتية:

الكثافة= الكتلة / الحجم

كثافة بعض المواد مدونة في الجدول 1.5 تقاس الكتلة بوحدة الجرام أو الكيلوجرام، أمّا الحجم فيقاس بوحدة السنتيمتر المكعّب أو المتر المكعّب.*

الشّكل 1.5
عندما يقلّ حجم رغيف الخبز، تزداد كثافته إذا كانت الكتلة هي نفسها.

الجدول 1.5 كثافة بعض المواد

المادة	جرام لكلّ سنتيمتر مكعب (جم/سم^3)	كيلوجرام لكلّ متر مكعب (كجم/م^3)
سوائل		
زئبق	13.6	13,600
جلسرين	1.26	1,260
ماء بحر	1.03	1,025
ماء عند درجة 4° س	1.00	1,000
بنزين	0.90	899
الكحول الإيثيلي	0.81	806
مواد صلبة		
إريديوم	22.6	22,650
أوزميوم	22.6	22,610
بلاتين	21.1	21,090
ذهب	19.3	19,300
يورانيوم	19.0	19,050
رصاص	11.3	11,340
فضّة	10.5	10,490
نحاس	8.9	8,920
نحاس أصفر	8.6	8,600
حديد	7.8	7,874
قصدير	7.3	7,310
ألومنيوم	2.7	2,700
جليد	0.92	919
غازات (عند ضغط جويّ عند مستوى سطح البحر)		
هواء جاف		
0° س	1.29	
10° س	1.25	
20° س	1.21	
30° س	1.16	
هيليوم	0.178	
هيدروجين	0.090	
أكسجين	1.43	

لمعلوماتك

■ إنّ كثافة فلزّات الليثيوم، والصّوديوم، والبوتاسيوم (ليست في الجدول 1.5) جميعها أقلّ من كثافة الماء، لذا فإنّها تطفو.

* المتر المكعّب هو وحدة حجم تحوي مليون سنتيمتر مكعّب. وعليه، فإنّ المتر المكعّب من الماء يحوي مليون جرام (أو ما يعادل ألف كيلوجرام من الماء في المتر المكعّب). إذن، 1 جم/سم^3 = 1000 كجم/م^3.

وإنّ كتلة جرام واحد من أيّ مادة تساوي كتلة 1 سم^3 من الماء عند درجة حرارة 4°س. وعليه، فإنّ كثافة الماء هي 1 جم/سم^3. إنّ كثافة الزئبق 13.6 جرام/سم^3، وهذا يعني أنّه يساوي 13.6 ضعف كتلة الماء في حجم الماء نفسه. أمّا الإيريديوم (IR)، فهو عنصر قاسٍ وهشّ، وذو لون أبيض فضّيّ، وهو فلزّ من عائلة البلاتين، ويعدّ أكثف المواد الموجودة على الأرض.

تُستخدم الكمية المعروفة بالكثافة الوزنيّة عادة عندما نشرح ضغط السّائل، ويمكن التّعبير عنها بكمية الوزن لوحدة الحجم*.

الكثافة الوزنيّة = الوزن / الحجم

■ **نقطة فحص**

1. أيّهما له كثافة أكبر: 1 كجم من الماء أم 10 كجم في الماء؟
2. أيّهما له كثافة أكبر: 5 كجم من الرّصاص أم 10 كجم من الألومنيوم؟
3. أيّهما له كثافة أكبر: قالب من الحلوى أم نصف قالب منه؟

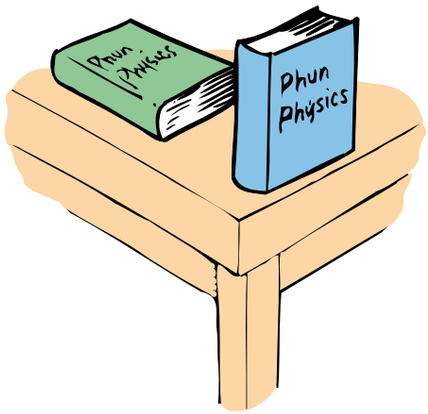
هل كانت هذه إجابتك؟

1. كثافة أيّ كمية من الماء هي نفسها اجم/سم^3 أو ما يكافؤها 1000 كجم/م^3. وهذا يعني أنّ كتلة الماء التي تملأ تمامًا حجم 1 سم^3 هي 1 جم، أو كتلة الماء التي تملأ تمامًا خزّانًا حجمه 1م^3 هي 1000 كجم. إنّ كيلو جرامًا واحدًا من الماء يملأ حجم لتر واحد، أمّا 10 كجم من الماء فتملأ خزّانًا حجمه 10 لترات. ومع ذلك، فإنّ المبدأ المهم هو نسبة الكتلة إلى الحجم، وهو نفسه لأيّ كمية من الماء.
2. الكثافة هي *نسبة* الكتلة إلى الحجم، وهذه النسبة تكون أكبر لأيّ كمية من الرّصاص من تلك التي للألومنيوم - انظر الجدول 1.5.
3. كثافة قالب من الحلوى هي نفسها كثافة نصفه.

■ 2.5 الضّغط

عند وضع كتاب على ميزان بغض النظر عن كيفية وضعه: على غلافه، أم على جانبه، أم على زاويته، سنجد أنّه يؤثّر بالقوة نفسها، حيث تكون قراءة الميزان هي نفسها. الآن، قدّر وزن الكتاب بوضعه على راحة كفّك. لا شكّ أنّك ستشعر باختلاف؛ لأنّ ضغط الكتاب يعتمد على المساحة التي تتوزع عليها القوة. (الشّكل 2.5). وهناك فرق بين القوة والضغط: **فالضّغط** يُعرَّف بأنّه القوة التي تؤثّر في وحدة المساحة كالمتر المربّع أو القدم المربّعة**:

الضّغط = القوّة / المساحة

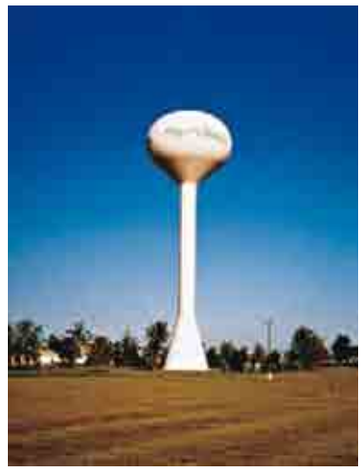


الشّكل 2.5

مع أنّ وزن كلا الكتابين هو نفسه إلاّ أنّ الكتاب الموضوع بشكل عموديّ يؤثّر بضغط أكبر في الطّاولة.

* الكثافة الوزنية معرّفة بالنسبة إلى نظام الوحدات المألوف في الولايات المتحدة الأمريكية (USCS)؛ حيث يزن قدم مكعبة واحدة من الماء النّقيّ (تقريبا 7.5 جالون) 62.4 باوند. وعليه فإنّ الكثافة الحجمية للماء النّقيّ هي 62.4 باوند/قدم^3. في حين أنّ الماء الملحيّ ذو كثافة أعلى قليلًا، ألا وهي 64 باوند/قدم^3.

** يمكن قياس الضغط بأيّ وحدة قوة مقسومة على أيّ وحدة مساحة. في النّظام الدّوليّ للوحدات، وحدة الضّغط هي النيوتن لكلّ متر مربع. وهذا يسمى باسكال (Pa) تكريمًا للعالم باسكال الذي عاش في القرن السابع عشر. إنّ الضّغط الذي مقداره1باسكال يعدّ ضغطًا ضئيلًا جدًّا، حيث يعادل ضغط قطعة نقد دولار واحد موضوعة على سطح طاولة أفقيّة تقريبًا. ومن المفضّل استخدام وحدة الضّغط كيلو باسكال (1*kPA*=1000 *Pa*).



الشّكل 3.5

لبرج الماء وظيفة أكبر من كونه خزان ماء. إنّ ارتفاع الماء فوق مستوى سطح الأرض يضمن ضغط ماء كافيًا لخزانات فرعيّة تزود البيوت بالماء.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يقيسه الميزان الزنبركي: الوزن، أم الضّغط، أم كليهما؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ الميزان يقيس الوزن، أي القوّة التي تضغط زنبركًا أو ما يعادله. وقراءة الوزن تكون هي نفسها سواء أكنتَ تقف على قدم واحدة أم على قدمين (ولكن الضّغط على الميزان سيكون مضاعفًا عندما تقف على قدم واحدة).

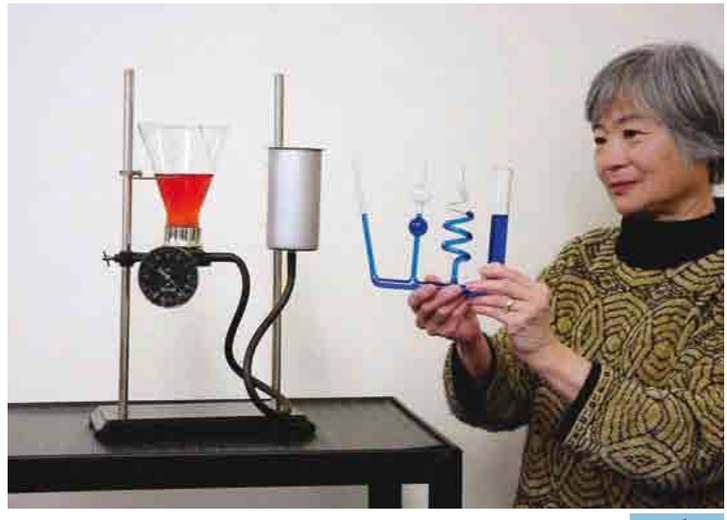
الضّغط في السّائل

عندما تسبح في الماء، تشعر بضغط الماء يؤثّر في طبلة أذنك. وكلما كنت تسبح عند عمق أكبر فإنّ الضّغط يكون أكبر كذلك. ما سبب هذا الضغط؟ إنّه ببساطة وزن الماء من فوقك- الماء والهواء- لأنّه يدفع في اتجاه مضاد لك. وكلما كنت تسبح على عمق أكبر، يزداد الماء الذي فوقك. وعليه، سيكون الضغط أكبر. وعندما تسبح على عمق مضاعف، فسيتضاعف وزن الماء من فوقك أيضًا. لذا، فإنّ أثر ضغط الماء الذي ستشعر به يكون مضاعفًا. ويُضاف الضّغطُ الجوّيُّ إلى ضغط الماء، وهو يكافئ ضغطًا إضافيًّا لعمود من الماء ارتفاعه 10.3م. ولأنّ الضّغط الجوّيّ على سطح الأرض يكون ثابتًا تقريبًا، فإنّ فرق الضّغط الذي تشعر به تحت سطح الماء يعتمد على التّغير في العمق فقط.

إنّ الضّغط الناتج عن السّائل يساوي بدقة حاصل ضرب الكثافة الوزنيّة في العمق*:

ضغط السّائل = الكثافة الوزنيّة × العمق

لاحظ أنّ الضّغط لا يعتمد على حجم السّائل. إنك تشعر بالضّغط نفسه عندما تكون في بركة ماء على عمق متر واحد، تمامًا كما تشعر به عندما تكون في وسط محيط على عمق المتر الواحد نفسه. ويمكن ملاحظة ذلك في الأوعية الموضّحة في الشّكل 4.5. إذا كان الضّغط عند قعر الأنبوب الأوسع أكبر من الضّغط عند قعر الأنبوب الأضيق المجاور، فإنّ هذا الضّغط الأكبر يدفع الماء جانبًا، ويعمل على رفع الماء في الأنبوب الأضيق إلى مستوى أعلى. لقد وجدنا أنّ هذا لم يحدث، وأنّ الضّغط يعتمد على العمق لا على الحجم.



الشّكل 4.5

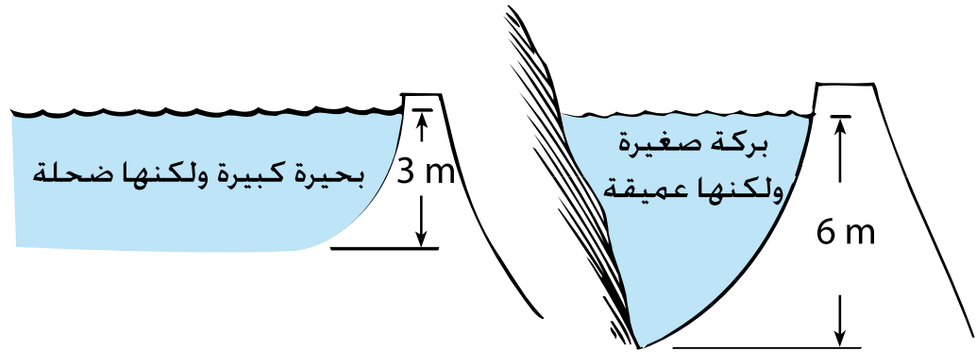
ضغط السّائل هو نفسه عند أيّ عمق أسفل السّطح، بغض النّظر عن شكل الوعاء الذي يحويه.

يسعى الماء للحفاظ على مستواه الخاص به. ويمكن ملاحظة هذا عندما نملأ خرطوم حديقة بالماء، ونجعل نهايتيه نحو الأعلى. إنّ مستوى ارتفاع الماء يكون نفسه سواء أكانت نهايتا الخرطوم متقاربتين أم متباعد. يعتمد الضّغط على العمق لا على الحجم. وهذا هو تفسير سبب بحث الماء عن مستواه الخاص به.

يؤثر ضغط السّائل بشكل متساوٍ في الاتجاهات جميعها، إلى جانب الاعتماد على العمق. فعلى سبيل المثال، عندما نغطس في الماء، فإنه لا فرق في الطّريقة التي نُميل بها رؤوسنا، إن آذاننا ستشعر بمقدار ضغط الماء نفسه. ولأنّ السّائل قابل للجريان فإنّ الضّغط لا يكون نحو الأسفل فقط. نحن نعلم أنّ الضّغط يؤثّر نحو الأعلى عندما نحاول دفع كرة بالقرب من سطح الماء نحو الأسفل. إنّ السّطح السّفليّ للقارب بالتأكيد يُدفع نحو الأعلى بواسطة ضغط الماء. كما أنّنا نعلم أنّ ضغط السّائل يؤثر بشكل جانبيّ عندما نرى تدفّق الماء جانبًا من ثقب في وعاء (قائم أو عموديّ). وأنّ الضّغط داخل السّائل عند أيّ نقطة يؤثّر بالمقدار نفسه في الاتجاهات جميعها.

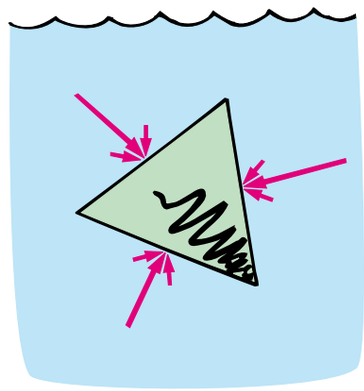
عند قياس ضغط الدم، لاحظ أنك تقيسه في الجزء العلويّ من ذراعك؛ أي على مستوى القلب.

* يمكن اشتقاق هذا من تعريف الضغط والكثافة. لنأخذ مساحة ما عند قعر وعاء يحوي سائلا. إنّ وزن عمود السّائل فوق تلك المساحة مباشرةً يُنتج ضغطًا. ومن تعريف الكثافة الوزنيّة التي تساوي الوزن مقسومًا على الحجم (الكثافة الوزنيّة = الوزن / الحجم)، يمكننا التعبير عن وزن السّائل بالعلاقة:
الوزن = الكثافة الوزنيّة × الحجم. حيث إنّ حجم عمود السّائل هو المساحة مضروبة في العمق. وهكذا نحصل على
الضغط = القوة / المساحة = الوزن / المساحة = (الكثافة الوزنيّة × الحجم) / المساحة
= (الكثافة الوزنيّة × المساحة × العمق) / المساحة = الكثافة الوزنية × العمق
لإيجاد الضغط الكلي: يجب إضافة الضّغط الجوّيّ عند سطح السّائل إلى هذه المعادلة.

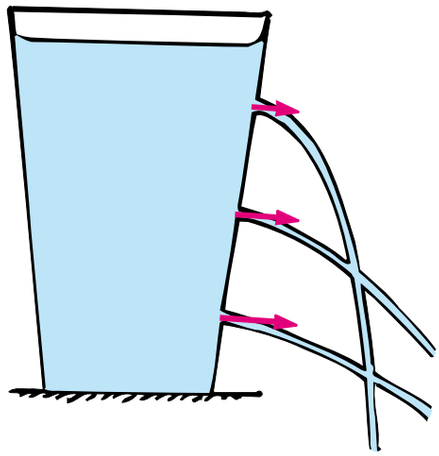


الشّكل 5.5
يعتمد متوسط ضغط الماء المؤثّر في السّدّ على متوسط عمق الماء وليس على حجمه الذي يحجزه خلفه. إنّ البركة الضحلة الواسعة تؤثّر بنصف متوسط الضّغط الذي تؤثّره بركة صغيرة وعميقة فقط.

عندما يضغط السّائل على سطح ما فإنّ القوّة المحصّلة تؤثّر بشكل عموديّ في السّطح (الشّكل 6.5). ولكن إذا كان هنالك ثقب في هذا السّطح، فإنّ السّائل يتدفق بزاوية قائمة معه قبل أن ينحني إلى الأسفل بسبب الجاذبية. (الشّكل 7.5). وعند عمق أكبر، فإنّ ضغط السّائل يكون أكبر أيضًا. كما أنّ سرعة خروجه تكون أكبر كذلك*.



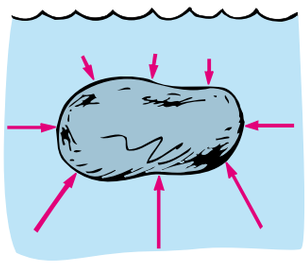
الشّكل 6.5
تتجمّع القوّة الناتجة عن ضغط السّائل على السّطح لإنتاج قوة محصّلة عموديّة عليه.



الشّكل 7.5
يعتمد وزن التفاحة على بُعدها عن مركز الأرض. تؤثّر متجهات القوّة في اتجاه متعامد مع السّطح الداخليّ لسطح الإناء، وتزداد بزيادة العمق.

■ 3.5 الطّفو في السائل

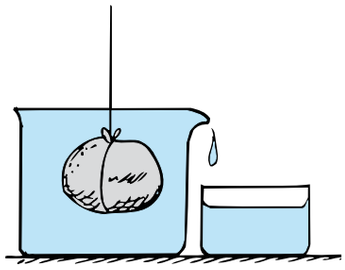
عندما يقوم شخص برفع جسم مغمور داخل الماء نحو الخارج فإنه يلاحظ قوة دفع السّائل. كما يلاحظ أنّ الجسم المغمور يخسر جزءًا من وزنه. فعلى سبيل المثال، إن رفع صخرة كبيرة من قعر نهر تكون مهمة سهلة ما دامت الصّخرة تحت الماء. ولكن عندما تصبح خارجه فإنّ القوة اللازمة لرفعها تكون أكبر. لأنّها تكون تحت تأثير قوّة عموديّة إلى الأعلى تعاكس قوة الجاذبيّة وهي مغمورة في الماء. تسمّى هذه القوّة التي إلى الأعلى **قوةَ الطّفو**. وتكون نتيجة لزيادة الضّغط مع زيادة العمق. يبين الشّكل 8.5 لماذا تؤثّر قوة الطّفو إلى الأعلى. ويكون تأثير الضّغط في كلّ مكان ضد الجسم في اتجاه متعامد على سطحه. تمثل الأسهم



الشّكل 8.5
إنّ زيادة الضّغط على السّطح السّفليّ لجسم مغمور ينتج قوة طفو نحو الأعلى.

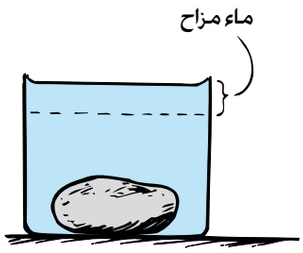
* سرعة تدفّق السّائل من الثقب هي $\sqrt{2gh}$، حيث h عمق الثقب أسفل سطح السّائل. وعلينا إدراك أنّ سرعة الماء هذه هي نفسها للماء أو لأيّ شيء آخر عندما يسقط سقوطًا حرًّا للمسافة h نفسها.

ضع قدمك في بركة سباحة بحيث تكون مغمورة. ارفعها واغمرها كاملة؛ إنّك تغرق.



الشّكل 9.5

عندما يغمر حجر في الماء، فإنه يزيح حجمًا من الماء يساوي حجمه.



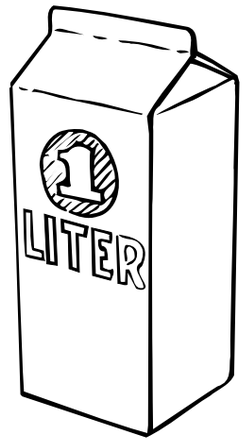
الشّكل 10.5

إنّ ارتفاع مستوى الماء في وعاء نتيجة وضع حجر فيه يكون هو نفسه إذا سُكِبَ ماءٌ بحجم يساوي حجم الحجر.

مقدار القوى واتجاهها عند مواقع مختلفة. إنّ القوى التي تنتج ضغوطا على الجوانب عند أعماق متساوية يلغي بعضها بعضًا. ويكون الضّغط أكبر على السّطح السّفليّ للصّخرة. والسّبب في هذا يرجع إلى أنّ السّطح السّفليّ يكون عند عمق أكبر. ولأنّ القوى العموديّة تكون أكبر على السّطح السّفليّ من السّطح العلويّ، فإنّ هذه القوى لا يلغي بعضها بعضًا. وتكون هناك قوة محصّلة إلى الأعلى. هذه القوة المحصّلة هي قوة الطّفو (Buoyant Force).

إذا كان وزن الجسم المغمور أكبر من قوة الطّفو فسيغطس. أما إذا كان وزن الجسم يساوي قوة الطّفو التي تؤثر إلى الأعلى في الجسم المغمور، فإنه يبقى عند أيّ مستوى، كالسّمكة مثلا. ولكن إذا كانت قوة الطّفو أكبر من وزن الجسم المغمور كاملًا، فإنّه سيرتفع إلى السّطح ويطفو.

إذا أردنا فهم الطّفو؛ فعلينا فهم ما يعنيه تعبير"حجم الماء المزاح". إذا وُضِعَ حجر في وعاء ملوء بالماء تمامًا إلى حافته، فإنّ بعض الماء يفيض من الوعاء نتيجة ذلك (الشّكل9.5). لقد *أزيح* الماء بواسطة الحجر. وبتفكير بسيط، سنتأكّد أنّ *حجم الحجر* هو مقدار الحيّز الذي شغله، أو مقدار السنتيمترات المكعّبة التي تساوي *حجم الماء المزاح*. وعند وضع جسم في وعاء ملوء جزئيًّا بالماء فإنّ سطح الماء سيرتفع داخل الوعاء (الشّكل10.5). والسّؤال الآن هو: إلى أيّ ارتفاع؟ الجواب، إلى المستوى الذي يجب أن يصل إليه عندما تضاف إلى الوعاء كمية من الماء تساوي حجم الجسم المغمور تمامًا. وهذه طريقة جيدة لتحديد حجم جسم عشوائيّ الشّكل. *يزيح الجسم المغمور كليًّا حجمًا من السّائل يساوي حجمه دائمًا.*



الشّكل 11.5

لتر ماء يشغل حجم 1000مم^3، وله كتلة 1 كجم، ووزنه 9.8 نيوتن. ويمكن التّعبير عن كثافته بـ 1 كجم/لتر، وكذلك التّعبير عن الكثافة الوزنيّة بـ 9.8 نيوتن/لتر (ماء البحر أكثف قليلًا، حوالي 10 نيوتن/لتر).

4.5 قاعدة أرخميدس

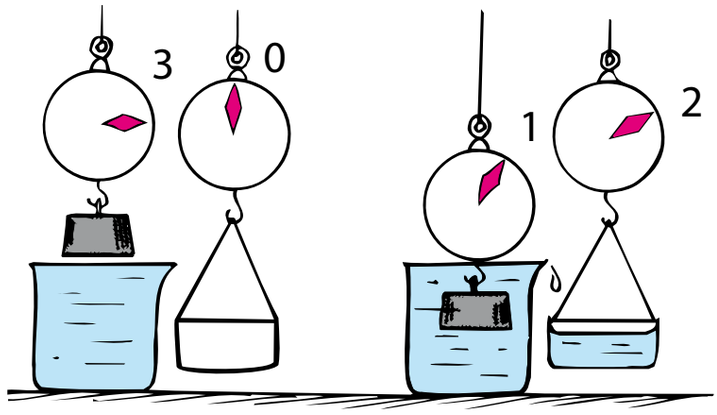
اكتشف العالِم اليوناني أرخميدس العلاقة بين الطّفو والسّائل المُزاح في القرن الثالث قبل الميلاد. وقد صيغت هذه العلاقة بالشّكل الآتي:

يخضع الجسم المغمور في مائع لقوة إلى الأعلى تساوي وزن المائع المزاح

وقد أطلق على هذه العلاقة مُسمّى **قاعدة أرخميدس**. تُطبّق هذه القاعدة على السّوائل والغازات على حدّ سواء لأنّ كليهما مائع. إذا أزاح الجسم المغمور مقدار 1 كجم من المائع، فإنّ قوة الطّفو التي تؤثر في الجسم تكون مساوية لوزن 1 كجم*. ونقصد بالمغمور سواء أكان *مغمورًا كليًّا أم جزئيًّا*. وعندما يغمر وعاء حجمه لتر واحد ومحكم الإغلاق، وملوء بالماء حتى نصفه، فإنه يزيح نصف لتر من الماء، ويتأثّر بقوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن نصف لتر الماء. ولكن إذا غمرنا الوعاء كليًّا فإنه سيتأثّر بقوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن لتر كامل (أو 1 كجم) من الماء. وإن لم يكن الوعاء المغمور بالكامل مضغوطًا، فإنّ قوة الطّفو تساوي وزن كيلوجرام واحد عند أيّ عمق. ويعزى هذا إلى أنّ الجسم لا يزيح من الماء أكثر من حجمه مهما كان عمقه. إنّ وزن هذا الحجم من الماء (ليس وزن الجسم المغمور) يكون مساويًا لقوة الطّفو.

* الكيلوجرام ليس وحدة قوّة بل وحدة كتلة. وبصياغة دقيقة: قوة الطّفو ليست 1 كجم بل وزن 1 كجم، وهو 9.8 نيوتن. ويمكننا القول إنّ قوة الطّفو هي وزن 1 كجم وليس 1 كجم.

عندما يزيح جسم كتلته 25 كجم كمية من المائع كتلته 20 كجم عند غمره في المائع، فإنّ وزنه الظاهريّ يساوي وزن 5 كجم من ذلك المائع. في الشّكل 12.5 لاحظ أنّ الكتلة 3 كجم لها وزن ظاهريّ يساوي وزن 1 كجم عندما تغمر. الوزن الظاهريّ للجسم المغمور هو وزنه خارج الماء مطروحًا منه قوة الطّفو.



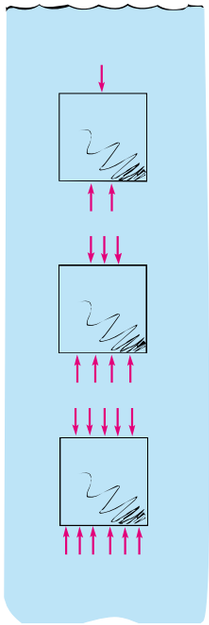
الشّكل 12.5
مكعّب كتلته 3 كجم يزن في الهواء أكثر من وزنه في الماء. عندما يغمر هذا المكعّب في الماء فإنّ مقدار النقصان في وزنه يساوي قوة الطّفو التي تساوي وزن الماء المزاح.

■ **نقطة فحص**

1. هل تعني قاعدة أرخميدس أنّ الجسم المغمور عندما يزيح 10 نيوتن من مائع فإنّ قوة الطّفو عليه تكون 10 نيوتن؟
2. وعاء حجمه لتر واحد مملوء تمامًا بمادة الرّصاص، كتلته 11.3 كجم، ومغمور داخل الماء. ما قوة الطّفو المؤثرة فيه؟
3. إذا ألقيت صخرة في بحيرة عميقة، فهل تزداد قوة الطّفو عندما تغرق هذه الصّخرة أعمق فأعمق، أم تقلّ؟

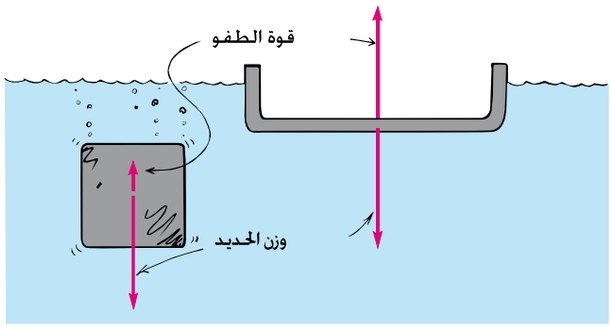
هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم. فُسِّر هذا استنادا إلى قانون نيوتن الثّالث. عندما يُزيح الجسم 10 نيوتن من المائع جانبًا، فإنّ المائع يعاكسه بقوة دفع تساوي 10نيوتن.
2. تساوي قوةُ الطّفو وزنَ 1كجم (9.8 نيوتن)؛ لأنّ حجم الماء المزاح هو لتر واحد، وكتلته 1كجم، ووزنه 9.8 نيوتن. لاتعدّ الكتلة 11.3 من مادة الرّصاص مهمة. إنّ لترًا واحدا من أيّ شيء يغمر في الماء يزيح لترًا واحدًا. وعليه، فإنه يدفع بقوة طفو إلى الأعلى تساوي 9.8 نيوتن، أي وزن 1كجم من الماء. (يمكنك الحصول على هذه النتيجة دون جهد كبير).
3. تبقى قوة الطفو كما هي، فهي لا تتغير بغرق الصخرة؛ لأنّ الصخرة تزيح حجم الماء نفسه عند أيّ عمق. والسّبب في ذلك هو أنّ الماء – عمليّا- غير قابل للانضغاط، فكثافته هي نفسها عند أيّ عمق. وهكذا، فإنّ الماء المزاح أو قوة الطّفو –عمليّا- هي نفسها عند الأعماق جميعها.



الشّكل 13.5
الفرق بين القوى التي إلى الأعلى والتي إلى الأسفل المؤثرة في مكعب مغمور هو نفسه مهما كان العمق.

من المؤكد أنّ مدرسك سيلخّص قاعدة أرخميدس من خلال مثال عدديّ يوضح الفرق بين القوى المؤثرة نحو الأعلى والأسفل على مكعب مغمور (بسبب الاختلاف في الضّغط)، ويساوي ذلك (عددًا) وزن المائع المزاح. لا يوجد أيّ فرق من حيث موقع المكعب في الماء. صحيح أنّ الضّغط يزداد مع العمق، إلاّ أنّ الفرق في الضّغط المؤثر بين أسفل المكعب وأعلاه هو نفسه بغض النظر عن العمق (الشكل 13.5) ومهما كان شكل الجسم المغمور، فإنّ قوة الطّفو تساوي وزن المائع المزاح.



الشّكل 14.5
مكعب حديد ينغمر، إلا أنّ المقدار نفسه من الحديد على شكل تجويف يطفو.

الطّفو

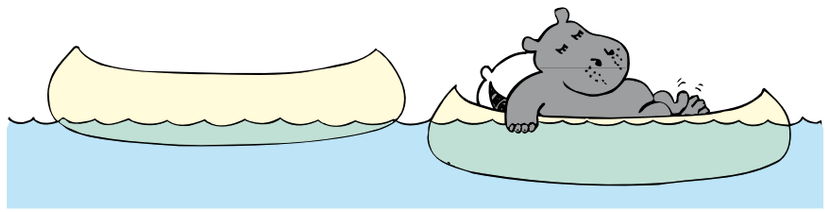
هناك حالة خاصة فقط من الطّفو تكون فيها قوة الطّفو المؤثّرة في جسم ما تساوي وزن الجسم نفسه.

إنّ كثافة الحديد أكبر كثيرًا من كثافة الماء. وعليه، فإنّ الحديد يغرق في الماء. ومع ذلك، تطفو سفينة مصنوعة من الحديد. ما السبب في ذلك؟ سندرس بالتجربة قالبًا حديديًّا صلبًا كتلته طنّ واحد. إنّ كثافة الحديد تعادل ثمانية أضعاف كتلة الماء تقريبًا. وعندما تغمر في الماء، فإنها تزيح $\frac{1}{8}$ طنّ من الماء. وهي بالتأكيد ليست كافية لمنع ذلك القالب من الغرق. وعلى افتراض أننا غيّرنا شكل هذه الكمية نفسها من الحديد بحيث تصبح على شكل تجويف، كما في الشكل 14.5. وبقي لها الوزن نفسه لكتلة طن واحد. فعندما نضعها داخل الماء، فإنها تستوي على الماء بحيث تزيح حجمًا من الماء أكبر من الحجم السابق. وكلما غمرتها أكثر داخل الماء أزاحت كمية أكبر من الماء، و كانت قوة الطّفو المؤثرة فيها أكبر. وعندما تساوي قوة الطّفو وزن طنّ واحد، فإنه لا يمكنها الغوص أكثر.

عندما يزيح القارب الحديديّ وزنًا من الماء يساوي وزنه فإنه يطفو. وهذا ما يسمى **مبدأ الطّفو** ***(Principle of Flotation):***

يزيح الجسم الطّافي وزنًا من المائع يساوي وزنه.

يصمم كلّ منطاد هوائي، أو سفينة، أو غواصة بحيث يزيح وزنًا من المائع يساوي وزنه. وهكذا، فإنّ سفينة كتلتها 10,000 طنّ تبنى بأبعاد تكون كافية لإزاحة 10,000 طنّ من الماء قبل أن تغطس كثيرًا فيه. والشيء نفسه يطبّق على الأوعية في الهواء. فالمنطاد أو البالون الضخم الذي يزن 100 طنّ يزيح 100 طنّ من الهواء على الأقلّ. وإذا أزاح أكثر من ذلك، فإنه يرتفع إلى الأعلى. ولكن إذا أزاح أقلّ من ذلك، فإنه يهبط إلى الأسفل. إما إذا أزاح مقدار وزنه تمامًا، فإنه يحوم عند الارتفاع نفسه.



الشّكل 15.5
وزن جسم يطفو على الماء يساوي وزن الماء المزاح من الجزء المغمور من الجسم.

الفيزياء في التّاريخ

■ **أرخميدس والتّاج الذّهبيّ**

كُلِّف أرخميدس (212 - 287 قبل الميلاد) بمهمة تتلخّص في تحديد ما إذا كان تاج ملك سيراكوزيا هيرو الثاني مصنوعًا من الذهب الخالص، أو أنه يحوي أيضًا بعض الفلزّات الرّخيصة كالفضّة. وكان ما يشغل بال أرخميدس هو تحديد كثافة التّاج دون تحطيمه. لقد كان قادرًا على معرفة وزنه، إلا أنّ تحديد حجمه كان هو المشكلة. تروي لنا القصة أنّ أرخميدس توصل إلى الحلّ عندما غمر جسمه في بركة عامة في سيراكوزيا ولاحظ الارتفاع في مستوى الماء. وكان في غاية الإثارة بحيث خرج من البركة عاريا إلى الشّارع وهو يصرخ: "وجدتها! وجدتها!".

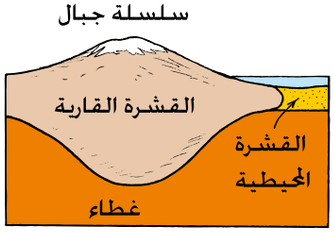
لقد اكتشف أرخميدس طريقة بسيطة ودقيقة لحساب حجم جسم غير منتظم؛ إنّها طريقة الإزاحة في تحديد الأحجام. وبمجرد معرفته لكلّ من الوزن والحجم أمكنه حساب الكثافة. بعد ذلك، قارن بين كثافة كلّ من التّاج والذهب. فتوصّل إلى أنّ الخاتم قد خُلِطَ بالفضة ولم يكن ذهبا خالصا. إنّ ما توصّل إليه أرخميدس قد سبق قانون نيوتن في الحركة والذي يمكن أن يُشتق منه مبدأ أرخميدس قبل حوالي 2000 سنة.

ربط مع

علوم الأرض

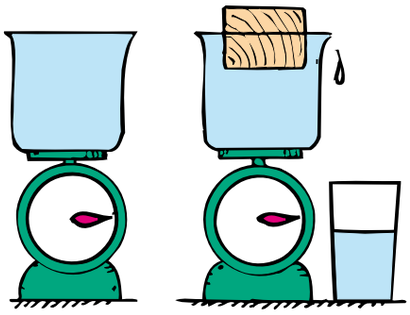
■ جبال طافية

تطفو الجبال على غطاء أرضيّ شبه سائل تماما كجبل جليديّ يطفو فوق سطح الماء. كلاهما (الجبال الأرضيّة أو الجليديّة) له كثافة أقلّ من كثافة المادة التي تطفو عليها. وتمامًا مثل معظم الجبال الجليديّة التي تكون أسفل سطح الماء (90%)، فإنّ معظم الجبال (حوالي 85%) تمتد على غطاء شبه سائل كثيف. إذا كان بإمكانك كشط قمة الجبل الجليديّ، فسيصبح أخفّ. ومن ثمَّ فإنه يُدفع نحو الأعلى حتى يصل إلى علوه الأصليّ نفسه قبل عملية الكشط.. وبالمثل، فإنّ الجبال الأرضيّة عندما تتعرّض للتآكل، فإنها تصبح أخفّ. ومن ثمَّ تدفع نحو الأعلى بحيث تطفو تقريبًا عند علوها الأصليّ نفسه. وهكذا، فإنه عند تآكل 1كم من جبل أرضيّ، فإنّ حوالي 85% من الكيلو متر المتآكل من الجبل سيُسترجع. وهذا يدعونا إلى أن نسأل: لماذا تحتاج الجبال إلى وقت طويل لتتأثر بالعوامل الجوّيّة؟ الجبال - مثل الجبال الجليدية - تكون أكبر مما تبدو لك. إنّ مبدأ



الجبال العائمة أو الطافية يكوّن توازنًا في القشرة الأرضيّة؛ وهذا هو مبدأ أرخميدس للصّخور.

ولأنّ قوّة الطّفو المؤثّرة في الجسم تساوي وزن السّائل المزاح، فإنّ السّوائل الأكثف تؤثّر بقوّة طفو في جسم ما أكبر من تلك التي يؤثّر بها سائل أقلّ كثافة في جسم له الحجم نفسه. وهكذا، فإنّ السّفينة تطفو فوق الماء المالح لعلوّ أكبر منه في حالة الماء النّقيّ؛ لأنّ كثافة الماء المالح أكبر من كثافة الماء النّقيّ. وبالطريقة نفسها فإنّ قطعة من فلزّ الحديد تطفو في الزّئبق مع أنها تغطس في الماء.



الشّكل 16.5

الجسم الطافي يزيح وزنًا من المائع يساوي وزنه.

■ نقطة فحص

املأ الفراغ بما يناسبه في العبارتين التاليتين:

1. حجم الجسم المغمور في سائل يساوي _____ السّائل المزاح.
2. وزن الجسم الطّافي يساوي _____ السّائل المزاح.
3. لماذا يكون الطّفو أسهل في الماء المالح منه في الماء النّقيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. حجم
2. وزن
3. عندما تطفو فوق الماء، فإنّ وزن الماء المزاح يساوي وزنك. ولأنّ الماء المالح أكثف من الماء النّقيّ، فإنك لا تغطس ما دمت لا تزيح وزنك من الماء. ولكنك تطفو لعلوّ أكبر فوق الزئبق (كثافته 13.6 جم/سم^3)، في حين تغطس كليًّا في الكحول (كثافته 0.8 جم/سم^3).

لاحظ أننا تناولنا في شرحنا للسّوائل التّعبير عن قاعدة أرخميدس وقانون الطّفو بدلالة الموائع وليس السّوائل. ويعود ذلك إلى أنّ السّوائل والغازات طَوْران مختلفان للمادة.

إنّ 9 من 10 من الناس الذين لا يستطيعون السباحة هم من الذكور؛ لأنّ معظم الذكور يمتلكون عضلات أكثر، كما أنّ كثافتهم أعلى من كثافة الإناث. وتعوم علبة الصودا القليلة السّكّر (الدايت) أما علبة الصودا العادية فتغرق في الماء. ماذا يؤكد ذلك فيما يتعلق بالكثافة النسبية؟

الشّكل 17.5

الباخرة نفسها فارغة ومحمّلة. كيف يمكن المقارنة بين وزن الحمل من جهة ووزن الماء الإضافي المزاح بسبب الحمل من جهة أخرى.

السّوائل والغازات كلاهما مائع. يأخذ الغاز شكل الإناء الذي يوضع فيه. أما السّائل فهو كذلك أيضًا، ولكن أسفل سطحه.

إلا أنّ كليهما موائع ينطبق عليهما كثير من المبادئ الميكانيكية. والآن سنتناول ميكانيكية الغازات تحديدًا.

5.5 الضّغط في الغاز

إنّ الفرق الرّئيس بين الغاز والسّائل يكمن في المسافة بين الجزيئات: ففي الغاز تكون الجزيئات بعيدًا بعضها عن بعض، ومتحررة من قوى التماسك بينها. وهذه القوى هي التي تسيطر على حركة الجزيئات في حالتي المواد الصّلبة والسّائلة. إنّ الحركة الجزيئية في الغاز تكون أقلّ تقييدًا. يتمدد الغاز بحيث يملأ الفراغ المتاح، ويؤثر بضغط في الوعاء الموجود فيه. ولكن عندما تكون كمية الغاز كبيرة كما في حالة الغلاف الجوي الأرضي أو النجم فإنّ قوى الجاذبية تحدّد حجم الغاز أو شكل كتلته.

قانون بويل

إنّ ضغط الهواء داخل إطارات العربة أكبر كثيرًا من الضّغط الجويّ خارجه. كما أنّ كثافة الهواء داخل الإطار تكون أكبر من كثافته في الخارج. ولمعرفة العلاقة بين الضّغط والكثافة؛ فكّر في جزيئات الهواء (وبخاصّة النيتروجين والأكسجين) داخل الإطار. تسلك الجزيئات سلوك كرات البلياردو المتناهية في الصغر، حيث تتحرك بعشوائية وتضرب بقوة على الجدران الداخلية منتجة قوة شديدة يمكن تحسسها كدفع سكونيّ. إنّ قوة الدّفع هذه على مساحة الجدار تعطي ضغط الهواء الدّاخليّ.

إذا افترضنا وجود عدد مضاعف للجزيئات في الحجم نفسه (الشكل 18.5) فإنّ كثافة الهواء تتضاعف. وعلى افتراض أنّ الجزيئات تتحرك بمتوسط السرعة نفسه - أو ما يعادل ذلك إذا كان لهما درجة الحرارة نفسها - فإنّ عدد التصادمات سيكون مضاعفًا، وهذا يعني أنّ الضّغط يكون مضاعفًا. وهكذا، فإنّ الضّغط يتناسب مع الكثافة.

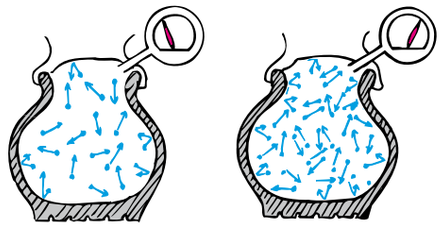
إذا ضاعفنا كثافة الهواء في إطار عربة بمضاعفة كمية الهواء، أيمكننا كذلك مضاعفة الكثافة عند ثبات كمية الهواء عن طريق ضغطه إلى نصف حجمه. وإذا درسنا أسطوانة مع مكبس متحرك، كما في الشّكل 19.5. فإننا سنلاحظ أنّه إذا دُفع المكبس إلى الأسفل بحيث يصبح الحجم نصف الحجم الأصلي فإنّ كثافة الجزيئات تتضاعف. وبناءً عليه يتضاعف الضّغط. ولكن إذا أنقصنا الحجم إلى ثلث الحجم الأصليّ فإنّ الضّغط سيزداد ثلاثة أضعاف. وقِسْ على ذلك (على أن تبقى درجة الحرارة ثابتة).

بملاحظة هذه الأمثلة المتعلقة بالمكبس، فإنّ حاصل ضرب الضّغط في الحجم يبقى ثابتًا. فعلى سبيل المثال، حاصل ضرب ضعف الضّغط في نصف الحجم هو نفسه حاصل ضرب ثلاثة أضعاف الضّغط في ثلث الحجم. وعمومًا، يمكننا صياغة ذلك بأنّ حاصل ضرب الضّغط في الحجم لكتلة ما من الغاز يبقى ثابتًا *ما لم يوجد أيّ تغيير في درجة الحرارة. الضغط × الحجم* لعينة من الغاز عند لحظة زمنية يساوي أيّ *ضغط آخر × حجم آخر* لعينة الغاز نفسها عند أيّ لحظة زمنية أخرى. ويعطى بالرّمز الآتي:

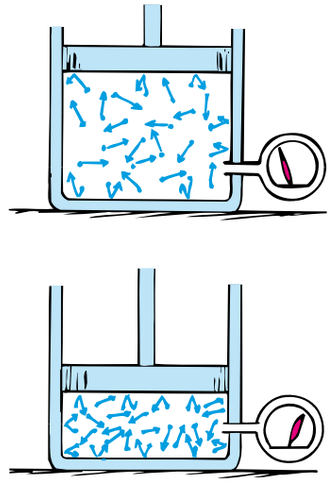
$$P_1V_1 = P_2V_2$$

حيث V_1 و P_1 تمثّلان الضّغط والحجم الأصليّين على التّرتيب، أمّا P_2 و V_2 فتمثلان الضّغط والحجم اللاحقَين. تسمّى هذه العلاقة **قانون بويل**، تكريمًا للفيزيائيّ روبرت بويل (Robert Boyle) الذي عاش في القرن السّابع عشر*.

يُطبّق قانون بويل على الغازات المثاليّة. إنّ الغاز المثاليّ هو ذلك الغاز الذي تهمل القوى بين جزيئاته، وكذلك يهمل حجم جزيئاته المفردة. كما أنّ الهواء والغازات الأخرى تقترب من ظروف الغاز المثاليّ عند الضّغوط ودرجات الحرارة العاديّة.



الشّكل 18.5
عندما تزداد كثافة الغاز داخل الإطار يزداد الضّغط.



الشّكل 19.5
عندما يقلّ حجم الغاز تزداد كثافته وضغطه.

* القانون العام الذي يأخذ في الحسبان تغيرات درجة الحرارة هو $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$ حيث T_1 و T_2 تمثلان درجتي الحرارة المطلقة الابتدائيّة والنهائيّة، والمقيسة بوحدات SI التي تسمى كلفن (الفصل 6).

■ **نقطة فحص**

1. سُحب مكبس مرتبط بمضخة هواء محكمة بحيث يتضاعف حجم هواء الحجرة ثلاث مرات. ما التّغير في الضّغط؟
2. يتنفس شخص داخل الماء، بحيث يضغط الهواء القريب من السّطح. إذا استطاع الاحتفاظ بِتَنَفُّسِه حتى خروجه إلى السّطح، فما أثر ذلك في حجم رئتيه؟

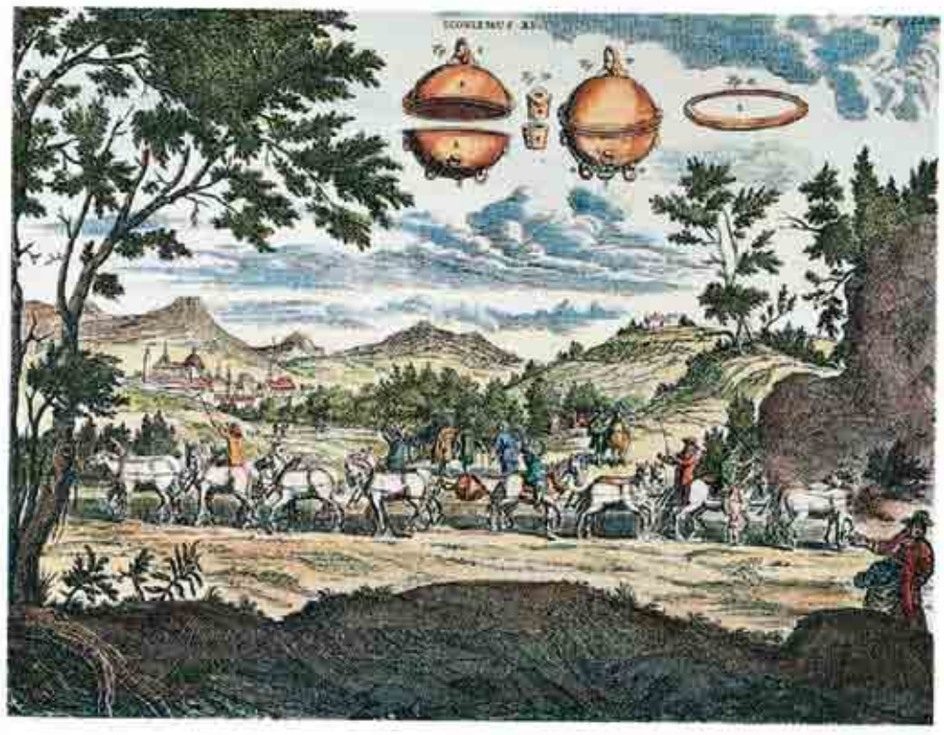
هل كانت هذه إجابتك؟

1. يقلّ الضّغط في حجرة المكبس حتى يصل إلى الثّلث، وهذا هو المبدأ الرّئيس لمضخة التّفريغ الميكانيكيّة.
2. عندما يخرج هذا الشّخص إلى السّطح، فإنّ ضغط الماء المحيط بجسمه يقلّ بحيث يسمح لحجم الهواء في رئتيه بالزيادة. إنّ أول درس من دروس الغطس هو ألا تحتفظ بتنفسك عندما تصعد، فمثل هذا التصرف قد يكون مميتًا.

■ 6.5 الضّغط الجوّيّ

نحن نعيش في قعر محيط هوائي: فالغلاف الجوّيّ يشبه إلى حدّ كبير الماء في بحيرة، أي أنّه يؤثر بضغط. إحدى أشهر التجارب التي توضِّح ضغط الغلاف الجوّيّ أجراها أوتو فون غوريكي (Otto von Guericke) من بلدة "ماجديبرج" الألمانية Magdeburg الذي اخترع مضخّة التّفريغ سنة 1654م. وضع فون جوريكي نصفي كرة مفرغة متلاصقين معًا بحيث يشكلان كرة قطرها 0.5 متر كما في الشّكل 20.5. ثمَّ ألصقهما معًا بوضع مادة زيتية وشمعية بينهما بحيث يتلاصقان تمامًا. وبعدها أفرغ الكرة من الهواء باستخدام مضخّة تفريغ. وقد حاولت مجموعتان تتكون كلّ منهما من ثمانية أحصنة فصل نصفي الكرة أحدهما عن الآخر فلم تفلحا.

من المثير للاهتمام أن تجربة فون جوريكي قد سبقت معرفة قانون نيوتن الثالث. إنّ القوى المؤثرة على نصفي الكرة هي نفسها إذا اسْتَخْدَمَ فريقًا واحدًا من الأحصنة وربط الطّرف الآخر من الحبل بشجرة!



الشّكل 20.5
توضح تجربة أنصاف كرات ماجديبرج (Magdeburg) سنة 1654 الضّغط الجوّيّ. مجموعتان من الأحصنة لم تفلحا في سحب نصفي الكرة المفرغة أحدهما عن الآخر. هل كان نصفا الكرة مشدودين إلى أحدهما عن الآخر؟ بماذا؟

عندما ينخفض ضغط الهواء داخل أسطوانة كما في الشّكل 21.5، فإنّ قوّة عموديّة إلى الأعلى تؤثّر في المكبس. وهذه القوة كبيرة وقادرة على رفع وزن ثقيل. وإذا كان القطر الدّاخليّ للأسطوانة 12 سم أو أكثر، عندئذ يمكن رفع شخص بهذه القوة.

ماذا توضح التّجربتان في الشّكلين 20.5 و21.5؟ هل تظهران أنّ الهواء يؤثر بضغط. أم أنّ هنالك قوة سحب؟ إذا قلنا إنّ هنالك قوة سحب، فإننا نفترض أنّ الفراغ يؤثّر بقوة. ولكن ماذا نقصد بالفراغ؟ إنّه عدم وجود مادة؛ أي أنّه حالة اللاوجود. إذن كيف يمكن للعدم أو اللاوجود أن يؤثّر بقوة؟ إنّ نصفي الكرة لم يلتصقا معًا، ولا المكبس هو الذي حمل الثّقل إلى الأعلى. والصّحيح هو أنّ ضغط الغلاف الجوّيّ (الضّغط الجوّيّ) يدفع بقوة على نصفي الكرة والمكبس أيضًا.

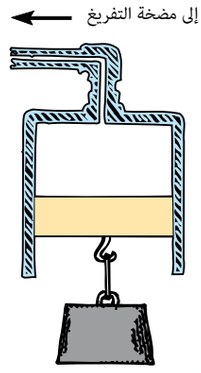
ينتج الضّغط الجوّيّ بسبب وزن الهواء تماما كضغط الماء الذي ينتج بسبب وزن الماء. لقد تكيّفنا تماما مع الهواء غير المرئيّ، والذي ننسى أنّه ذو وزن أحيانا، كالسّمكة التي (تنسى) أنّ للماء وزنًا. إنّ سبب عدم شعورنا بهذا الوزن المؤثّر في أجسامنا هو أنّ الضّغط داخل أجسامنا يساوي ضغط الهواء المحيط بنا. وعليه،لا توجد قوة محصلة لكي نشعر بها.

عند مستوى البحر، فإنّ المتر المكعّب من الهواء عند درجة حرارة 20^{o} سلسيوس له كتلة تساوي 1.2 كجم تقريبًا. ولكي تحسب كتلة الهواء في غرفتك؛ عليك معرفة عدد الأمتار المكعبة وضربها في 1.2 كجم/م^3. لا تندهش إذا وجدتها أثقل من فتاة صغيرة. وإذا كانت هذه الفتاة الصغيرة لا تعتقد أنّ للهواء وزنًا، فهذا يعزى إلى أنها محاطة بالهواء دائمًا. وعندما تحمل وعاءً بلاستيكيًّا مليئًا بالماء، فإنها ستخبرك أنّ له كتلة. ولكن عندما تحمل الوعاء نفسه وهي تغوص في بركة سباحة، فإنها لا تشعر بوزن ذلك الوعاء؛ إننا لا نشعر بوزن الهواء؛ لأننا نغوص فيه.

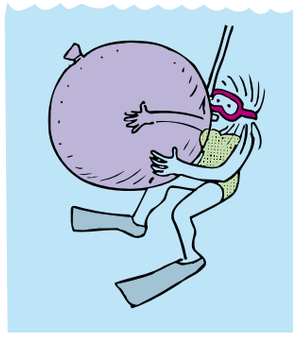
ولأنّ كثافة الماء في بركة هي نفسها عند المستويات جميعها (بافتراض أنّ درجة الحرارة ثابتة)، إلا أنّ كثافة الهواء في الغلاف الجوّيّ تقلّ كلّما زاد الارتفاع. إنّ كتلة متر مكعّب عند سطح البحر تساوي 1.2 كجم، ولكن كتلة الحجم نفسه من الهواء عند ارتفاع 10 كم فهي 0.4 كجم. ولمعادلة ذلك؛ فإنّ الطّائرات يجب عليها أن تتكيّف مع الضغط. إنّ الهواء الإضافيّ اللازم لمعادلة الضّغط على طائرة جامبوجت 747 - على سبيل المثال- أكثر من 1000 كجم. إنّ الهواء يكون ثقيلًا إذا امتلكت كمية كافية منه.

تأمّل كتلة الهواء الموجود في عود قصب أسطوانيّ مجوّف عموديّ، طوله 30 كم ومساحة مقطعه 1سم^2. وبافتراض أنّ كثافة الهواء داخله هي نفسها خارجه، فإنّ كتلة الهواء المحصور في هذا العود هي 1 كجم تقريبًا. وأنّ وزن هذه الكمية الكبيرة من الهواء حوالي 10 نيوتن. وهكذا، فإنّ الضّغط عند أسفل عود القصب 10 نيوتن/سم^2 تقريبا. وبالطبع، هذا صحيح دون وجود عود القصب. إنّ مترًا مربعًا واحدًا يساوي 10000 سم^2. وعليه، فإنّ كتلة عمود هواء مساحة مقطعه 1م^2، ويمتد إلى الأعلى خلال الغلاف الجوي هي 10,000 كجم تقريبا. إنّ وزن هذا الهواء حوالي 100,000 نيوتن. وهذا الوزن يولّد ضغطًا يساوي 100,000 نيوتن/م^2، أو ما يعادل 100,000 باسكال (*Pa*). أو 100 كيلوباسكال (*kPa*). ولكي نكون أكثر دقّةً، فإنّ متوسط الضّغط الجوّيّ عند سطح البحر هو 101.3 كيلوباسكال.*

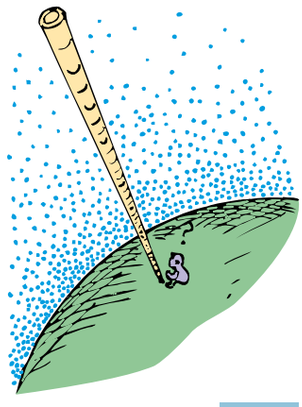
إنّ الضّغط الجوّيّ غير متجانس؛ فإلى جانب الاختلافات النّاتجة عن الارتفاعات فإنّ هناك اختلافات في الضّغط الجوّيّ في المكان الواحد، وهذا ناتج عن حركة العواصف. ويعدّ قياس التّغيّر في ضغط الهواء مهمًّا جدًّا في التّنبؤات الجوّيّة.



الشّكل 21.5
أيُسحبُ المكبسُ أم يُدفعُ؟



الشّكل 22.5
لا يمكن ملاحظة وزن دلو من الماء إذا كنت غاطسًا في الماء. وبالمثل، لا يمكنك ملاحظة وزن الهواء المحيط بك.



الشّكل 23.5
إنّ كتلة الهواء الموجود داخل سارية من الخيزران رفيعة وممتدة إلى أعلى طبقة الغلاف الجوي هي 1 كجم تقريبًا. ووزن هذا الهواء حوالي 10 نيوتن.

*الباسكال هو وحدة قياس الضّغط في النّظام الدّوليّ SI. متوسط الضّغط عند سطح البحر (101.3 kPa) غالبا يسمى 1 ضغط جوي (atm). في نظام الوحدات البريطانيّ، متوسط الضّغط الجوّيّ عند سطح البحر 14.7 باوند/إنش^2 (باوند لكلّ إنش مربع psi).

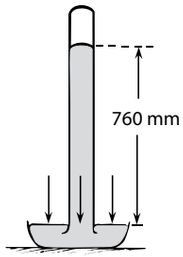
■ **نقطة فحص**

1. قدِّر كتلة الهواء بالكيلوجرام في غرفة صفّ مساحة سطحها 200م^2 وارتفاعها 4م (بافتراض أنّ درجة حرارة الغرفة 10 درجات مئوية).
2. لماذا لا يكسر الضّغط الجوّيّ زجاج النّوافذ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كتلة الهواء هي 1000 كجم. وحجم الهواء 200 م^2 × 4م = 800 م^3. وكتلة كلّ متر مكعّب من الهواء هي 1.25 كجم تقريبًا. وعليه، 800 م^3 × 1.25 كجم/م^3 = 1000 كجم (حوالي طنّ).
2. يؤثّر الضّغط الجوّيّ في جانبي النّافذة. ولهذا، لا توجد محصلة قوّة عليها. وعليه،إذا كان هناك نقص أو زيادة في الضّغط على أحد جانبي النّافذة لسبب أو لآخر كما في حالة وجود ريح قويّة، فعليك الانتباه والحذر!

مقاييس الضّغط الجوّيّ (البارومترات (Barometers))



الشّكل 25.5
مقياس ضغط زئبقيّ بسيط. يندفع الزّئبق نحو الأعلى في الأنبوب بسبب الضّغط الجوّيّ.

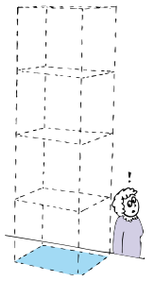
تسمى الأداة التي تستخدم لقياس الضّغط الجوّيّ البارومتر. وهناك بارومتر زئبقيّ موضّح في الشّكل 25.5. يتكوّن من أنبوب زجاجيّ طوله أكثر من 76 سم، ومغلق من إحدى نهايتيه، ومملوء بالزّئبق، ومقلوب رأسًا على عقب في صفيحة من الزّئبق. يتدفّق الزّئبق في الأنبوب خارج النّهاية المفتوحة المغمورة حتى يصبح الفرق بين مستوى الزّئبق في الأنبوب والصفيحة 76 سم. إنّ الفراغ فوق مستوى الزّئبق في الأنبوب ما عدا بعض بخار الزّئبق هو فراغ نقيّ.

إنّ شرح عمل هذا البارومتر يشبه اتزان أرجوحة الأطفال: يتزن البارومتر عندما يكون وزن السّائل في الأنبوب يؤثر بالضغط نفسه الذي يؤثر به الضّغط الجوّيّ في الخارج. وبغض النظر عن مساحة مقطع الأنبوب. فإنّ عمودًا من الزّئبق طوله 76 سم له الوزن نفسه للهواء الذي يملأ أنبوبًا طوله 30 كم، وله كذلك مساحة المقطع نفسها. إذا ازداد الضّغط الجوّيّ، فإنّ الغلاف الجوي يدفع الزّئبق عاليًا داخل الأنبوب. وهكذا فإنّ الزّيادة في ارتفاع عمود الزّئبق تؤثّر بضغط مكافئ.

يمكن استخدام الماء بدلًا من الزّئبق في البارومتر، ولكن في هذه الحالة يجب استخدام أنبوب أطول كثيرًا ؛ أي 13.6 ضِعْفًا؛ لأنّ كثافة الزّئبق تعادل 13.6 ضعف كثافة الماء. وهذا يوضّح سبب أن يكون طول أنبوب الماء 13.6 ضعف طول أنبوب الزّئبق (لهما مساحة المقطع نفسها) لكي نحصل على الوزن نفسه للزّئبق الذي في الأنبوب. يجب أن يكون طول البارومتر المائيّ 13.6 × 0.76 م، أو 10.3م ؛ إنّه طويل جدًّا لكي يمكن استخدامه.

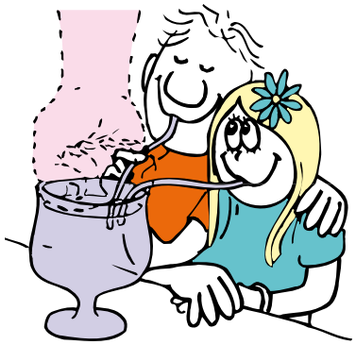
إنّ ما يحدث في البارومتر يشبه ما يحدث عندما تشرب بماصّة. فعندما تستعمل الماصة في الشّرب فإنّك تقلّل ضغط الهواء داخلها عندما توضع في السّائل. إنّ الضّغط الجوّيّ على السّائل يدفعه إلى المنطقة ذات الضّغط المنخفض. وبصياغة دقيقة، فإنّ السّائل لا يُمتصّ إلى الأعلى، ولكن يُدفع خلال الماصّة بضغط الغلاف الجوّيّ. وإذا مُنع الغلاف الجوّيّ من الدّفع على سطح السّائل كما في حالة قارورة تتصل معها الماصّة من خلال سداد فلين محكم الإغلاق، حيث لا تؤدي عملية السّحب في هذه الحالة إلى نتيجة.

إذا فَهِمت هذه التجارب، أيمكنك فهم لماذا يكون الارتفاع 10.3م هو المدى الذي يمكن رفع الماء اليه باستخدام مضخة تفريغ. تعمل المضخّة الزّراعيّة القديمة الموضّحة في الشّكل 27.5 عن طريق إنتاج فراغ جزئيّ في خرطوم مياه يمتد نحو الأسفل إلى أن يصل ماء البئر. إنّ الضّغط الجوّيّ على سطح الماء يدفعه داخل الخرطوم؛ حيث يكون الضّغط داخله أقلّ. هل يمكنك ملاحظة أنّ أقصى ارتفاع يمكن رفعه بهذه الطريقة هو 10.3م حتى عند وجود فراغ مثاليّ ؟



الشّكل 24.5
إنّ وزن الهواء الذي يضغط إلى الأسفل على سطح مساحته 1م^2 عند سطح البحر هو 100,000نيوتن تقريبًا. وهكذا، فإنّ الضّغط الجوّيّ حوالي 10^5 نيوتن/م^2 أو 100 كيلو باسكال تقريبًا.

بالنسبة إلى العمّال الذين يعملون في منشآت تحت الماء في محيط هواء مضغوط، يكون مقدار ضغط الهواء في حجراتهم تحت الماء مساويًا لمجموع ضغط الماء والضّغط الجوّيّ الخارجيّ على الأقلّ.



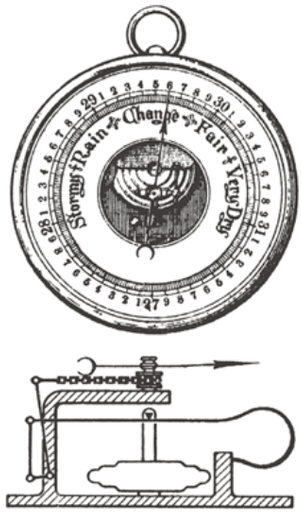
الشّكل 26.5
إنهما لا يمتصان الصودا بالماصتين و لكنهما قلّلا الضغط في الماصتين، مما سمح للضغط الجوي بدفع السائل إلى أعلى. فهل يمكنها شرب الصودا بهذه الطريقة على القمر؟

الشّكل 27.5
يدفع الضّغط الجوّيّ الماء من الأسفل إلى الأنبوب الذي فُرِّغَ بمضخة تفريغ.

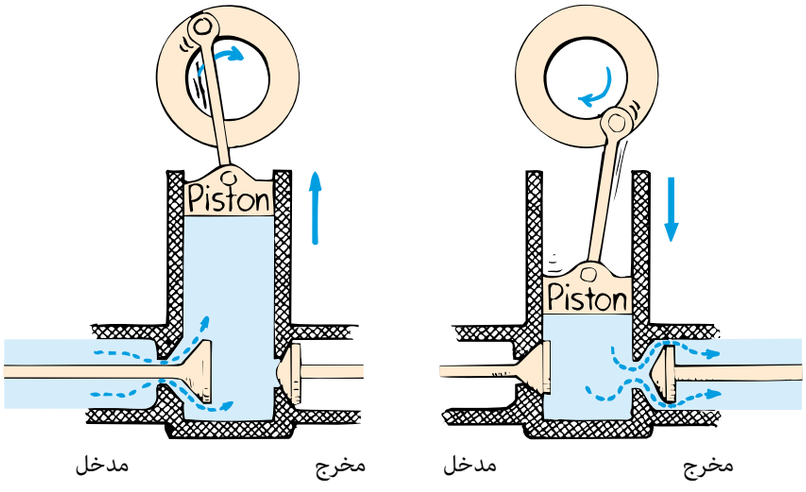
عند رفع مقبض المضخة إلى الأعلى فإنّ الهواء في الأنبوب يضعف عندما يتمدد ليملأ حجمًا أكبر. إنّ الضّغط الجوّيّ على جدران البئر يدفع الماء داخل الأنبوب مسبّبًا تدفّق الماء من الصّنبور.

وهناك أداة صغيرة محمولة تستخدم في قياس الضّغط الجوّيّ هي *البارومتر* اللاسائليّ. مبيّنة في الشّكل 28.5. وهي عبارة عن صندوق فلزّيّ مفرّغ جزئيًّا من الهواء مع غطاء مرن قليلًا بحيث يمكن أن ينحني إلى الداخل أو إلى الخارج عند حدوث تغيُّر في الضّغط الجوّيّ. تظهر حركة الغطاء على تدريج في نظام ميكانيكي مكوّن من زنبرك مع رافعة. ولأنّ الضغط الجوي يقلّ كلّما زاد الارتفاع فإنّنا نستطيع استخدام البارومتر لتحديد الارتفاع. يُسمى البارومترُ المعدنيّ المعاير (Calibrated) مع الارتفاع مقياسَ الارتفاع (الألتمتر). إنّ بعض هذه الأدوات حسّاس بما يكفي للإشارة إلى التّغيّر في الارتفاع عندما تمشي على درج*.

نستطيع تقليل ضغط الهواء بمضخات تعمل بفاعلية الغاز الذي يملأ حاوياتها. هناك حيّز ضغطه أقلّ. يتدفق الغاز من المنطقة ذات ضغط مرتفع إلى منطقة ذات ضغط منخفض. وببساطة. تعمل مضخّة التّفريغ على تفريغ منطقة ما ومن ثم الحصول على ضغط منخفض حيث تنتشر جزيئات الغاز بشكل سريع في تلك المنطقة. ويعاد تخفيض ضغط الهواء بعمل مكبس وصمام (الشّكل 29.5).



الشّكل 28.5
مقياس الضّغط اللاسائليّ (لا يحوي سائلًا).



الشّكل 29.5
مضخّة التّفريغ الميكانيكيّة. عند رفع المكبس يفتح صمام المدخل فيتحرك الهواء لملء الفراغ. وعندما يتحرك المكبس نحو الأسفل، فإنّ صمام المخرج ينفتح، ثمَّ يخرج الهواء إلى الخارج. ما الذي عليك تغييره لتحويل هذه المضخّة إلى ضاغطة هواء؟

* يعدّ البالون الصغير المملوء بالهيليوم ويرتفع في الهواء إثباتًا على اختلاف الضّغط الذي يمكن ملاحظته نتيجة التّغيّر في الارتفاع لمتر واحد أو أقلّ. وفي الحقيقة. فإنّ الغلاف الجوّيّ يدفع بقوة أكبر عند أسفل البالون بما هي عند أعلاه.

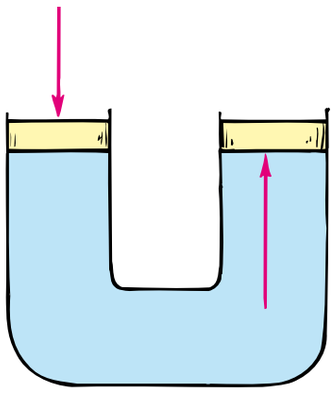
7.5 مبدأ باسكال

إنّ إحدى الحقائق الأكثر أهمية فيما يتعلق بضغط المائع، هي أنّ التّغيّر في الضّغط عند جزء من المائع ينتقل دون نقصان إلى الأجزاء الأخرى منه. فعلى سبيل المثال، إذا زاد ضغط خزّان مدينة بالماء عند محطة الضّخ بمقدار 10 وحدات ضغط فإنّ الضّغط في أنابيب نظام التّوصيل جميعها سيزداد بمقدار 10 وحدات ضغط (على أن يكون الماء في حالة سكون). وهذه القاعدة تسمى **مبدأ باسكال**.

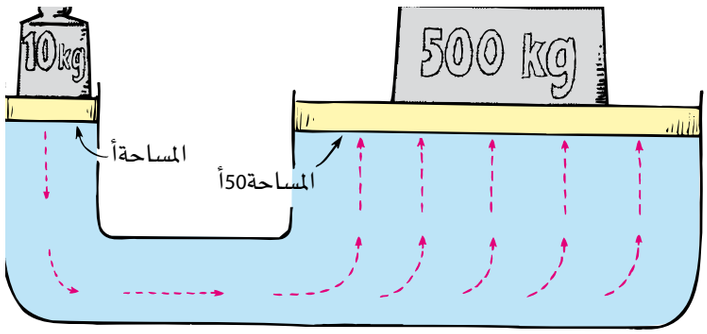
ينتقل التّغيّر في الضّغط عند أيّ نقطة في مائع محصور وساكن دون نقصان إلى أجزاء المائع جميعها.

ككتشف مبدأ باسكال في القرن السّابع عشر على يد العالم اللاهوتي بليس باسكال (Blaise Pascal). سمّيت وحدة الضغط في النظام الدولي SI باسمه. (حيث إنّ 1 باسكال = 1 نيوتن لكلّ متر مربع). 1 نيوتن/م^2 = 1Pa.

املأ أنبوبًا على شكل حرف U بالماء، وثبّت مكبسًا عند كلّ نهاية من نهايتيه. كما في الشّكل 30.5. إنّ الضّغط المؤثّر في المكبس الأيسر ينتقل خلال السّائل، وعلى أسفل المكبس الموجود في الجهة اليمنى. (ببساطة، تسُدُّ المكابس نهايتي المكبس وتنزلق بحرية مع إحكام إغلاق الأنبوب). كما أنّ الضّغط الذي يؤثّر به المكبس الأيسر في الماء يساوي تمامًا الضّغط الذي يؤثّر به الماء في المكبس الأيسر. ولكن إذا كان الأنبوب من الجهة اليمنى أوسع، وتمّ استخدام مكبس مساحته أكبر عند تلك الجهة فإنّ النتيجة ستكون مثيرة. في الشّكل 31.5 المكبس الأيمن له مساحة 50 ضعف مساحة المكبس الأيسر (ولنقل إنّ مساحة المكبس الأيسر 100 سم^2، ومساحة الأيمن 5000 سم^2). وبافتراض أننا وضعنا 10 كجم على المكبس الأيسر فسيكون هناك ضغط إضافيّ نتيجة وزن الكتلة ينتقل خلال السّائل؛ بحيث يؤثّر في المكبس الأيمن. وهنا نتساءل: من أين أتى الفرق بين القوة والضغط؟ إنّ الضّغط الإضافيّ يؤثر في كلّ سنتيمتر مربع من مساحة المكبس الأكبر؛ لأنّ مساحة المكبس الأكبر 50 ضعف مساحة المكبس الأصغر. وهكذا، فإنّ المكبس الأكبر قادر على حمل كتلة 500 كجم - 50 ضعف تلك التي على المكبس الأصغر!



الشّكل 30.5
إنّ القوة المؤثرة في المكبس الأيسر تزيد الضّغط في السّائل، وتنقله إلى المكبس الأيمن.

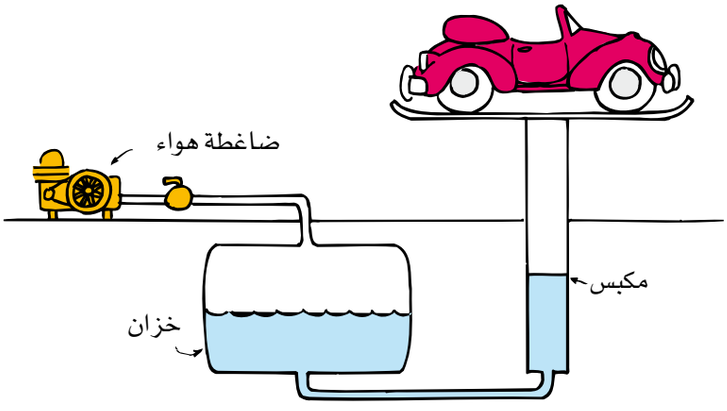


الشّكل 31.5
تدعم كتلة 10 كجم على المكبس الأيسر كتلة 500 كجم على المكبس الأيمن.

إنّ هذا هو ما يجب تناوله؛ وهو أنه يمكننا مضاعفة القوة باستخدام مثل هذه الأداة. ومن الممكن أن ينتج نيوتن واحد 50 نيوتن. وكلّما زدنا مساحة المكبس الأكبر أكثر فأكثر أو قلّلنا مساحة المكبس الأصغر، يمكننا مضاعفة القوة من حيث المبدأ عند أيّ لحظة. إنّ مبدأ باسكال يشكّل الأساس في عمل المكبس الهيدروليكيّ.

إنّ المكبس الهيدروليكيّ لا يتعارض عمله مع مبدأ حفظ الطاقة؛ لأنّ نقصان المسافة التي تتحركها مكوناته تلزم لزيادة القوة. في الشّكل 31.5 عندما يتحرك المكبس الصّغير مسافة 10 سم نحو الأسفل، فإنّ المكبس الأكبر يتحرك ما نسبته واحد إلى خمسين فقط من هذه المسافة، أي 0.2 سم. إنّ القوة المؤثرة في المكبس الصغير مضروبة في المسافة التي يتحركها تساوي القوة النّاتجة مضروبة في المسافة التي يتحركها المكبس الكبير. ويعدّ هذا مثالا آخر على الآلة البسيطة التي تعمل على المبدأ نفسه لعمل الرافعة الميكانيكيّة.

يطبّق مبدأ باسكال على الموائع جميعها سواء كانت غازات أو سوائل. ومن التّطبيقات النموذجيّة على مبدأ باسكال في الغازات والسّوائل رافعة السّيارات التي تستعمل في محطات خدمة السيارات (الشّكل 32.5). حيث تزيد ضغط الهواء الناتج عن الضّاغطة، ثمّ يُنقل خلال الهواء إلى سطح الزّيت الموجود في خزان تحت الأرض. وهنا يقوم الزّيت بنقل الضّغط إلى المكبس الذي يرفع السّيارة إلى الأعلى. إنّ الضّغط المنخفض نسبيًّا، والذي يؤثّر كقوة رفع في المكبس هو ضغط الهواء في إطارات السّيارة نفسه تقريبًا.



الشّكل 32.5
قاعدة باسكال في محطة خدمة السّيارات.

الشّكل 33.5
يمكن تطبيق مبدأ باسكال على الآلات الهيدروليكيّة عمومًا، وبخاصّة الآلات الضّخمة.

يستخدم علم الهيدروليّات (علم السّوائل أو الموائع المتحرّكة) في الأدوات الحديثة بدءًا من الصغيرة جدًّا وحتى الكبيرة جدًّا. ويمكن ملاحظة المكابس الهيدروليكيّة تقريبا في آلات البناء جميعها، حيث ترفع أوزانا ثقيلة (الشّكل 33.5).

■ **نقطة فحص**

1. لرفع السّيّارة في الشّكل 32.5، كيف يتغيّر مستوى الزّيت في الخزّان مقارنة مع المسافة التي ترتفعها السيارة؟
2. إذا أخبرك صديق إنّ الأداة الهيدروليكيّة هي طريقة عامة لمضاعفة القوة، فما ردّك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. ترتفع السّيارة نحو الأعلى مسافة أكبر من المسافة التي ينخفضها مستوى الزيت لأنّ مساحة المكبس أصغر من مساحة سطح الزّيت في الخزّان.
2. لا؛ على الرّغم من أنّ الآلة الهيدروليكيّة كالرّافعة الميكانيكيّة لديها إمكانية مضاعفة القوة، إلا أنّها تقوم بذلك على حساب المسافة دائمًا. الطاقة هي حاصل ضرب القوة في المسافة. ولأنّ زيادة إحداهما تعني تقليل الأخرى، فإنه لا توجد آلة يمكنها *مضاعفة الطاقة*!

■ 8.5 الطّفو في الغازّ

يعيش سرطان الماء في قعر المحيط، وينظر إلى الأعلى صوب السّمك الهلاميّ وغيره من الأحياء البحرية الأخفّ من الماء التي تسبح فوقه. وهكذا نحن: نعيش في قعر محيط من الهواء، وننظر إلى الأعلى حيث البالونات والأجسام الأخفّ من الهواء تتحرك فوقنا. وكما أنّ البالون معلّق في الهواء، فإنّ السّمك الهلاميّ معلّق في الماء للسّبب نفسه: كلّ منهما يدفع بقوة طفو إلى الأعلى تزيح وزنًا من المائع يساوي وزنها. تخضع الأجسام في الماء لتأثير قوة طفو إلى الأعلى؛ لأنّ الضّغط المؤثّر في السّطح السّفليّ للأجسام نحو الأعلى يزيد على الضّغط المؤثر في السّطح العلويّ للأجسام نحو الأسفل. وبالمثل، فإنّ ضغط الهواء المؤثّر إلى الأعلى في الأجسام المغمورة في الهواء يكون أكبر من الضّغط المؤثّر في الأجسام نحو الأسفل. كما أنّ قوّة الطّفو في كلتا الحالتين تساوي وزن المائع المزاح عدديًّا. ويمكننا تطبيق قاعدة أرخميدس على الهواء كما على الماء تمامًا:

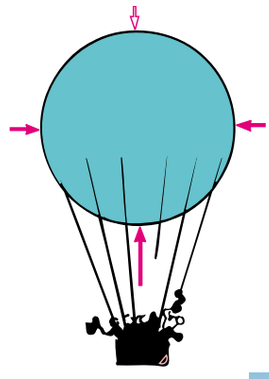
أيّ جسم محاط بالهواء يقع تحت تأثير قوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن الهواء المزاح.

نحن نعلم أنّ كتلة متر مكعّب من الهواء عند ضغط جوّيّ عاديّ ودرجة حرارة الغرفة تساوي 1.2 كجم . وعليه، فإنّ وزنه يساوي 12 نيوتن تقريبًا. وهكذا، فإنّ جسمًا حجمه 1م^3 في الهواء يتأثر بقوة طفو 12 نيوتن. إذا كانت كتلة هذا الجسم الذي حجمه 1م^3 أكبر من 1.2 كجم (وزنه أكبر من 12 نيوتن) فإنه سيسقط نحو الأرض عندما يُترك. وإذا كان هناك جسم بهذا الحجم، ولكن كتلته أقلّ من 1.2كجم، فإنّ قوة الطّفو عليه تكون أكبر من وزنه. ولهذا، فإنه سيرتفع في الهواء. إنّ أيّ جسم كتلته أقلّ من كتلة حجمه من الهواء سيرتفع في الهواء. وبتعبير آخر، فإنّ أيّ جسم كثافته أقلّ من كثافة الهواء سيرتفع في الهواء. إذن، كثافة البالون المملوء بالغاز الذي يرتفع في الهواء أقلّ من كثافة الهواء.

إذا كان البالون فارغًا تمامًا من الغاز، فهذا يعني أن لا وزن له (ما عدا وزن مادة البالون فقط). ولكن هذا البالون سينكمش بسبب الضّغط الجوّيّ. يعدّ الهيدروجين أخفّ الغازات، ولكنه نادر الاستعمالّ بسبب قابليته العالية للاشتعال. الغاز الموجود داخل البالون يحول دون انكماشه تحت تأثير الضّغط الجوّيّ. أمّا الغاز المستخدم في البالونات الرّياضيّة فهو ببساطة هواء ساخن. يستخدم غاز الهيليوم عادة في البالونات التي نرغب في أن ترتفع عاليًا، أو تبقى في الفضاء فترات زمنية طويلة. إنّ كثافة الهيليوم قليلة، بحيث إنّ وزنَي البالون والهيليوم معًا أقلّ من وزن الهواء المزاح. يستخدم الغاز ذو الكثافة القليلة في البالون للسّبب نفسه الذي يستخدم فيه فِلّين الحافظات. ليس للفِلّين قابلية الغوص تحت سطح الماء، كما الغاز ليس له ميل للارتفاع. إنّ كلًّا من الفِلّين والغاز يتأثّران بقوة طفو إلى الأعلى كأيّ شيء آخر. وببساطة، فإنهما خفيفان لدرجة أنّ قوة الطّفو المؤثّرة فيهما ذات أهمية.

لمعلوماتك

■ كان باسكال معتلّ الصّحّة وهو في الثّامنة عشرة من العمر، وبقي كذلك حتى وافته المنيّة وهو في سنّ التّاسعة والثّلاثين. وقد صنّف على أنّه عالِم لأنّه مؤسّس الهيدروليكا التي غيّرت تقنية الطّبيعة أكثر مما تصور. كما أنّه يعدّ لاهوتيًّا بسبب ما كان يؤمن به من مزاعم، وخصوصًا فيما يتعلق بالطّبائع الإنسانيّة؛ ومن هذه المزاعم قوله: لايقترف الناس فعل الشّر ويتمنونه بابتهاج كما لو قاموا به بناءً على معتقد دينيّ.



الشّكل 34.5
تُدفع الأجسام جميعها إلى الأعلى بقوة تساوي وزن الهواء الذي تزيحه. إذن لماذا لا تطفو الأجسام جميعها كالبالون؟

وبعكس الماء، فإنّ أعلى الغلاف الجوّيّ ليس محدّدًا تمامًا بسطح. ومع ذلك، وعلى خلاف الماء، فإنّ كثافة الغلاف الجوّيّ تقلّ مع الارتفاع. وفي حين يطفو الفِلّين على سطح الماء، فإنّ البالون المليء بغاز الهيليوم لا يرتفع إلى أيّ سطح غلاف جوّيّ. هل يصعد بالون الغاز الأخفّ من الهواء إلى ارتفاع غير معروف؟ ما الارتفاع الذي يصل إليه البالون؟ يمكننا صياغة الإجابة بعدة طرق: يرتفع البالون المليء بالغاز ما دام وزن الهواء المزاح أكبر من وزن البالون. ولأنّ الهواء يصبح أقلّ كثافة مع الارتفاع، فإنّ وزن حجم الهواء المزاح يكون أقلّ كلّما ارتفع البالون مسافة أكثر. وعندما يكون وزن الهواء المزاح مساويًا لمجموع وزن البالون فإنّ حركة البالون إلى الأعلى تتوقف. ويمكننا القول كذلك أنّه عندما تكون قوة الطّفو على البالون مساويةً لوزنه فإنّ البالون يتوقف عن الارتفاع. وبالمثل، عندما تكون كثافة البالون (بما يحويه) مساوية لكثافة الهواء المحيط به فإنّ البالون يتوقف عن الصعود. عادةً، ينقضي بعض الوقت على إطلاق البالون المطّاطيّ اللعبة المليء بالهيليوم إلى الهواء، وعند تمدّد الهيليوم الموجود داخله، فإنّه يقلّص المطاط حتى يتمزّق البالون.

■ **نقطة فحص**

هل تؤثّر قوة الطّفو فيك؟ إذا كان الأمر كذلك، فلِمَ لا ترفعك هذه القوة إلى الأعلى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ قوة الطّفو تؤثّر فيك، وأنت تخضع لتأثيرها في اتجاه الأعلى. ولكنك لا تعيرها اهتمامًا؛ لأنّ وزنك أكبر منها كثيرًا.

تصمّم المناطيد الطّائرة ذوات المحركات، والمليئة بالهيليوم، بحيث إنه عند ملئها ترتفع ببطء في الهواء، وهذا يعني أنّ اوزانها قائمة (مع حمولتها) أقلّ قليلًا من وزن الهواء المزاح. وعندما تتحرك، يتم التّحكم فيها صعودًا وهبوطًا بمصاعد أفقيّة.

وهكذا، فإننا اعتبرنا أنّ الضغط ينطبق على الموائع السّاكنة فقط؛ الحركة تنتج تأثيرًا إضافيًّا.

■ 9.5 قاعدة برنولي

افترض أنّ مائعًا (سائلًا أو غازًا) يتدفّق بصورة مستمرّة خلال أنبوب؛ حجم المائع المتدفّق، والذي يتجاوز أيّ مساحة مقطع خلال فترة زمنية معينة يكون له الحجم المتدفّق نفسه عندما يتجاوز أيّ مساحة مقطع آخر من الأنبوب في الفترة الزمنيّة نفسها، حتى لو كان الأنبوب أضيق. وفيما يتعلّق بالتّدفّق المستمرّ، فإنّ سرعته تزداد إذا كانت حركة السّائل من الجزء الأوسع إلى الجزء الأضيق من الأنبوب. ويعدّ هذا إثباتًا على التّوسع؛ فالنهر البطيء في جريانه يصبح ذا تدفّق سريع عندما يدخل منطقة ضيقة. ويظهر ذلك واضحًا عند تدفق الماء خلال خرطوم المياه، حيث تزداد سرعة تدفق الماء فيه إذا ضُغطت نهايته لجعل تياره أضيق.

إنّ حركة المائع في الجريان الثّابت يتبع خطوط جريان يمكن تمثيلها بـ*خطوط رفيعة* في الشّكل 35.5. وفي الأشكال الأخرى اللاحقة، تعدّ خطوط الجريان مسارات ناعمة للأجزاء الصغيرة المكوّنة للسّائل. تكون الخطوط قريبة بعضها من بعض في مناطق الجريان الضّيّقة حيث تكون سرعة الجريان أكبر. (تشاهَد خطوط الجريان عند تدفّق دخان أو مائع مرئيّ بحيث تكون هذه الخطوط متباعدة بشكل متجانس كما في حالة نفق الرّياح).

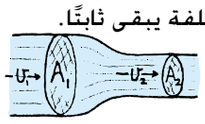
لمعلوماتك

■ إذا كان مسموحًا للبالون بالتّمدد عندما يرتفع، فإنه يصبح أكبر. ولكن كثافة الهواء المحيط به تقلّ. وهكذا، فمن المدهش أنّ حجمًا أكبر من الهواء المزاح لا يزن أكثر. وعليه، فإنّ قوة الطّفو تبقى كما هي! ولكن إن لم يسمح للبالون بالتّمدد فإنّ قوة الطّفو تقلّ عندما يرتفع البالون؛ لأنّ كثافة الهواء المزاح تكون أقلّ. عادةً، تتمدد البالونات عندما ترتفع. وإن لم تتمزق، فإنّ تمدّدها يصلّ إلى الحدّ الذي تتوافق قيمة قوة الطّفو مع وزن البالون.

الشكل 35.5
تزداد سرعة جريان ماء الغدير عندما يجري الماء في الجزء الضّيق أو الضّحل منه ؛ لأنّ الجريان متصل.

لمعلوماتك

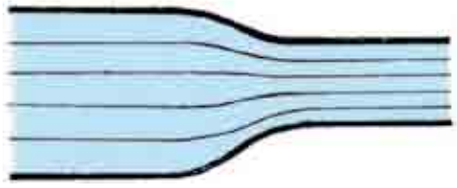
■ إنّ سرعة التّدفّق v تكون أكبر عند المساحة الأصغر. في حين تكون سرعة التّدفّق أقلّ عندما تكون المساحة أكبر. والسّبب في هذا أنّ حجم الماء المتدفق من أنبوب ذي مقاطع بمساحات A مختلفة يبقى ثابتًا.



وهذا موضّح في معادلة الاستمراريّة الآتية:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

حاصل ضرب $A_1 v_1$ عند النقطة 1 يساوي حاصل الضرب $A_2 v_2$ عند النقطة 2.



الشّكل 36.5
تزداد سرعة جريان الماء عندما يجري في الجزء الضّيق من الأنبوب. خطوط الجريان المتراصّة دليل على زيادة السّرعة ونقصان الضّغط الدّاخليّ.

لقد درس العالِم السّويسريّ دانييل برنولي (Daniel Bernoulli) في القرن الثّامن عشر جريان المائع في الأنابيب. وهذا ما يعرف الآن **بقاعدة برنولي** التي يمكن صياغتها كالتالي:

كلّما زادت سرعة المائع قلّ ضغط المائع الدّاخليّ.

حيثما تكون خطوط جريان المائع قريبة بعضها من بعض، فإنّ سرعة الجريان تكون أكبر ويكون الضّغط في المائع أقلّ. إنّ تغيرات الضّغط الدّاخليّ مؤشر على وجود فقاعات هواء في الماء. ويعتمد حجم فقاعات الهواء على ضغط الماء المحيط بها. وكلّما زادت سرعة الماء يقلّ الضّغط، ما يؤدي إلى زيادة حجم هذه الفقاعات. وفي حالة تباطؤ حركة الماء فإنّ الضّغط يزداد، لذا فإنّ الفقاعات تتقلّص ويقلّ حجمها.

قاعدة برنولي هي نتيجة لحفظ الطّاقة، على الرّغم من أنه توصّل إلى هذه القاعدة قبل صياغة مبدأ الطّاقة بوقت طويل*. إنّ الصّورة الكاملة للطّاقة في المائع المتحرك معقدة إلى حدّ كبير. وبتعبير بسيط، فإنّ زيادة السّرعة، ومن ثم الطّاقة الحركيّة تعني نقصان الضّغط. أمّا زيادة الضّغط فتعني نقصان السّرعة، أي نقصان طاقة الحركة.

تطبّق قاعدة برنولي على الجريان السّلس المستقر (الجريان الصّفحيّ) (Laminar Flow) للمائع ذي الكثافة الثّابتة. وعند سُرعة أعلى من قيمة حرجة يصبح الجريان عشوائيًّا (chaotic). ويسمى جريانًا *اضطرابيًا*. ويتبعه تغيير في المسارات يسمّى دوامات. وهذا يؤثر بقوة احتكاك في المائع، مستهلكًا بعض الطّاقة. وهكذا فإنّ معادلة برنولي لا تنطبق بصورة جيدة.

إنّ نقصان ضغط المائع مع زيادة السّرعة يمكن أن يكون مدهشًا للوهلة الأولى، وخصوصًا إذا أخفقت في التّمييز بين الضّغط خلال المائع والضّغط الدّاخليّ. وكذلك الضّغط من المائع على شيء ما يعترض جريانه. إنّ الضّغطَ الدّاخليّ خلال الماء المتدفق والضّغط الخارجيّ المؤثّر في الماء ضغطان مختلفان. عندما يقلّ زخم ماء متحرك أو أيّ مائع آخر فجأة فإنّ دفع القوة المؤثر يكون هائلًا نسبيًّا. ومثال ذلك استخدام ماء متدفّق بسرعة عالية لقطع المعادن في المعامل الحديثة. وعلى الرّغم من أنّ الضّغط الدّاخليّ للماء قليل، إلا أنّ ضغطَ خطوطه التي تؤثر في المعدن الذي يعترض جريانه هائلٌ.

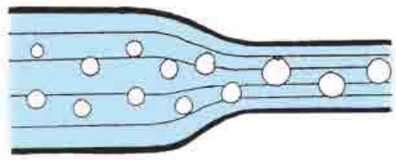
تطبيقات على قاعدة برنولي

أمسك ورقة أمام فمك، كما في الشّكل 38.5، وانفخ على طول السّطح العلويّ للورقة، ستشاهد عندئذٍ أنّ الورقة ترتفع؛ لأنّ الضّغط الدّاخليّ للهواء المتحرك على السّطح العلويّ للورقة أقلّ من الضّغط الجوّيّ حولها.

إنّ أيّ من يركب سيارة ذات سقف قماشيّ يلاحظ أنّ السّقف ينفث (أو يدفع) الهواء إلى الأعلى كلّما تحركت السيارة. هذه هي قاعدة برنولي مرة أخرى. إنّ الضّغط في الخارج – عند السّطح العلويّ، حيث يتحرك الهواء –أقلّ من الضّغط الجوّيّ السّاكن على السّطح الداخليّ.

لمعلوماتك

- يسمّى احتكاك السّوائل والغازات المنزلقة بعضها فوق بعض لزوجة، وهي خاصية للموائع جميعها.

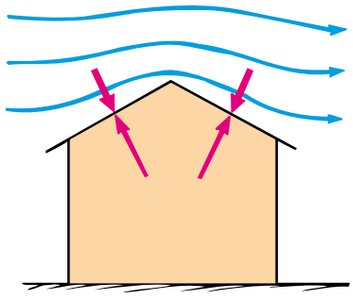


الشّكل 37.5
يكون الضّغط الدّاخليّ أكبر في الماء المتحرك ببطء في الجزء الواسع من الأنبوب كما هو واضح من فقاعات الهواء الصّغيرة. في حين تكون الفقاعات أكبر في الجزء الضيق من الأنبوب؛ لأنّ الضّغط الدّاخليّ قليل.

بالرجوع إلى الفصل الثالث، فإنّ التغيّر الكبير في الزّخم يتعلق بدفع قوة كبير. لذا فإنّ الماء المتدفق من خرطوم المياه الذي يستعمله رجل الإطفاء قد يعطّل قدميك إذا اصطدمتا به؛ هذا مدهش. إنّ الضّغط خلال الماء قليل نسبيًّا!

الشّكل 38.5
ترتفع الورقة عندما ينفخ على طول سطحها العلويّ.

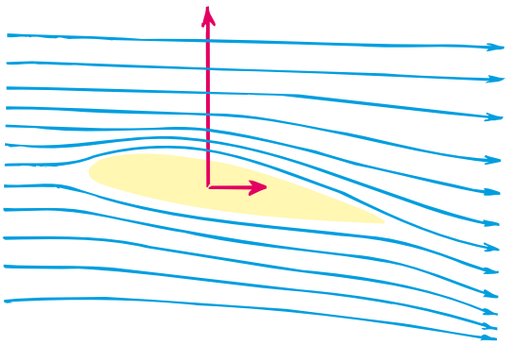
* في الصّيغة الرّياضيّة $\frac{1}{2}mv^2 + mgy + pV$ = ثابت (على خطوط الجريان)، حيث تشير m إلى كتلة حجم صغير V. أمّا v فتشير إلى سرعته، في حين تمثّل g التّسارع النّاجم من الجاذبية. أما y فتعني الارتفاع، في حين تدلّ p على الضّغط الدّاخليّ. وبالتعبير عن m بدلالة الكثافة ρ حيث $\rho = m/V$، وبقسمة كلّ حدّ على V، فإنّ معادلة برنولي يمكن صياغتها كما يلي: $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy + p$ = ثابت. وهكذا، فإنّ هذه الحدود جميعها لها وحدة ضغط. إذا كانت y ثابتة، فإنّ زيادة v تعني نقصان p والعكس صحيح. لاحظ أنه إذا كانت v صفرًا، فإنّ معادلة برنولي تؤول إلى الشّكل $\Delta p = \rho g \Delta y$ (الكثافة الوزنيّة × العمق).



الشّكل 39.5
إنّ ضغط الهواء فوق السّطح أقلّ من ضغط الهواء على جانبيه.

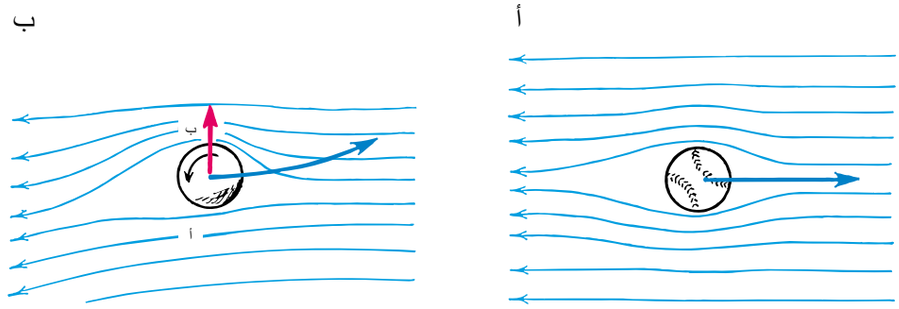
وإذا افترضنا أنّ الرّيح تهبّ على طول السّقف الحادّ (شكل زاوية) فإنّها تكتسب سرعة عندما تهبّ فوق السّطح كما هو واضح من خطوط التّيّار المتراصّة في الشّكل 39.5. يقلّ الضّغط على طول خطوط التّيّار عندما تكون الخطوط قريبة بعضها من بعض. إنّ زيادة الضّغط داخل السّقف قد يكون السّبب في اقتلاعه. ولهذا يجب ألا يكون الفرق كبيرًا بين ضغطي الدّاخل والخارج خلال وجود عاصفة قوية. حتى أنّ فرقا قليلا في الضغط على مساحة كبيرة ينتج قوّة قد تكون هائلة.

إذا فكرنا في السّقف المقلوع كجناح طائرة، أمكننا فهم قوة الرّفع للطّائرة الثّقيلة بشكل أفضل. في كلتا الحالتين، يدفع الضّغط العالي تحت السّقف أو الجناح إلى المناطق التي يكون فيها الضّغط فوق السّطح أقلّ. وهناك تصاميم عديدة للأجنحة، يجمعها شيء مشترك هو أن يكون انسياب الهواء فوق سطح الجناح أسرع من انسيابه من الأسفل. ويتحقّق هذا عن طريق إمالة الجناح، وهذا ما يسمى زاوية الهجوم. ينساب الهواء أسرع فوق السّطح للسبب نفسه الذي ينساب فيه الهواء أسرع في الأنابيب الضيقة أو أيّ من المناطق المتقلصة الأخرى. في معظم الأحيان، وليس دائمًا، يزداد الفرق في سرعات انسياب الهواء فوق الجناح وأسفله باختلاف انحناء السّطح العلويّ والسّفليّ للجناح أو تقوّسه. وتكون النّتيجة زيادةَ ازدحام خطوط الهواء على طول السّطح العلويّ أكثر منها على السّطح السّفليّ للجناح، ومن هنا يتمّ الحصول على قوة تدفع إلى الأعلى؛ أي الرّفع. يزداد الرفع كلّما زادت مساحة سطح الجناح، وكذلك كلّما حلّقت الطّائرة بسرعة كبيرة. تكون مساحة سطح جناح الطّائرة الشّراعيّة كبيرة بالنسبة إلى وزنها. ولهذا، فهي ليست بحاجة إلى الطّيران بسرعة كبيرة للحصول على قوة رفع كافية. وفي الجانب الآخر، نلاحظ أنّ مساحةَ جناح الطّائرة المقاتلة المصمّمة للطيران بسرعة عالية صغيرةٌ بالنسبة إلى وزنها. واستنادا إلى ذلك، عليها الإقلاع والهبوط بسرعات عالية.



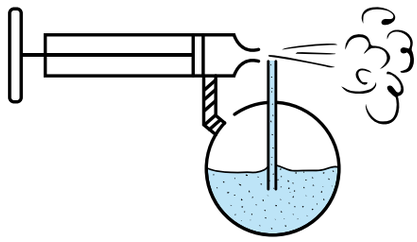
الشّكل 40.5
يمثّل المتجهُ العموديّ القوةَ المحصلة إلى الأعلى (رفع)، والناتجة عن ضغط هواء أكبر عند أسفل الجناح من ضغط الهواء فوقه. ويمثّل هذا المتّجه الأفقيّ سحب الهواء.

إنّ رامي كرة البيسبول يمكنه رمي الكرة بطريقة بحيث تنحني إلى أحد الجوانب عندما تقترب من القاعدة الرّئيسة، عن طريق منح الكرة برمًا كبيرًا. وبالمثل، يمكن أن يضرب لاعب التّنس الكرة بحيث تنحني مثل هذا الانحناء. تسحب طبقة رقيقة من الهواء حول الكرة المبرومة بالاحتكاك. وهذا شائع في لعبة كرة البيسبول و التّنس. تنتج الطبقة المتحركة من الهواء خطوط هواء مزدحمة على أحد الجوانب. الشّكل 41.5ب، إن الخطوط أكثر ازدحامًا عند ب منها عند أ لاتجاه البرم المبين. وإنّ ضغط الهواء أكبر عند أ، لذا تنحني الكرة كما هو مبين.



الشّكل 41.5
(أ) تكون خطوط الجريان هي نفسها على جانبي الكرة التي لا تدور. (ب) تنتج الكرة التي تدور خطوط جريان مكتظة. تسبب قوة الرفع الناتجة (السّهم الأحمر) انحناء في حركة الكرة (السّهم الأزرق).

حركة الهواء بالنسبة للكرة

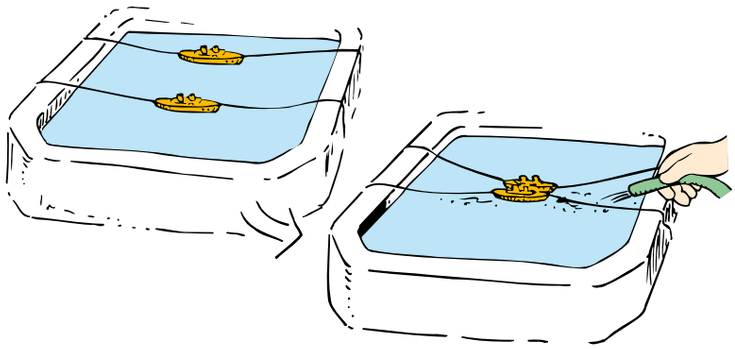


الشّكل 42.5
لماذا يرتفع السّائل من الخزان إلى الأنبوب؟

لقد أظهرت الدّراسات الحديثة أنّ معظم الحشرات تزيد من قوة رفعها بتوظيف حركات مشابهة لتلك التي لكرة البيسبول المنحنية. ومن المدهش أنّ معظم الحشرات لا ترفرف بأجنحتها إلى الأعلى وإلى الأسفل، بل ترفرف بأجنحتها إلى الأمام والخلف وبإمالتها حيث يزوّدها هذا بزاوية الهجوم. وفي أثناء عملية الرّفرفة، تنتج الأجنحة حركات شبه دائريّة لتتزوّد بعملية الرّفع.

يستخدم مِرذاذ (بخّاخ) العطر المألوف مبدأ برنولي (Bernoulli). فعندما يُضغط عليه من الأعلى، يندفع الهواء عبر النهاية المفتوحة للأنبوب المغموس في العطر، وهذا يقلّل من الضّغط في الأنبوب. وعندئذٍ، فإنّ الضّغط الجوّيّ على السّائل في الأسفل يدفعه إلى الأنبوب، حيث يُحمل بعيدًا بتيار الهواء.

يفسِّر مبدأ برنولي لِمَ تسحب الشّاحنات بعضها بعضًا عندما تسير متقاربة على الطريق السّريع. وكذلك سبب تعرّض السّفن إلى الاصطدامات الجانبية. ينساب الماء بين السّفن بشكل أسرع من الماء الذي على الجوانب الخارجية الأخرى. وتكون التيارات بين السّفن أقرب بعضها إلى بعض من التيارات التي في الجوانب الخارجية. وهكذا ينقص تأثير ضغط الماء على هيكلها. وإن لم توجّه دفّة السّفينة لمعادلة هذا الضّغط فإنّ الضّغط الزّائد على الجوانب الخارجيّة للسّفن يجبرها على الاقتراب بعضها من بعض. ويبين الشّكل 43.5 تجربة ذلك في مغسلة المطبخ، أو في حوض الاستحمام.



الشّكل 43.5
جرّب ذلك في مغسلتك. إذا تركت قاربين (لعبة) مربوطين بحبلين غير مشدودين، ثمَّ وجّهت مصدر مياه بينهما، فستلاحظ أنّهما يتقاربان ويصطدمان. لماذا؟

يؤدّي مبدأ برنولي دورًا صغيرًا عندما تتأرجح ستارة حمامك نحوك عندما يكون التيّار المائي قويًّا. يقلّ الضّغط في حجيرة الحمّام عندما يتحرك المائع (الماء)؛ لأنّ الضّغط خارج ستارة الحمام أكبر منه نسبيًّا داخلها. فتندفع الستارة نحو الداخل. ويعدّ هذا أحد مبادئ الفيزياء العملية. والأهم من ذلك هو حمل الهواء في الحمَّام. وعلى أيّ حال، عندما تستحم وتتأرجح السّتارة مقابل قدميك في المرة القادمة، فكّر في مبدأ برنولي.

ينقص الضّغط في حجيرة الحمَّام عندما يكون السّائل متحرّكًا، ويدفع الضّغط الزّائد خارج السّتارة إلى الدّاخل.

الشّكل 44.5
إنّ الشّكل المنحني للمظلة قد يكون ضارًّا في يوم عاصف.

■ نقطة فحص

1. في يوم عاصف، يكون ارتفاع الأمواج في البحيرة أو المحيط أعلى من معدّل ارتفاعها. كيف يساهم مبدأ برنولي في زيادة الارتفاع؟
2. تعمل المناطيد، والطّائرات، والصّواريخ وفق ثلاثة مبادئ مختلفة. أيّها يعمل بطريقة: أ- الطّفو ب- مبدأ برنولي ج- قانون نيوتن الثّالث؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تكون بطون الموجات محميّة من الرّيح. وهكذا ينتقل الهواء أسرع فوق القمم. ينقص الضّغط عند القمم أكثر منه أسفل البطون. ويدفع الضّغط الكبير عند البطون الماء حتى إلى القمم العالية.
2. تعمل المناطيد بطريقة الطّفو، في حين تعمل الطّائرات وفق مبدأ برنولي، أمّا الصّواريخ فتستند في عملها إلى قانون نيوتن الثّالث. والمدهش أنّ قانون نيوتن الثالث يؤدّي دورًا مهمًّا في خَليق الطّائرة: يدفع الجناحُ الهواءَ إلى الأسفل، ثمّ يدفع الهواءُ الجناحَ إلى الأعلى.

ملخّص المصطلحات

الكثافة Density: كمية المادة في وحدة الحجم.

الكثافة = الكتلة / الحجم

الكثافة الوزنية هي الوزن في وحدة الحجم.

الضّغط Pressure: النسبة بين القوة والمساحة التي تتوزع عليها القوة:

الضّغط = القوة / المساحة

ضغط السّائل = الكثافة الوزنيّة × العمق

قوة الطّفو Buoyant force: محصلة القوة إلى الأعلى التي يؤثر بها السائل في جسم مغمور فيه.

قاعدة أرخميدس Archimedes' principle: عندما يُغمر جسمٌ في مائع فإنّه يتأثر بقوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن المائع المزاح (لكلّ من الغازات والسوائل).

مبدأ العوم Principle of flotation: الجسم العائم على سطح مائع يزيح من المائع مقدارَ وزنه.

قانون بويل Boyle's law: حاصل ضرب الضغط في الحجم يكون ثابتًا لكتلة ما من غاز محصور بغض النظر عن تغيّر أيّ منهما بشكل منفرد ما دامت درجة الحرارة ثابتة:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

الضّغط الجوّيّ Atmospheric pressure: الضّغط المؤثّر على الأجسام المغمورة في الغلاف الجوي الناتج عن وزن الهواء الموجود فوق هذه الأجسام. ويساوي 101 كيلو باسكال تقريبًا عند مستوى سطح البحر.

مقياس الضّغط الجوّيّ Barometer: أيّ أداة تُستخدم لقياس الضّغط الجوّيّ.

قاعدة باسكال Pascal's principle: ينتقل التّغيّر في الضّغط عند أيّ نقطة في مائع محصور وساكن إلى أجزاء المائع جميعها.

قاعدة برنولي Bernoulli's principle: يتحرّك الضّغط في مائع بثبات ودون احتكاك أو تغيّر في طاقته الداخلية، ويقلّ بزيادة سرعة المائع.

أسئلة مراجعة

1. اذكر مثالين على الموائع.

1.5 الكثافة

2. إذا تقلّص رغيف من الخبز، فماذا يحصل لكلّ من حجمه، وكتلته، وكثافته؟
3. ميّز بين الكثافتين الكتليّة والوزنيّة. ما كثافة الماء الكتلية والوزنية؟

2.5 الضّغط

4. ما الفرق بين القوة والضّغط؟
5. كيف يتغير الضّغط داخل السّائل مع العمق؟ كيف يتغير الضّغط المؤثر من السّائل بتغير كثافته ؟
6. مع إهمال الضّغط الجوّيّ، إذا كنت تسبح على عمق مضاعف، فما الزيادة في ضغط السّائل المؤثّر في أذنيك؟ وإذا كنت تسبح في ماء مالح، فهل يكون الضّغط أكثر من الضّغط في حالة الماء العذب وعند العمق نفسه ؟ لماذا؟
7. ما ضغط الماء على عمق متر واحد في بركة صغيرة مقارنة بضغط الماء على العمق نفسه في بركة ضخمة؟
8. إذا ثقبت وعاءً مليئًا بالماء من أحد جوانبه. ففي أيّ اتّجاه سيتدفق الماء نحو الخارج في البداية؟

3.5 الطّفو في السّائل

9. لماذا تؤثّر قوة الطّفو إلى الأعلى في جسم مغمور في الماء؟
10. كيف يمكنك المقارنة بين حجم جسم مغمور كليًّا في الماء وحجم الماء المزاح؟

4.5 قاعدة أرخميدس

11. اذكر نصّ قاعدة أرخميدس؟
12. ما الفرق بين ينغمر و يغوص؟
13. ما قوّة الطّفو على جسم مغمور كليًّا مقارنة بوزن السّائل المزاح؟
14. ما كتلة لتر واحد من الماء بوحدة الكيلوجرام؟ ما وزنه بوحدة النيوتن؟
15. إذا غمر نصف وعاء حجمه لتر واحد في الماء، فما حجم الماء المزاح؟ ما قوّة الطّفو المؤثّرة في الوعاء؟
16. علام تعتمد قوّة الطّفو على الجسم العائم: على وزنه، أم على وزن السّائل الذي أزاحه؟ أم هل كلا الوزنين هو نفسه لحالة خاصة من الطّفو؟ وضّح أجابتك.
17. ما وزن الماء المزاح الناتج عن طفو سفينة كتلتها 100 طنّ؟ ما قوة الطّفو التي تؤثّر في السّفينة؟

5.5 الضّغط في الغاز

18. ما الزّيادة في كثافة غاز عند ضغطه إلى نصف حجمه؟
19. ماذا يحدث لضغط الهواء داخل بالون عندما يتقلّص إلى نصف حجمه عند درجة حرارة ثابتة؟

6.5 الضّغط الجوّيّ

20. ما الكتلة التّقريبيّة بوحدة الكيلوجرام لعمود من الهواء مساحة مقطعه 1سم^2، ويرتفع من سطح البحر إلى نهاية الغلاف الجوّيّ؟ ما وزن هذه الكميّة من الهواء بالنيوتن؟
21. ما الضغط إلى الأسفل الذي يؤثّر به عمود من الهواء أسفل الغلاف الجوّيّ؟
22. كيف يمكن مقارنة وزن الزّئبق في أنبوب جهاز قياس الضّغط الجوّيّ مع وزن عمود هواء له مساحة المقطع نفسها، ويرتفع من مستوى سطح البحر إلى أعلى الغلاف الجوّيّ؟
23. لماذا يجب أن يكون طول عمود الماء في جهاز قياس الضّغط الجوّيّ 13.6 ضعفًا مقارنةً بجهاز قياس الضّغط الجوّيّ الزّئبقيّ؟
24. عندما تشرب سائلًا بماصّة، فأيّ القولين أكثر دقة: السّائل يندفع داخل الماصّة أم أنه يُمتَّص؟ ما الذي يقوم بعملية الدّفع بالضّبط؟ وضّح إجابتك.

7.5 مبدأ باسكال

25. ماذا يحدث للضّغط في جميع أجزاء مائع محصور عندما يزيد الضّغط عند جزء من أجزائه؟
26. هل تشترط قاعدة باسكال طريقة للحصول على طاقة من الآلة أكثر من تلك التي تُعطى لها؟ وضّح إجابتك.

8.5 الطّفو في الغاز

27. بالون وزنه نيوتن واحد معلّق في الهواء. لا يرتفع ولا يهبط. ما قوة الطّفو المؤثّرة فيه؟ ماذا سيحدث إذا زادت قوة الطّفو أو نقصت؟

9.5 قاعدة برنولي

28. ما خطوط الدّفق؟ هل يكون الضّغطُ أكبر في المناطق التي تكون فيها خطوط الدّفق مكتظّة أم أقلّ؟
29. هل تنطبق قاعدة برنولي على تغيّرات الضّغط الدّاخليّ في المائع، أم على الضّغوط التي يمكن أن يؤثّر بها المائع في الأجسام التي يقابلها؟
30. ما الذي تفعله أعالي السّطوح الحادّة أو أجنحة الطّائرات عندما يتحرك الهواء بسرعة أكبر عند سطوحها العلويّة؟

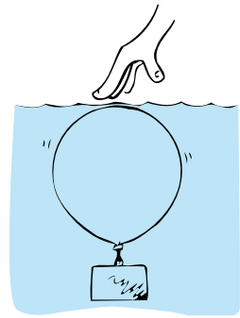
تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

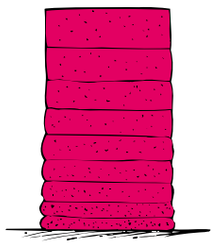
1. ● قف على ميزان واقرأ وزنك. إذا رفعت إحدى قدميك إلى الأعلى ووقفت على قدم واحدة، فهل تتغيّر القراءة؟ ماذا يقرأ الميزان: القوّة أم الضّغط؟
2. ● تظهر الصّورة مدرس الفيزياء مارشال إلنشتين في غرفة الصّفّ حافي القدمين على زجاج قوارير مكسَّرة. ما المبدأ الفيزيائي الذي يرغب إلنشتين في توضيحه؟ ولِمَ أصرّ أن تكون قطع الزّجاج صغيرة وكثيرة العدد؟ (الأشرطة المساعدة على قدميه للدّعابة!)

3. ● عندما يغوص حوت في عمق الماء فإنه ينضغط بشكل يمكن إدراكه تحت تأثير ضغط الماء المحيط به. ماذا يحدث لكثافة الحوت؟
4. ● لا تتغيّر كثافة الصّخرة عندما تغمر في الماء. هل تتغير كثافتك عندما تغوص في الماء؟ وضّح إجابتك.
5. ● لماذا يكون ظهور التّقرّح على أجسام الأشخاص الذين يستخدمون الفرشة المائية أقلّ احتمالًا من أولئك الذين يستخدمون فُرُش النوم العادية؟
6. ● عندما تفتح صنابير المياه في الطّوابق العلويّة والسّفليّة، هل يكون تدفّق المياه في وحدة الزمن من صنابير المياه في الطّوابق السّفليّة أكثر، أم يكون حجم الماء المتدفّق من الصّنابير هو نفسه؟
7. ■ أيّهما يُفترض أنه يؤثّر بضغط أكبر في الأرض: فيل أم فتاة تقف على كعب حذائها الحادّ؟ (أيّهما يكون أكثر احتماليّة لإحداث نتوء في الأرضيّة المشمّعة؟) هل يمكنك إجراء حساب تقديريّ لكلّ حالة؟
8. ■ افترض أنّك ترغب في وضع أساس مستو لبيت على تل أو غابة مكتظّة بالأشجار. كيف يمكنك استخدام خرطوم حديقة مليء بالماء لتعيين ارتفاعات متساوية عند نقاط متباعدة؟
9. ● عندما تسبح بالقرب من شاطئ رمليّ، لماذا يكون أذى الرّمل على قدميك أقلّ مما لو كنت عند عمق أكبر داخل الماء؟
10. ■ إذا كان ضغط السّائل هو نفسه عند الأعماق جميعها، فهل تكون هنالك قوة طفو على الجسم المغمور في السّائل؟ اشرح ذلك.
11. ● ما القوة اللازمة لدفع صندوق كرتون صلب حجمه لتر واحد، ومهمل الوزن، لغمره تحت الماء؟
12. ● إذا قيل إنّ الأجسام الثقيلة تغرق، والأجسام الخفيفة تطفو، فهاتِ أمثلة تثبت أنّ هذا القول غير دقيق.

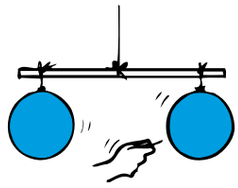
13. ■ بالمقارنة بسفينة فارغة، هل تغوص السّفينة المليئة بالمطاط الإسفنجيّ إلى الأسفل أم ترتفع فوق الماء؟ وضِّح إجابتك.
14. ■ بارجة مليئة بحديد خردة موجودة في قناة مغلقة. إذا رُمِيَ الحديد جانبًا في القناة، فهل يرتفع مستوى الماء في الجهة المغلقة، أم يهبط، أم يبقى دون تغيير؟ وضّح إجابتك.
15. ■ عندما تغطس بارجة في قناة مغلقة؛ هل يرتفع مستوى الماء، أم يهبط؟
16. ■ بالون مزود بوزن بحيث يطفو فوق الماء. إذا دُفع داخل الماء، فهل يعود مرة أخرى إلى السّطح؟ وهل يبقى عند العمق نفسه الذي دُفع إليه، أم يغرق؟ اشرح. (مساعدة: هل تتغير كثافة البالون؟).



17. ■ أبحرت سفينة من محيط إلى ميناء مياه عذبة، فغاصت إلى عمق أكبر في الماء. هل تتغيّر قوة الطّفو عليها؟ إذا كان كذلك، فهل تزداد قوة الطّفو أم تقلّ؟
18. ■ افترض أنّك خُيّرت بين سترتي نجاة متماثلتين في القياس؛ الأولى خفيفة ومليئة بالمطاط الإسفنجيّ، أمّا الثانية فثقيلة جدًّا، ومليئة بقوالب رصاص. إذا غمرت كلتاهما في الماء، فعلى أيّهما تكون قوة الطّفو أكبر؟ وعلى أيّهما تكون قوة الطّفو غير فاعلة؟ لماذا تختلف إجابتك؟
19. ■ الكثافة النّسبيّة لكلّ من الماء، والثّلج، والكحول هي: 1.0، و0.9، و0.8، على التّرتيب. هل يطفو مكعّب من الثّلج في مزيج كحول وماء أكثر أم أقلّ؟ ما الذي يمكنك قوله فيما يتعلّق بمزيج موجود في كأس بحيث يكون مكعّب الثّلج غاطسًا في قعر الكأس؟
20. ♦ عندما تبدأ مكعّبات الثّلج في الذوبان، فهل يرتفع مستوى الماء في الكأس، أم ينخفض، أم يبقى دون تغيير؟ هل تتغير إجابتك لو كان مكعّب الثّلج يحوي فقاعات هواء؟ وهل تتغير إجابتك لو كان مكعّب الثّلج يحوي حبيبات رملية ثقيلة؟
21. ■ إذا تمّ ملء وعاء بالماء حتى منتصفه، وعلّق على ميزان زنبركيّ، فهل تزداد قراءة الميزان إذا وُضعت سمكة داخل هذا الوعاء، أم تبقى ثابتة؟ (هل تختلف إجابتك لو كان الوعاء بداية مملوءًا بالماء إلى حافته؟)
22. ■ قم بعدّ دواليب شاحنة لا تحمل أغذية، وموجودة عند متجر. قد تندهش عندما تجد أنّ عددها 18. لِمَ هذا العدد الكبير من الدواليب؟ (مساعدة: انظر النشاط الاستكشافيّ 5.5).
23. ● كيف يمكن مقارنة كثافة الهواء في منجم عميق مع كثافته على سطح الأرض؟
24. ■ لم تستطع مجموعتان من الأحصنة، كلّ منهما تتكون من ثمانية، سحب نصفي كرة مجدبورغ عن بعضهما (الشّكل 20.5). لماذا؟ افرض أنّ كلّ فريق مكوّن من تسعة أحصنة. هل يمكنها في هذه الحالة سحب نصفي الكرة؟ هل يمكن لإحدى المجموعتين أن تنجح إذا استبدلت بالمجموعة الأخرى شجرة قوية ؟ وضِّح إجابتك.
25. ● إذا اشتريت كيسًا من الحلوى قبل ركوبك الطائرة (أو أيّ شيء محفوظ داخل كيس حفظ مغلق تمامًا) فإنّك ستلاحظ في أثناء الطّيران بأنّ الكيس ينتفخ. اشرح سبب ذلك.
26. ● لماذا تفترض أنّ نوافذ الطّائرة تكون أصغر من نوافذ الحافلة؟
27. ● يمكننا فهم اعتماد الضّغط داخل الماء على العمق بافتراض وجود كومة من القرميد. إنّ الضّغط على أسفل قرميدة يُحدّد وزن كومة من القرميد. عند منتصف الكومة، يكون الضّغط نصفه؛ لأنّ وزن القرميد أعلى ذلك الموضع يكون النّصف الآخر. ولكي نشرح الضّغط الجوّيّ: علينا أن نفترض قرميدات متراصّة تمامًا كالمطاط الإسفنجيّ. فلِمَ يكون هكذا؟

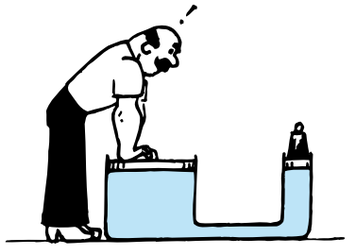


28. ● إنّ المضخة في المكنسة الكهربائيّة ليست أكثر من مروحة مسرَّعة. هل يمكن لهذه المكنسة التقاط الغبار عن سجادة على القمر؟ اشرح.
29. ● افترض أنّك استعملت سائلًا أكثر كثافة من الزّئبق الموجود في مقياس الضّغط الجوّيّ. هل يكون ارتفاع عمود السّائل الجديد أكبر من عمود الزّئبق أم أقلّ ؟ لماذا؟
30. ● في أيّ المكانين يكون سحب الشّراب من ماصّة أصعب قليلا: عند مستوى سطح البحر أم على قمة جبل شاهق الارتفاع؟ اشرح.
31. ● يدّعي صديقك أنّ قوةَ الطّفو من الغلاف الجوّيّ على فيل أكبرُ كثيرًا من قوة الطّفو على بالون صغير مليء بالهيليوم. ما رأيك؟
32. ■ لماذا يكون التّنفس على عمق متر واحد من سطح الماء صعبًا باستخدام أنبوب (يُمَدّ خارج السّطح لاستنشاق هواء نقيّ)، بينما هو مستحيل على عمق مترين؟ لماذا لا يستطيع الغوّاص التّنفس من خلال أنبوب يمتد إلى السّطح؟
33. ■ إذا وُضِعَ هيدروجين في بالون بدلًا من الهيليوم، حيث كثافته أقلّ، فهل تتغيّر قوة الطّفو على البالون إذا لم يتغير حجمه؟ اشرح.
34. ■ إنّ الخزّان الفلزّيّ المليء بغاز الهيليوم لا يرتفع في الهواء، أمّا البالون الذي يحوي الكمية نفسها من الهيليوم فيرتفع. لماذا؟
35. ■ بالونان متماثلان لهما الحجم نفسه، نُفخا بالهواء لضغط أكثر من الضّغط الجوّيّ وعُلقا على نهايتي عصا أفقيّة متّزنة. إذا ثُقب أحد البالونين فهل يحدث أيّ تغيُّر في اتزان العصا؟ وإذا حدث ذلك فما اتجاه ميلانها؟



36. ● قوة الغلاف الجوّيّ عند سطح الأرض المؤثّرة في نافذة مخزن مساحته 10م^2 هي مليون نيوتن تقريبًا. لِمَ لا تُحطّم هذه القوة النافذة؟ ولكن النافذة قد تتحطّم إذا هبت ريح قوية في اتجاهها. لماذا؟

37. ■ في النظام الهيدروليكيّ، كما في الشّكل، تعادل مساحة المكبس الأكبر 50 ضعف مساحة المكبس الأصغر. يحاول رجل قويّ أن يرفع كتلة 10 كجم موضوعة على المكبس الصغير من خلال تأثيره بقوّة كافية في المكبس الكبير. هل سينجح؟ وضّح إجابتك.



38. ● عندما يتدفق غاز بثبات من قطر أنبوب إلى أنبوب له قطر أصغر، فماذا يحدث لكلّ من: (أ) سرعته؟ (ب) ضغطه؟ (جـ) الاتساع بين خطوط تدفّقه؟

39. ■ ما المبدأ الفيزيائيّ الذي يعدّ الأساس لكلٍّ من الظواهر الثلاث الآتية: أ- عندما تتجاوز شاحنة سيارتك على طريق سريع، فإنّ سيارتك تميل في اتجاه الشاحنة؟ ب- ينتفخ السّقف القماشي لسيارة إلى الأعلى عندما تسير بسرعة عالية؟ ج- أحيانا يتكسّر زجاج نوافذ قطار قديم عندما يتجاوزه قطار سريع على المسار المجاور؟

40. ♦ كيف تستطيع الطّائرة الطّيران إلى الأعلى والأسفل؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● افترض أنّ كرة كتلتها 5 كجم اتزنت على طرف إصبعك الذي مساحته 1سم^2. بيّن أنّ الضّغط على إصبعك 49 نيوتن/سم^2، وتساوي 490 كيلو باسكال.

2. ● أزاحت قطعة معدنية كتلتها 6 كجم لترًا من الماء عندما غمرت فيه. بيّن أنّ كثافتها 6000 كجم/م^3. كيف تقارن ذلك بكثافة الماء؟

3. ● عمق الماء خلف سدّ هوفر في نيفادا 220م. مع إهمال الضّغط النّاتج عن الغلاف الجوي، بيّن أنّ ضغط الماء على قاعدة السّدّ 2160 كيلوباسكال.

4. ■ تطفو بارجة مستطيلة طولها 5 م وعرضها 2 م فوق الماء العذب. افترض وجود 400 كجم من قطع غيار السّيارات على متنها. بيّن أنّ البارجة تطفو عند عمق 4 سم أكثر.

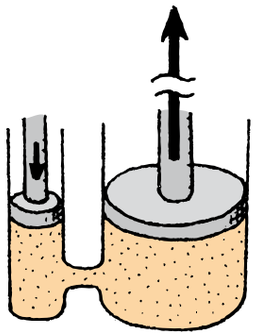
5. ■ افترض أنّ البارجة في المسألة السّابقة يمكن أن تُدفع 15 سم فقط داخل الماء قبل أن تُغمر كليًّا. بيّن أنّ البارجة يمكن أن تحمل ثلاثة أضعاف الـ 400 كجم لا أربعة أضعاف.

6. ● باعك تاجر 1 كجم من الذّهب الصّلب بسعر مغرٍ. وعندما عدت إلى البيت، أردت التأكد مما إذا كنت قد ربحتَ هذه الصفقة. فوضعت الذهب في وعاء ماء، ومن ثمَّ قِستَ حجم الماء المزاح. بيّن أنّ 1 كجم من الذهب الخالص يزيح ماءً حجمه 51.8 سم^3.

7. ■ يطفو شخص فوق مياه محيط بحيث يُغمر 90% من جسمه تحت سطح الماء. إذا كانت كثافة ماء المحيط 1025 كجم/م^3. فبيّن أنّ متوسط كثافة الشّخص هي 923 كجم/م^3.

8. ● افترض أنك كنت تحلق في أحد أيام الخريف الرّائعة على ارتفاع منخفض في منطاد هوائيّ بحيث لا يتسارع إلى الأعلى ولا إلى الأسفل. مجموع وزن المنطاد بما يحمله من أوزان وهواء 20000 نيوتن. بيّن أنّ حجم الهواء المزاح من المنطاد 1700م^3.

9. ■ قطرُ المكبس الصغير في المكبس الهيدروليكيّ المبيّن في الرّسم 2 سم، في حين قطر المكبس الكبير 6 سم. كم يزيد مقدار القوة التي يمكن للمكبس الكبير أن يؤثّر به أكثر من القوّة المؤثّرة في المكبس الصّغير؟

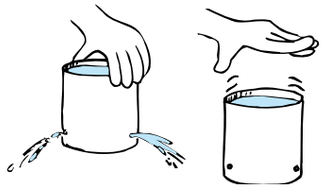


10. ■ مساحة جناحي طائرة ما 100م^2. عند سرعة ما، كان الفرق بين الضّغط أسفل الجناحين وأعلاهما 4% من الضّغط الجوّيّ. بيّن أنّ قوة الرّفع المؤثّرة في الطّائرة 4×10^5 نيوتن.

أنشطة استكشافية

1. جرِّب أن تترك بيضة تطفو فوق الماء. امزج الماء بشيء من الملح حتى تطفو البيضة. ما كثافة البيضة مقارنة بكثافة كلّ من ماء الصّنبور و الماء المالح؟

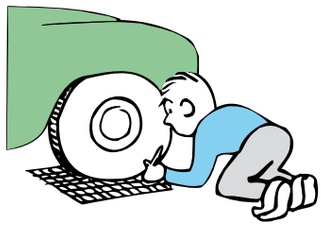
2. اثقب عددًا من الفتحات في أسفل وعاء مليء بالماء حيث يتدفق الماء من هذه الفتحات بسبب ضغط الماء. الآن، إذا أسقطت الإناء بشكل حرّ إلى الأسفل، ستلاحظ أن تدفق الماء من الفتحات لا يستمر. إن لم يستطع أصدقاؤك فهم ذلك، فهل يمكنك تجربته، ومن ثم شرحه لهم؟



3. ضع كرة تنس صغيرة في إبريق ماء مرفوع فوق رأسك. ثم دع الإبريق يسقط على أرض صلبة. بسبب التّوتّر السّطحيّ، تبقى الكرة مرتبطة بسطح الماء ما دام الإبريق ساقطًا. إنّ ما يحدث عندما يصطدم الإبريق بشكل مفاجئ بالأرض يستحق الملاحظة!

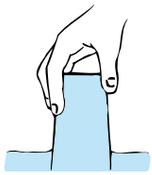
4. جرّب هذا في حوض الاستحمام، أو عندما تغسل الصّحون: اقلب كأس شراب فوق جسم صغير يطفو فوق الماء. ماذا تلاحظ؟ إلى أيّ عمق يجب دفع الكأس بحيث يُضغط الهواء المحصور إلى نصف حجمه؟ (يمكنك فعل هذا في حوض السّباحة ما لم يكن عمقه 10.3م!).

5. يمكنك إيجاد الضّغط المؤثّر من إطارات سيارتك في الطّريق، ومقارنة هذا بضغط الهواء في الإطارات. للقيام بهذا النّشاط: عليك معرفة وزن سيارتك من الكتالوج أو البائع، ثمَّ قسمة وزنها على أربعة لمعرفة الوزن التّقريبيّ الذي يحمله أحد الإطارات. ويمكنك - بمقدار تقريبيّ - معرفة مساحة التلامس بين إطار السّيارة والطّريق برسم حدود تلامس الإطار معها على ورقة بيانيّة مجزّأة إلى بوصة × بوصة مربعة وموضوعة أسفل الدولاب. بعد معرفتك للضّغط المؤثر من الدّولاب في الطّريق، قارن ذلك مع الضّغط في الدولاب. هل هما متساويان؟ أيّهما أكبر؟

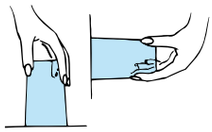


6. يُسكب الماء عادةً من الكأس الممتلئة إلى الكأس الفارغة بوضع حافة الكأس الأولى فوق الثّانية، ثم سكب الماء. هل قمت في وقت ما بسكب هواء من كأس إلى أخرى؟ الطريقة مشابهة. ضع كأسين مقلوبتين داخل الماء، ثم قم بإمالة إحداهما لكي تملأ بالماء. ثبت الكأس المملوءة بالماء بحيث يكون مستواها أعلى من مستوى الكأس المملوءة بالهواء وتكون مقلوبة. ثم قم بإمالة الكأس المملوءة بالهواء ببطء بحيث يبدأ الهواء في التسرب إلى الكأس المملوءة بالماء؛ إنّك تسكب الهواء من كأس إلى أخرى!

7. ارفع الكأس المملوءة بالماء فوق سطح الماء بحيث تكون حافتها أسفل السّطح. لماذا لا يتسرب الماء من الكأس؟ كم يجب أن يكون طول الكأس قبل أن يبدأ تسرّب الماء منها؟ (يمكنك عمل ذلك في الدّاخل على أن يكون ارتفاع سقف البناء 10.3م على الأقلّ فوق سطح الماء).



8. ضع ورقة فوق الجهة المفتوحة من كأس مملوءة بالماء تماما، ثم اقلب الكأس. لماذا تبقى الورقة في مكانها؟ جرِّب فعل ذلك بشكل جانبيّ.

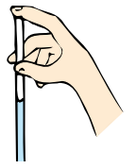


9. اقلب زجاجة عصير مليئة بالماء. لاحظ أنّ الماء لا ينسكب، ولكنه يتدفّق منها بشكل متقطّع. إنّ ضغط الهواء لا يسمح بتسرب الماء نحو الخارج قبل أن يندفع بعضه إلى داخل الزّجاجة ليسدّ الفراغ فوق السّائل. كيف يمكنك إفراغ زجاجة ماء مملوءة عند قلبها عندما تكون على سطح القمر؟

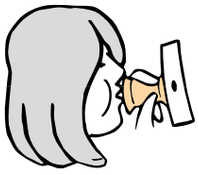
10. سخّن كمية قليلة من الماء لدرجة الغليان في وعاء ألومنيوم، ثم اقلبه بسرعة على وعاء يحوي ماءً باردًا. ما يحدث الآن يدعو إلى الدهشة!

11. اعمل فتحة صغيرة بالقرب من قاعدة علبة قصدير مفتوحة من الأعلى. املأ العلبة بالماء. ستلاحظ تسرب الماء من الفتحة الصغيرة أسفل العلبة. إذا قمت بتغطية الجزء العلوي المفتوح بيدك، فسيتوقف تدفق الماء. اشرح.

12. ضع أنبوبًا ضيّقًا أو ماصّة شرب في الماء، وضع إصبعك على الجزء العلويّ المفتوح من الأنبوب. ارفع الأنبوب من الماء، ثم ارفع إصبعك عن فتحة الأنبوب العلويّة. ماذا يحدث؟ (إنك تفعل ذلك عادةً في تجارب الكيمياء).

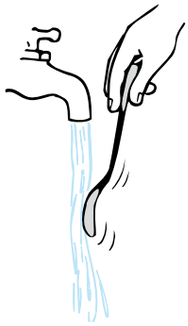


13. انفخ على السّطح العلويّ لورقة، كما فعل تيم (Tim) في الشّكل 38.5. جرِّب ذلك مع أصدقائك ممن لم يلتحقوا بصفوف العلوم الفيزيائية، ثمَّ اشرح لهم ذلك!



14. اثقب قطعة كرتون بدبّوس، ثم ضعها فوق لفة خيوط. حاول النفخ من خلال فتحة لفّة الخيوط هذه. جرِّب ذلك من الاتجاهات جميعها.

15. أمسك ملعقة، وقم بتوجيهها نحو تيار ماء (كما في الشّكل). ستشعر بتأثير التّغيّرات في الضّغط.



اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 مما يلي على الأقلّ. ولكن إذا أجبت عن أقلّ من هذا فعليك المزيد من الدراسة قبل المتابعة.

اختر أفضل إجابة لكلّ مما يلي:

1. البومايس صخر بركانيّ يطفو فوق الماء. إنّ كثافته مقارنة بكثافة الماء:
(أ) أقلّ.
(ب) تساويها.
(ج) أكبر.
(د) غير معقول؛ لأنه صخر، والصّخر قابل للغرق.

2. إنّ الضّغط عند قعر بركة لا يعتمد على:
(أ) التسارع الناتج عن الجاذبية.
(ب) كثافة الماء.
(ج) عمق البركة.
(د) مساحة سطح البركة.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

3. دائما، يزيح الجسم المغمور كاملا مثله من:
(أ) وزن المائع.
(ب) حجم المائع.
(ج) كثافة المائع.
(د) كلّ ما ذكر.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

4. يزن حجر معلّق بميزان زنبركي 5 نيوتن خارج الماء، أمّا في الماء فيزن 3 نيوتن. إذن قوة الطّفو على الحجر هي:
(أ) 3 نيوتن.
(ب) 5 نيوتن.
(ج) 8 نيوتن.
(د) لا شيء مما ذكر.

5. غطّي السّطح العلويّ لمكعّب خشبي بحجر مستوٍ، فطفا فوق سطح وعاء مليء بالماء. إذا قلب المكعّب رأسًا على عقب بحيث أصبح الحجر نحو الأسفل فإنّ:
(أ) مستوى سطح الماء الجانبيّ سيرتفع.
(ب) مستوى سطح الماء الجانبيّ سينخفض.
(ج) مستوى سطح الماء الجانبيّ لايتغيّر.
(د) الحجر والخشب سيغرقان.

6. الجسم في الفراغ:
(أ) ليس له قوة طفو.
(ب) ليس له كتلة.
(ج) ليس له وزن.
(د) لا شيء مما ذكر.

7. إذا كان لديك مقياسا ضغط جوّيّ زئبقيّان، مساحة مقطع أحدهما 1سم^2، ومساحة مقطع الآخر 2 سم^2. فإنّ الزّئبق في الأنبوب الأصغر يرتفع:
(أ) إلى الارتفاع نفسه في الآخر.
(ب) إلى ضعف ارتفاعه في الآخر.
(ج) إلى أربعة أضعاف ارتفاعه في الآخر.
(د) لا شيء مما ذكر.

8. في عملية المكبس الهيدروليكيّ، من المستحيل أن:
(أ) يتحرك المكبس الخارج أبعد من المكبس الدّاخل.
(ب) تكون القوة الخارجة أكبر من الدّاخلة.
(ج) تزيد سرعة المكبس الخارج على سرعة المكبس الدّاخل.
(د) تزيد الطّاقة النّاتجة على الطّاقة الدّاخلة.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

9. منطاد المراقبة الطّائر يوضح جيّدًا:
(أ) قاعدة أرخميدس.
(ب) قاعدة باسكال.
(ج) قاعدة برنولي.
(د) قانون بويل.

10. تكون الرّياح أسرع عندما تهبّ فوق قمة تلّ بسبب:
(أ) زيادة الضّغط الجوّيّ.
(ب) نقصان الضّغط الجوّيّ.
(ج) ليس هنالك أيّ أثر للضّغط الجوّيّ.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

أ، ج، ج، ب، ج، ب، أ، د، ب، أ

الفصل 5 مصادر على الشبكة

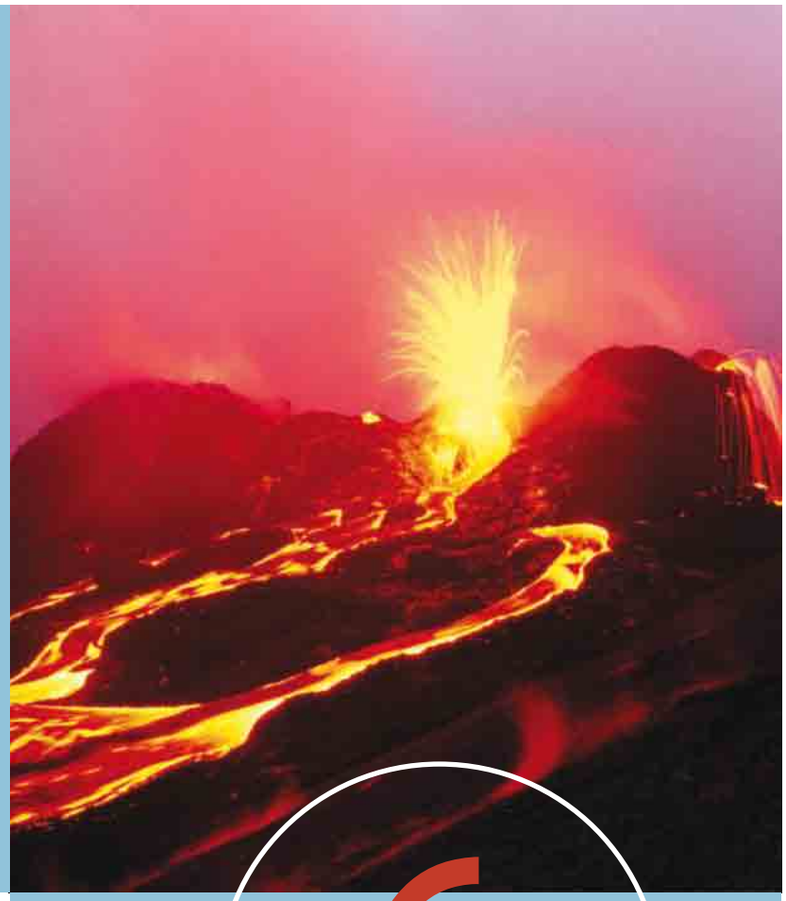
أشرطة فيديو

- السد والماء
- قابلية الطفو
- قاعدة أرخميدس
- العوم
- وزن الهواء
- الهواء مادة
- حفظ الهواء
- قابلية الطفو في الهواء

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



الطّاقة الحراريّة والتّحريك الحراريّ

6

1.6 درجة الحرارة

2.6 الصّفر المطلق

3.6 الحرارة

4.6 كميّة الحرارة

5.6 قوانين التّحريك الحراريّ

6.6 الإنتروبي

7.6 السّعة الحراريّة

8.6 التّمدد الحراريّ

9.6 تمدّد الماء

■ ما الفرق بين كأس شاي ساخن وآخر بارد؟ إنّ الحركة الجزيئيّة هي التي تجيب عن هذا السّؤال، وهو أنّ حركة جزيئات الشّاي السّاخن أسرع من حركة جزيئات الشّاي البارد. إنّ المادة في كافة أشكالها تتكوّن من جسيمات تهتزّ باستمرار، وهذا هو ما يسمى بالذرات أو الجزيئات. عندما تهتزّ هذه الجسيمات بمعدّل قليل تتشكّل حينها المواد الصلبة، ولكن عندما تهتزّ أسرع فإنّها تشكّل السّوائل، في حين تتكوّن الغازات عندما تتحرّك هذه الجسيمات منفصلة بعضها عن بعض وبأسرع ما تستطيع. أمّا عندما تتحرّك بسرعة أكبر من ذلك فإنّ هذه الجسيمات أو الذّرات تتحلّل مكوّنة البلازما. وهكذا فإنّ السّبب الذي يجعل المادة صلبة، أو سائلة، أو غازيّة، أو بلازما يرجع إلى حركة جسيماتها. وسنبحث في هذا الفصل والفصول اللاحقه آثار حركات الجسيم. وتُسمّى الطّاقة التي يمتلكها الجسيم عن طريق تصادم الذّرّات والجزيئات **الطّاقةَ الحراريّة**.

1.6 درجة الحرارة

عندما تلمس فرنًا ساخنًا، تنتقل الطّاقة الحراريّة إلى يدك؛ لأنّ الفرن أسخن منها. ولكن عندما تلمس قطعة من الجليد فإنّ الطّاقة الحراريّة تنتقل من يدك إلى الجليد الأبرد. إنّ الكمّيّة التي تشير إلى سخونة جسم ما أو برودته بالنسبة إلى أحد المقاييس هي درجة الحرارة. ويُعبّرُ عن درجة حرارة المادة بعدد يقابل درجه السّخونة على مقياس متّفق عليه. تقيس موازين الحرارة المألوفة درجة الحرارة بدلالة تمدّد السّائل أو تقلّصه . وفي العادة يستخدم الزّئبق أو الكحول الملوّن في هذه الموازين.

إنّ أكثر مقياس مألوف مستخدم في العالم هو مقياس سلسيوس (Celsius) الذي سمّي بهذا الاسم تكريما للفلكيّ السّويديّ أندرس سلسيوس Anders Celsius (1704-1744) الذي كان أول من اقترح مقياسًا مكونًا من 100 درجة بين درجتي تجمّد الماء وغليانه. وقد قام بتحديد الرقم 0 ليشير إلى درجة الحرارة التي يتجمّد عندها الماء، والعدد 100 لدرجة الحرارة التي يغلي الماء عندها (عند ضغط جوّيّ معياريّ).

أما أكثر مقياس مألوف لدرجة الحرارة في الولايات المتحدة فهو مقياس الفهرنهايت، الذي سمّي بهذا الاسم تكريمًا لمخترعه الفيزيائي الألماني فهرنهايت D.G Fahrenheit (1686 – 1736). وفي هذا المقياس، حدّد الرّقم 32 ليشير إلى درجه الحرارة التي يتجمد عندها الماء، أما الرّقم 212، فيشير إلى درجه الحرارة التي يغلي الماء عندها. ولكن إذا اعتمدت الولايات المتحدة النّظام المتريّ فسيتمّ الاستغناء عن مقياس الفهرنهايت.

الشّكل 2.6

وصية فهرنهايت خارج منزله (حاليًا في غادانك، بولندا).

تعدّ الصيّغ الحسابيّة لتحويل درجة الحرارة من مقياس إلى آخر من المسائل المألوفة في الامتحانات الصّفّيّة. ولأنّ هذه الصّيغ الحسابيّة ليست من الفيزياء، فلن نتطرّق إلى مثل هذه التّحويلات هنا (قد تكون مهمة في دروس الرّياضيات). إلى جانب ذلك، يمكن قراءة التحويل بين درجات الحرارة المئوية والفهرنهايتيّة تقريبا من القراءات المتقابلة. كما في الشّكل 3.6*.

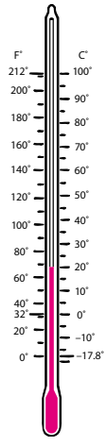
تتناسب درجة الحرارة مع معدّل الطّاقة الحراريّة الانتقاليّة لكلّ جسيم من الجسيمات المكوّنة للمادة. ونعني *بالانتقالية* الحركةَ الخطّيّةَ. وبالنّسبة إلى الغاز، فهي السّرعة التي تذهب وتجيء بها جسيمات الغاز. أما بالنّسبه إلى السّائل فهي سرعة حركة الجسيمات عندما تتذبذب وتهتز في أماكنها. لاحظ أنّ درجة الحرارة لا تعتمد على كمية المادة الموجودة. إذا كان لديك كأس ماء حار، ثم سكبت نصفه على الأرض فإنّ درجة حرارة النصف المتبقي لا تتغير. تحتوي كمية الماء المتبقية في الكأس على نصف الطّاقة الحراريّة التي تحتوي عليها الكأس المعبأة؛ بسبب وجود نصف عدد جزيئات الماء التي كانت في الكأس. إنّ درجة الحرارة هي خاصيّة لكلّ جسيم. ترتبط الطّاقة الحراريّة بمجموع الطّاقه الحركيّة للجزيئات في عينتك جميعها**. إنّ مضاعفة كمية الماء السّاخن تعني مضاعفة الطّاقة الحركيّة، حتى عندما تكون درجة الحرارة (معدل الطّاقة الحركيّة لكلّ جسيم) لها متساوية.

عندما نقيس درجة حرارة جسم ما بميزان حرارة تقليديّ فإنّ الطّاقة الحراريّة تنتقل بين ميزان الحرارة والجسم المراد قياس درجة حرارته. وعندما يكون لميزان الحرارة والجسم معدّل الطّاقه الحراريّة نفسه لكلّ جسيم، عندئذ يكونان في حالة اتّزان حراريّ. وعندما نقيس درجة حرارة جسم ما، فنحن في الحقيقة نقرأ درجة حرارة الميزان عندما يكون هو والجسم قد وصلا إلى حالة الاتزان الحراريّ.

الشّكل 1.6

هل يمكننا الثّقة بإحساسنا بالسخونة والبرودة؟ هل يشعر كلا الإصبعين بدرجة الحرارة نفسها عندما يغمسان في ماء ساخن؟ جرّب ذلك ولاحظ الشّعور بنفسك.

الجسيمات التي تكوّن المادة هي الذّرات و/أو الجزيئات. وكما نوقش في الفصل الثّاني، فإنّ الجزيء عبارة عن ذرتين أو اكثر ترتبطان معا بطريقة محددة.



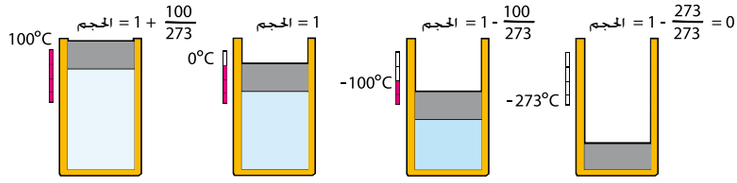
الشّكل 3.6

تدريجا فهرنهايت وسلسيوس على ميزان الحرارة.

---

* نعم، إذا كنت حقًا تريد معرفة صيغ تحويل درجات الحرارة فهي: $C = \frac{5}{9}(F - 32)$. $F = \frac{9}{5}C + 32$ حيث C هي درجة الحرارة بالسلسيوس، و F درجة الحرارة بالفهرنهايت.

** يفضّل الفيزيائيون استخدام مصطلح الطّاقة الدّاخليّة بدلًا من مصطلح الطّاقة الحراريّة؛ للتّأكيد على أنّ الطّاقة هي داخليّة في الجسم.



عند زيادة الحركة الحراريّة، تنصهر الأجسام الصّلبة أولًا وتصبح سائلة. وبزيادة الحركة الحراريّة أكثر يتبخّر السّائل. ولكن عند زيادة درجة الحرارة أكثر فأكثر تنفصل الجزيئات إلى ذرات، وتفقد هذه الذرات بعض إلكتروناتها أو جميعها، مكونة بذلك غيمة من الجسيمات المشحونة كهربائيًا؛ إنّها *البلازما*. توجد البلازما في النّجوم، حيث تبلغ درجة الحرارة ملايين الدّرجات المئويّة. لا يوجد حدّ أعلى لدرجة الحرارة.

2.6 الصّفر المطلق

وفي المقابل، هناك حدّ أدنى محدّد لمقياس درجة الحرارة. تتمدّد الغازات عند التّسخين، وتتقلّص عندما تبرد. لقد توصّلت تجارب القرن التّاسع عشر إلى نتائج مدهشة جدًّا، حيث وُجد أنه لو بدأنا بغاز، أيّ غاز، على درجة الصّفر المئويّ، وغيّرت درجة حرارته، مع إبقاء الضّغط ثابتًا، فإنّ الحجم يتغيّر بمقدار $\frac{1}{273}$ لكلّ تغيّر بمقدار درجة مئويّة واحدة. وعند تبريد الغاز من 0° س إلى – 10° س يتغيّر حجم الغاز بمقدار $\frac{10}{273}$ ويتقلّص إلى $\frac{263}{273}$ من حجمه الأصليّ. وإذا برّد الغاز من درجة الصّفر المئويّ إلى أدنى منه بمقدار 273° س، فإنّه يتقلّص بمقدار $\frac{273}{273}$ من حجمه، وينقص إلى الحجم الصّفريّ. ولكن من الواضح عدم وجود مادة بحجم صفريّ.

لقد وجد التّجريبيّون نتائج مشابهة للضغط. وبدءًا من درجة 0° س، فإنّ ضغط غاز موجود في حاوية، مع ثبات الحجم، يقلّ بمقدار $\frac{1}{273}$ من قيمته لكلّ انخفاض في درجات الحرارة بمقدار درجة مئويّة واحدة. وإذا برّد بمقدار 273° س تحت الصّفر المئويّ فإنّ الضّغط ينعدم بالكامل. وفي الواقع، فإنّ أيّ غاز سيتحول إلى سائل قبل وصوله إلى هذه الدّرجة. ومع ذلك، فإنّ هذا النقصان بمقدار يدلّ على أن درجة الحرارة الأقلّ هي -273° س. أي أنّ هذه الدرجة هي الحدّ الأدنى لدرجة الحرارة؛ إنّها **الصّفر المطلق**. وعند درجة الحرارة هذه، تفقد الجزيئاتُ الطّاقةَ الحركيّة المتوافرة جميعها *. لا توجد طاقة يمكن أخذها من المادة على درجة الصّفر المطلق؛ لأنه لا يمكن تبريدها أكثر من ذلك.

يسمّى مقياسُ درجة الحرارة المطلق *مقياسَ كلفن*؛ تكريمًا للفيزيائي البريطاني المشهور وليام ثومبسون William Thompson الذي منح لقب البارون الأوّل كلفن. الصفر المطلق هو 0 *k* (باختصار "0 kelvin" لاحظ أنّ كلمة *درجة* لا تستعمل مع درجة الحرارة كلفن)**. لا توجد أرقام سالبة على مقياس كلفن. وتدريجه يماثل التدريج المئوي. وهكذا، فإنّ نقطة انصهار الجليد فيه 273 كلفن، أما درجة غليان الماء فهي 373 كلفن.

الشّكل 4.6

عندما يحافظ على الضّغط ثابتًا فإنّ حجم الغاز يتغير بمقدار $\frac{1}{273}$ عند درجة الصّفر المئوي (0° س) وذلك عندما تتغير درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة.

وعند درجة الحرارة 100° س، فإنّ الحجم يكون $\frac{100}{273}$ أكبر من ذلك عند درجة الحرارة 0° س. أما عندما تهبط درجة الحرارة إلى -100° س، فإنّ الحجم يقلّ بنسبة $\frac{100}{273}$. وعند -273° س ، سيقلّ حجم الغاز بنسبة $\frac{273}{273}$. وعليه يصبح صفرًا.

لمعلوماتك

■ إنّ التلامُس الحراريّ ليس ضروريًّا في موازين الحرارة التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء حيث تظهر قراءات رقمية لدرجة الحرارة من خلال قياس إشعاعات تحت الحمراء التي تبثها الأجسام جميعها.

الشّكل 5.6

بعض درجات الحرارة المطلقة.

* حتى عند الصفر المطلق، لا تزال الجزيئات تمتلك كمية صغيرة من الطاقة الحركية. تسمى *طاقة نقطة- الصفر*. الهيليوم مثلا، يمتلك طاقة حركية كافية لتمنعه من التجمد. يتطلب تفسير هذه الظاهرة الإلمام بنظرية الكمّ.

** إنّ حصول ثومبسون على لقب بارون، كان نسبة إلى نهر كلفن الذي يجري في بلدته. وفي عام 1968 تغير مصطلح الدرجات المطلقة من (°K) إلى (K) والتي رمز إليها بالحرف الكبير بالإنجليزي K. القيمة الدقيقة للصفر المطلق هي -273.15°س.

الصفر المطلق ليست أقلّ درجة يمكن الوصول إليها فحسب، بل إنه الدرجة الأبرد التي تأمل بالاقتراب منها.

الشّكل 6.6

درجة حرارة الشرارة مرتفعة جدًا؛ 2000°س تقريبا. وهذا يعني أنّ هناك طاقة عالية لكلّ جزيء من الشرارة. ولكن بسبب العدد القليل للجزيئات في الشرارة الواحدة فإنّ مجموع الطاقة الحرارية في الشرارة قليل وآمن. إذن درجة الحرارة شيء، أما انتقال الحرارة فشيء آخر.

نقطة فحص

1. أيّ الدرجتين أكبر: السيليزية أم الكلفن؟
2. درجة الحرارة لعينة من غاز الهيدروجين هي 0°س. إذا سخنت هذه العينة حتى تضاعفت الطاقة الحرارية لجزيئات الهيدروجين. فماذا تصبح درجة حرارته؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 - إنهما متساويتان.

2. الغاز الذي درجة حرارته 0°س هي 273 درجة حرارة مطلق. وأنّ ضعف الطاقة الحرارية يعني ضعف درجة الحرارة المطلق، أو ضعف الـ 273. وهذه تساوي 546 كلفن أو 273°س.

3.6 الحرارة

عند وضع جسم ساخن بالقرب من جسم بارد. تنتقل الطّاقة الحراريّة من الجسم السّاخن إلى الجسم البارد. يعرف الفيزيائي **الحرارة** على أنها انتقال الطّاقة الحراريّة من جسم إلى آخر بسبب الفرق بين درجتي حرارتهما.

وفقًا لهذا التعريف فإنّ المادة تحتوي على *طاقة حرارية* وليس على حرارة. في اللحظة التي تنتقل فيها الطاقة الحراريّة من جسم أو مادة. تتوقف عن كونها حرارة. وللتأكيد مرة أخرى: لا تحتوي المادة على حرارة. بل على طاقة حرارية. إنّ الحرارة طاقة حركية في حالة انتقال.

تنتقل الطّاقة الحراريّة من مادة ذات درجة حرارة أعلى إلى مادة أخرى درجة حرارتها أقلّ؛ لكي يتمّ الاتزان الحراري. عندما تكون المواد متصلة حراريًّا. فهذا لا يعني انتقال الطّاقة الحراريّة من المادة التي لها طاقة حراريّة أكبر إلى المادة التي طاقتها الحراريّة أقلّ. فمثلًا. يحتوي وعاء الماء السّاخن على طاقة حراريّة أكثر من مسمار ساخن لدرجة الاحمرار. فإذا وضع المسمار في الماء فإنّ الطّاقة الحراريّة لا تنتقل من الماء السّاخن إلى المسمار. بل تنتقل من المسمار السّاخن إلى الماء الأبرد. إنّ انتقال الطّاقة الحراريّة من مادة درجة حرارتها أقلّ إلى مادة درجة حرارتها أعلى يعدّ مستحيلًا دون مساعدة.

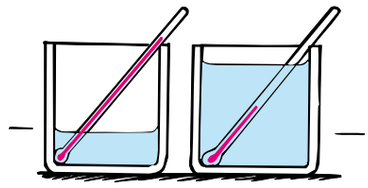
نقطة فحص

1. عند تسليط لهب على لتر من الماء لفترة معينة. ترتفع درجة حرارته بمقدار 2°س. إذا سُلِّط اللهب نفسه للفترة الزمنية نفسها على كمية لترين من الماء. فكم ترتفع درجة حرارته؟
2. إذا اصطدمت كرة زجاج سريعة بعدة كرات مشابهة بطيئة ومبعثرة. فهل تزداد سرعة الكرة السّريعة عادة أم تقلّ؟ أيّ الكرات تكتسب طاقة حركيّة وأيّها تفقدها: الكرة التي بدأت بسرعة عالية. أم الكرات التي تتحرّك ببطء؟ كيف تربط بين هذه الأسئلة واتجاه انسياب الحرارة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. ترتفع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة؛ لأنّ اللترين من الماء يحتويان على ضعف العدد من الجزيئات. وكلّ جزيء يحصل على نصف معدل كمية الطّاقة. لذا. فإنّ معدّل الطّاقة الحراريّة. وكذلك درجة الحرارة يزدادان بمقدار نصف الكمية الأولى.
2. تتباطأ الكرة السريعة عند اصطدامها بالكرات البطيئة. وتعطي بعض طاقتها الحركية للكرات البطيئة. وهذا ما يحدث بالنسبة للحرارة تمامًا. إنّ الجزيئات ذات الطاقة الحركية الأكبر. والتي تصطدم بالجزيئات التي لها طاقة حركة أقلّ. تعطي جزءًا من طاقتها الحركية الزائدة للجزيئات البطيئة. ويكون اتجاه انتقال الحرارة من الساخن إلى البارد. ولكن يكون مجموع الطاقة قبل الاصطدام وبعده هو نفسه (ثابتًا) لكلّ من الكرات والجزيئات.

كما يعني الظلام غياب الضوء فإنّ البرد هو غياب الطّاقة الحراريّة.



موقد ساخن

الشّكل 7.6

يحتوي الوعاء عن اليسار على لتر من الماء، في حين يحتوي الوعاء عن اليمين على ثلاثة لترات. ومع أنّ كليهما يمتصّ الكمية نفسها من الحرارة، فإنّ درجة الحرارة تزيد ثلاث مرات أكثر للوعاء الذي يحتوي على كمية ماء أقلّ.

4.6 كميّة الحرارة

الحرارة شكل من أشكال الطاقة وتقاس بالجول. أما في الولايات المتحدة فتقاس الحرارة تقليديًّا بالسّعرات، وهو مقياس آخر للطّاقة الحراريّة. ويفضل استعمال الجول في مواد العلوم. يلزم 4.18 جول من الحرارة لرفع درجة حرارة 1 جم من الماء درجة مئوية واحدة (أو ما يعادلها، سعرًا واحدًا).*
يحدّد تصنيف طاقة الغذاء والوقود من الطّاقة المتحررة عند حرقها. (الأيض هو في الحقيقة "حرق" بمعدل بطيء). هناك وحدة حرارة مألوفة معرفة للغذاء هي الكيلو كالوري (كيلو سعر). التي تعادل 1000 سعر، وهي الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كجم من الماء درجة سيليزية واحدة. وللتمييز بين هذه الوحدة والوحدة الأصغر؛ تسمى وحدة الغذاء عادة كالوري بكتابة *الكالوري* بالحرف الأول كبيرًا C. لذا فهو يساوي 1000 سعر.

ما تعلمناه حتى الآن عن الحرارة والطاقة الحراريّة يمكن تلخيصه *بقوانين الدّيناميكا الحراريّة*. يعود أصل كلمة **thermodynamics** إلى الكلمة اليونانية التي تعني "تحريك الحرارة".

تقاس درجة الحرارة بالدّرجات، أما الحرارة فتقاس بالجول (أو السُّعر). نتحدث في الولايات المتحدة عن الغذاء أو الشراب المنخفض السّعرات. ولكن معظم دول العالم تتحدث عن الغذاء والشراب المنخفض الجولات.

نقطة فحص

ما الذي يرفع درجة حرارة الماء أكثر: إضافة 4.18 جول أو 1 سعر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

كلاهما متساويان؛ وكأنك تسأل: أيهما أطول: مسار طوله 1.6 كم أم 1 ميل. إنهما بالطول نفسه، ولكن عُبِّر عنهما بوحدات مختلفة فقط.

5.6 قوانين التّحريك الحراريّ

عند انتقال الطّاقة الحراريّة على شكل حرارة، فإنّ الطّاقة المفقودة من مكان تُكتسب في مكان آخر وفق قانون حفظ الطّاقة. وعند تطبيق هذا القانون على الأنظمة الحرارية، فإنّه يسمى **القانون الأول للديناميكا الحراريّة**. والصيغة العامة له كما يلي:

عند انسياب الحرارة من النّظام أو إليه فإنّ النّظام يفقد كمية من الحرارة أو يكتسبها، وتكون هذه الكمّيّة مساوية لكمّيّة الحرارة المنتقلة.

عند إضافة طاقة حرارية إلى النظام، سواء أكانت آلة بخارية، أم الغلاف الجوي للأرض، أم جسم كائن حيّ، فإنّها تزيد الطاقة الحرارية للنظام إذا بقيت فيه، و/أو تبذل شغلًا خارجيًا إذا تركه. وبتفصيل أكثر، فإنّ القانون الأول في الديناميكا الحرارية ينصّ على أنّ:

الحرارة المضافة = الزّيادة في الطّاقة الحراريّة + الشّغل الخارجيّ المبذول من النّظام

افترض أنّك وضعت علبة صلبة معبأة بالهواء، ومغلقة بإحكام فوق صفيح ساخن، ثم أضفت كمية من الطاقة الحرارية إليها- لا تجرّب ذلك- فإنّ جدرانها لا تتحرك، وبالتالي لا يُبذل شغل بسبب حجمها الثابت. إنّ الحرارة جميعها التي تكتسبها العلبة تزيد الطاقة الحرارية للهواء الموجود فيها، لذا ترتفع درجة حرارتها. والآن، افترض أنّ جدران العلبة مرنة وقابلة للتمدد، عندئذ سيبذل الهواء الساخن شغلا بتمدد جدران العلبة، أي أنها تؤثر بقوة لبعض المسافة على الغلاف الغازي المحيط؛ لأنّ بعض الحرارة المضافة تذهب في بذل شغل، وأنّ حرارة أقلّ تذهب لزيادة الطّاقة الحراريّة للهواء داخل العلبة. وعليه، فهل ترى أنّ درجة حرارة الهواء في داخل العلبة عندما يبذل شغل أقلّ مما هي عليه عندما لا يبذل شغل؟ إنّ القانون الأول في الديناميكا الحراريّ منطقيّ جدًّا.

الشّكل 8.6
إلى الذين يراقبون أوزانهم، فإنّ العلماء يقولون إنّ حبة الفستق تحتوي على 10 سعرات تطلق 10,000 سعر (41,800 جول) من الطاقة عندما تحرق أو تهضم.

لمعلوماتك

إنّ خطة فقدان الوزن التي تتوافق مع القانون الأول في الديناميكا الحرارية هي: احرق سعرات حرارية أكثر مما تأخذ. فسوف تفقد وزنًا؛ هذا مؤكد.

* وهكذا، 1 سعر=4.18 جول. وهناك وحدة أخرى مألوفة للحرارة هي الوحدة الحرارية البريطانية التي تعرف بالـ Btu . وهي الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل من الماء درجة فهرنهايتية واحدة، وتساوي 1054 جول.

الشّكل 9.6

عندما تضغط إلى الأسفل على المكبس، فأنت تبذل شغلًا على الهواء في الداخل. ماذا يحدث لدرجة حرارته؟

يعيد **القانون الثاني في الديناميكا الحراريّة** صياغة ما تعلمناه حول اتجاه انسياب الحرارة:

إنّ انتقالَ الحرارة ذاتيًا من المادة الباردة إلى المادة السّاخنة مستحيلٌ.

عندما تنتقل الحرارة ذاتيًّا- أي دون بذل شغل خارجيّ- فإنّ اتجاه الانتقال يكون دائما من الحارّ إلى البارد. في الشتاء، تنتقل الحرارة من داخل البيت السّاخن إلى الهواء البارد في الخارج. أمّا في الصّيف، فينتقل الهواء السّاخن من الخارج إلى داخل البيت الأبرد. يمكننا نقل الحرارة بالطريقة الأخرى فقط عندما نبذل شغلًا على النظام، أو بإضافة طاقة من مصدر آخر، وذلك باستعمال المضخّات الحراريّة التي تحرك الحرارة من الهواء البارد في الخارج إلى داخل البيت السّاخن، أو استعمال مكيّفات الهواء التي تنقل الحرارة من داخل البيت البارد إلى الهواء السّاخن في الخارج. ولكن، دون جهد خارجي، يكون اتجاه انتقال الحرارة دائمًا من السّاخن إلى البارد. إذن، القانون الثاني منطقيّ جدًا كالقانون الأول *.

يعيد **القانون الثّالث في الدّيناميكا الحراريّة** صياغة ما تعلمناه حول الحدّ الأدنى لدرجة الحرارة:

لا يمكن أن يصل أيّ نظام إلى درجة حرارة الصّفر المطلق.

كلما حاول الباحثون الوصول إلى $\frac{1}{10^6}$ درجة الحرارة الأقلّ هذه تتبين صعوبة الاقتراب منها. لقد استطاع الفيزيائيون الوصول إلى1 كلفن. ولكنهم لن يصلوا إلى درجة منخفضة مثل 0 كلفن.

■ 6.6 الإنتروبي

ينصّ القانون الأول في الدّيناميكا الحرارية على أنّ الطّاقة لا تفنى ولا تُستحدث. وهذا يتعلق بكمية الطّاقة. أمّا القانون الثّاني فيتعلق بجودتها. أي عندما تنتشر وفي النهاية تتحلل إلى مخلفات.

وبهذه النظرة الواسعة، يمكن صياغة القانون الثّاني بما يلي:

تميل الطّاقة ذات الجودة العالية في العمليّات الطّبيعيّة إلى التّحول إلى طاقة ذات جودة منخفضة؛ أي أن التّرتيب يميل إلى عدم التّرتيب (الفوضى).

إنّ العمليات التي تكون نتيجتها التّرتيب من الفوضى دون مساعدة خارجيّة لا تحدث عادة في الطّبيعة. ومن المدهش، أن يتدخل الزّمن في الاتجاه من خلال قاعدة الدّيناميكا الحراريّة هذه. يكون اتجاه سهم الزّمن دائما من المرتّب إلى الأقلّ ترتيبًا **.

يمكن صياغة قوانين الدّيناميكا الحراريّة بالطّريقة التالية: لا يمكنك الربح (لا يمكنك أخذ طاقة من النظام أكثر مما تعطيه)، ولا التّعادل (بسبب عدم أخذك طاقة مفيدة بقدر ما تعطي)، ولا يمكنك ترك اللعبة أيضا (يستمر الإنتروبي في الكون في الازدياد).

* بعود ابتداع قوانين التّحريك الحراريّ إلى ثمانينيّات القرن الثّامن عشر. في ذلك الوقت، تم استبدال الأحصنة والعربات التي تجرها الأحصنة لتحلّ مكانها السّيارات التي يحركها البخار. وهناك قصة للمهندس الذي حاول شرح طريقة عمل الآلة البخارية إلى فلاح. فقد شرح المهندس بالتفصيل دورة الآلة البخارية. كيف يدفع البخار المتمدد المكبس. وكيف يدير العجلات. ففكّر الفلاح قليلا وسأل: "نعم، أنا أفهم ذلك. ولكن أين الحصان؟ توضّح هذه القصة، كم كان صعبًا خلخلة التفكير حول العالم عندما تأتي طريقة جديدة لتبديل الطرق المألوفة. فهل نحن مختلفون اليوم؟

** في القرن الماضي حينما كانت السينما حديثة العهد، كان المشاهدون يندهشون من رؤية القطار يتوقف على بعد إنشات من البطلة المربوطة بسكّة الحديد. لقد صُوِّر الشريط السينيمائيّ ابتداءً والقطار متوقف على بعد إنشات من البطلة، ثم حُرّك الشّريط بشكل عكسيّ، مكتسبًا سرعة. وعند عكسه يُرى القطار متحركًا نحو البطلة. (في المرة القادمة، أنعم النظر جيدًا في دخان إشارة الخطر عند دخولها المدخنة).

إنّ فكرة ميل الطّاقة المنظمة إلى طاقة غير منظمة متضمنة في مفهوم *الإنتروبي**. **الإنتروبي** مقياسٌ لكيفية انتشار الطّاقة نحو الفوضى من النّظام. وعند زيادة الفوضى، تزداد الإنتروبي. ومثال ذلك ما يلي: لا يمكن لجزيئات عادم السيارة الاتحاد آنيًّا لتكوين جزيئات جازولين أكثر تنظيمًا، ولا يمكن إرجاع انتشار الهواء الساخن في أرجاء الغرفة كلّها، عند فتح باب الفرن، إلى الفرن ذاتيًّا. كلّما سمح لنظام فيزيائيّ أن ينثر طاقته بحريّة، فإنه يعمل ذلك دائمًا بحيث يزيد الإنتروبي، في حين تنقص طاقة النظام المتوافرة لعمل شغل**.

ولكن عند القيام بشغل على النّظام كما الحال في الكائنات الحية، فإنّ الإنتروبي للنظام يمكن أن ينقص. إنّ الكائنات الحية جميعها؛ من البكتيريا، إلى الأشجار، إلى الجنس البشري، يستخلصون الطّاقة من محيطهم، ويستخدمون هذه الطّاقة لزيادة تنظيم أنفسهم. وتزيد عملية استخلاص الطاقة الإنتروبي في مكان آخر. (مثلًا، تحطيم جزيئات الغذاء العالية التنظيم إلى جزيئات أصغر) وهكذا، فإنّ أشكال الحياة، وإنتاج المخلّفات تزيد الإنتروبي كمحصلة. يجب أن تتحول الطّاقة ضمن النّظام الحيّ لدعم حياته. عندما لا يتم ذلك، فإنّ الكائن الحيّ سرعان ما يموت، ويميل نحو الفوضى.

الشّكل 10.6
الإنتروبيّ.

7.6 السّعة الحراريّة

حينما تأكل، ربما لاحظت أنّ بعض الأطعمة تبقى ساخنة أكثر من الأخرى. ففي حين تحرق حشوة شطيرة التّفاح لسانك، فإنّ قشرتها لا تكون كذلك، حتى عندما تكون الشّطيرة خارجة للتّوّ من الفرن. ويمكنك تناول قطعة الخبز المحمّصة بعد ثوانٍ قليلة من خروجها من آلة التحميص، ولكنك تحتاج إلى الانتظار عدة دقائق لكي تتمكّن من تناول الحساء، الذي له درجة الحرارة نفسها.

تختلف السّعة الحراريّة لتخزين الطّاقة باختلاف المواد. إذا سخّنا وعاء ماء في الفرن، فربما يحتاج ذلك إلى 15 دقيقة لرفع درجة حرارته من درجة حرارة الفرن إلى درجة حرارة الغليان. ولكن الكتلة نفسها من الحديد تحتاج إلى دقيقتين لرفعها إلى مدى درجات الحرارة نفسها. أما للفضّة، فإنّ درجة الحرارة تكون أقلّ من دقيقة. نحتاج إلى كمّيات حرارة مختلفة لرفع درجات حرارة مواد مختلفة إلى المقدار نفسه من الدرجات***.

كما ذكرنا سابقًا، يحتاج 1جم من الماء إلى سعر واحد من الطّاقة لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة. ويلزم $\frac{1}{8}$ هذه الطّاقة تقريبًا لرفع درجة حرارة 1جم من الحديد درجة سيليزية واحدة. يمتص الماء حرارة أكثر من الحديد للتغير نفسه في درجات الحرارة. وبذلك نقول: إنّ السّعة الحراريّة النوعيّة للماء (وأحيانًا تسمّى *الحرارة النوعيّة*) أعلى:

تعرف السّعة الحراريّة النوعيّة (Specific Heat Capacity) لأيّ مادة على أنها كمّيّة الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة وحدة الكتلة لتلك المادة بمقدار درجة سيليزية واحدة.

يفيد الماء في أنظمة تبريد السّيارات وكثير من الآلات؛ لأنّه يمتصّ كميات حرارة كبيرة لتغيير قليل في درجة الحرارة. كما أنه يحتاج إلى فترة طويلة حتى يبرد.

الشّكل 11.6
يمكن أن يظلّ محتوى شطيرة التفاح ساخنًا جدًا بحيث لاتستطيع أكله، أمّا القشرة فلا تكون كذلك.

* يمكن التعبير رياضيًا عن الإنتروبي كالآتي: تساوي الزيادةُ في الإنتروبيّ (ΔS) لنظام ديناميكيّ حراريّ كميةَ الحرارة المضافة للنظام، (ΔQ)، مقسومة على درجة الحرارة (T)، التي أضيفت عندها الحرارة، أي أنّ: $\Delta S = \Delta Q/T$.

** كما خمّن الفلاسفة، من المدهش بما فيه الكفاية ، أنّ الكاتب الأميركي رالف والدو إيميرسون *Ralph Waldo Emerson*، الذي عاش خلال الفترة التي كان فيها القانون الثاني في الدّيناميكا الحرارية هو العلم الجديد، أن ليس كلّ شيء يميل إلى الفوضى مع مرور الزمن. واستشهدوا بالتّفكير البشريّ على ذلك. حيث نقّحت الأفكار حول طبيعة الأشياء، وتطورت، ونظّمت بشكل أفضل من خلال مناقشتها مع الأجيال المتعاقبة. وهكذا، فإنّ التّفكير البشريّ يتطور نحو الترتيب.

*** في حالتي الفضّة والحديد، فإنّ لذرات الفضّة ضعف كتلة ذرات الحديد. تحتوي كتلة معينة من الفضّة على نصف عدد الذرات من الفضّة التي تحتويها الكتلة نفسها من الحديد. لذا نحتاج إلى نصف الحرارة لزيادة درجة حرارة الفضّة. وهذا يعني أن السّعة الحرارية للفضّة هي نصف السّعة الحراريّة للحديد.

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ **حلّ المسألة**

إذا علمت أنّ السّعة الحراريّة النوعيّة لمادة (c)، فإنّ:

الحرارة المنتقلة = السعة الحراريّة النوعية × الكتلة × التغير في درجات الحرارة. ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية:

$$Q = cm\Delta T$$

حيث Q هي كمية الحرارة، أما c فهي الحرارة النوعية للمادة، في حين تمثّل m الكتلة، و ΔT التّغيّر في درجات الحرارة المقابلة. وعندما تكون m بالجرامات، تكون السّعة الحراريّة النّوعيّة للماء 10 سعرات لكلّ جم لكلّ درجة سيليزية، وتكون Q بالسّعرات.

عينة مسألة 1

كم تصبح درجة حرارة خليط من 50 جم من الماء على درجة حرارة 20°س و50 جم من الماء على درجة حرارة 40°س؟

الحلّ:

الحرارة التي يكتسبها الماء البارد تساوي الحرارة التي يفقدها الماء السّاخن. لأنّ كتلتي الماء متساويتان، لذا، تكون درجة حرارة الخليط هي متوسط الدرجتين، أي 30°س. وهكذا يصبح عندنا 100 جم من الماء عند درجة حرارة 30°س.

عينة مسألة 2

خذ خليطًا مكوّنًا من 100 جم من الماء عند درجة حرارة 25°س مع 75 جم من الماء عند درجة 40°س. بيّن أنّ درجة الحرارة النهائية للخليط هي 31.4°س.

الحلّ:

هنا، خُلِطت كتل مختلفة من الماء معا. نساوي بين كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد و كمية الحرارة التي فقدها الماء السّاخن. يمكن التعبير عن هذه المعادلة رياضيًّا. ومن ثَمَّ ترشدنا القيم المحسوبة إلى الحلّ:

الحرارة التي يكتسبها الماء البارد = الحرارة التي يفقدها الماء الساخن

$$cm_1\Delta T_1 = cm_2\Delta T_2$$

حيث ΔT_1 لا تساوي ΔT_2 ، كما هو الحال في عينة المسألة 1؛ بسبب اختلاف كتل الماء. وبقليل من التفكير يتبيّن أنّ ΔT_1 هي درجة الحرارة النّهائيّة مطروحًا منها 25°س، ولأنّ T أكبر من 25°س. فإنّ ΔT_2 هي 40°س مطروحًا منها T؛ لأنّ T أقلّ من 40°س. إذن

$$c(100\ g)(T - 25) = c(75\ g)(40 - T)$$

$$100T - 2500 = 3000 - 75T$$

$$T = 31.4°C$$

عينة مسألة 3

يزودنا التّحلّل الإشعاعيّ داخل الأرض بالطّاقة اللازمة لحفظ جوفها ساخنًا، مولدًا الصهارة. كما أنّه يزوّد الينابيع الحارة الطبيعية بالدفء. ويعود ذلك إلى معدل إطلاق 0.03 جول تقريبًا لكلّ كجم في السّنة. بيّن أنّ الزمن اللازم لارتفاع درجة حرارة صخرة معزولة 500°س (افترض أنّ السّعة الحراريّة لعينة الصّخرة هو 800 جول لكلّ كجم لكلّ درجة سيليزية) هو 13.3 مليون سنة.

الحلّ:

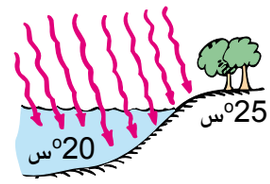
نتحول هنا إلى الصّخرة، ونطبق المفاهيم نفسها. كما نعبّر عن الحرارة النوعية بالجول لكلّ كيلو غرام لكلّ درجة سيليزية. لم تحدّد كمية الكتلة، لذا فإننا نحسب كمية الحرارة/ الكتلة (لأنّ الإجابة يجب أن تكون متماثلة بغض النظر عن قيمة الكتلة).

من $Q = cm\Delta T$ حيث نقسم على m ونحصل على $Q/m = c\Delta T$

800°(جول/كجم.س) × 500°س = 400000 جول/كجم.

الزمن اللازم هو 400000 جول/كجم ÷ 0.03 جول/كجم.سنة = 13.3 مليون سنة.

ومع ذلك يبقى جوف الأرض ساخنًا!



الشّكل 12.6

لأنّ السّعة الحراريّة النوعيّة للماء عالية وهو شفاف، فإنه يحتاج إلى طاقة لتسخينه أكثر من تلك اللازمة لتسخين الأرض. تتركز الطّاقة الشّمسيّة التي تضرب الأرض عند السّطح، أما الطّاقة التي تسقط على الماء فتتمدّد إلى تحت السّطح، لذا تقلّ.

يمكننا التّفكير في السّعة الحراريّة النوعية كقصور ذاتيّ حراريّ. تذكر أنّ مصطلح القصور الذاتيّ يستخدم في الميكانيكا للدّلالة على مقاومة الجسم للتّغيّر في حالته الحركيّة. تدل السّعة الحراريّة النوعيّة على مقاومة المادة للتغير في درجة حرارتها. مثلها مثل القصور الذّاتي الحراريّ.

السّعة الحراريّة النّوعيّة العالية للماء

تبلغ سّعة الماء الحراريّة لتخزين الطّاقة الحراريّة أكبر من أيّ مادة أخرى. ويعزى كبر السّعة الحرارية للماء إلى الطرق المختلفة التي يمتصّ بها الطاقةَ. تزيد الطّاقةُ الممتصة من المادة الحركةَ الاهتزازيّة لجسيمات تلك المادة، فترتفع درجة الحرارة. ويتضمن هذا عادة امتصاصَ الطاقة الحركة الاهتزازية وزيادة درجة الحرارة. وعندما نقارن جزيئات الماء مع الذّرات في الفلزّ نجد العديد من الطرق التي تمتّص بها جزيئات الماء الطّاقة دون زيادة الطّاقة الحركيّة الانتقاليّة. ولهذا يكون للماء سعة حرارية نوعية أكبر من الفلزّات، وكذلك أكثر من معظم المواد المألوفة.

■ **نقطة فحص**

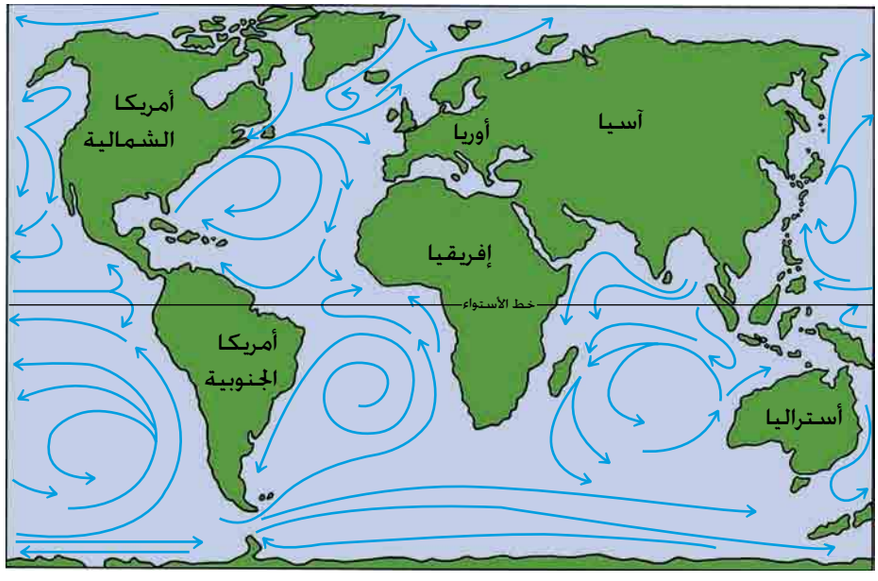
1. أيّهما له سعة حراريّة نوعيّة أعلى: الماء أم الرّمل؟ وبصيغة أخرى، أيهما يحتاج إلى وقت أطول ليسخن في النهار، أو وقت أطول ليبرد في الليل؟
2. لماذا تبقى قطعة بطيخ باردة فترة زمنيّة أطول من الشّطائر التي تخرج من المبردات في الوقت نفسه عند القيام برحلة، أو في الأيام الحارة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. الماء له أعلى سعة حراريّة نوعيّة. عند تعرضهما لأشعة الشّمس نفسها، ترتفع درجة حرارة الماء أقلّ من ارتفاع درجة حرارة الرملّ. ويبرد الماء ببطء أكثر في أثناء الليل. (إنّ ما تشعر به عندما تمشي أو تركض حافي القدمين فوق رمل حار في أثناء النهار يختلف عما تشعر به في أثناء الليل!) يؤثر انخفاض السّعة الحرارية النوعية للرّمل أو الأرض، كما يستدل عليه بسرعة السّخونة في صباح يوم مشمس، وسرعة البرودة في أثناء الليل في المُناخات المحليّة.
2. "القصور الحراريّ" (الإنتروبي) للبطيخ أكبر منه في الشّطيرة، كما أنّها تقاوم التّغير في درجات الحرارة بشكل أكبر. هذا القصور الذاتيّ الحراريّ هو السّعة الحراريّة النوعيّة.

تؤثر السّعة الحراريّة النوعيّة للماء في مُناخ العالم. انظر إلى الكرة الأرضية، ولاحظ بُعد أوربا عن خطّ الاستواء. يحافظ ارتفاع السعة الحرارية النوعية للماء على مناخ لطيف في أوربا أكثر من مناطق شمال شرق كندا التي لها خطوط العرض نفسها. تستقبل كلّ من كندا وأوربا الكمية نفسها من ضوء الشمس تقريبًا لكلّ كيلو متر مربع. ولحسن حظّ الأوربيين، فإنّ تيارات المحيط الأطلسي المعروفة بتيارات الخليج، تحمل الماء الساخن إلى الشّمال الشّرقيّ من البحر الكاريبي، محتفظة بالكثير من طاقتها الحرارية فترة طويلة إلى شمال المحيط الأطلسي على شواطىء أوربا. وهناك يطلق الماء 4.18 جول من الطاقة لكلّ جرام من الماء، والتي تبرد بمعدّل درجة سيليزية واحدة. وتحمل هذه الطّاقة بالرياح الغربية فوق القارة الأوربية*.

كما أنّ الأثر نفسه يحدث في الولايات المتحدة، فإنّ معظم الرّياح في أمريكا الشّماليّة هي غربية. تتحرك الرّياح في أمريكا الشّماليّة من المحيط الهادي إلى اليابسة. وفي أشهر الشتاء، تكون مياه المحيط أدفأ من الهواء. يندفع الماء الساخن فوق الهواء، ومن ثم يتحرك فوق المناطق السّاحلية، مما يسهم في تبريد الطقس. أما في الصيف فيحدث العكس باندفاع الهواء فوق الماء حاملًا الماء البارد إلى المناطق السّاحليّة. إنّ السّاحل الشّرقيّ لا يستفيد من الآثار الملطّفة للماء لأنّ اتجاه الهواء من اليابسة إلى المحيط



الشّكل 13.6
تيارات المحيط المتعددة المبينة بالأزرق، توزع الحرارة من المناطق الاستوائيّة الساخنة إلى المناطق القطبيّة الباردة.

* يعد وجود التيارات النّفاثة في أعالي الغلاف الجوي مساهمًا كبيرًا لتدفئة أوربا.

الأطلسي. وبسبب انخفاض السّعة الحراريّة النوعيّة لليابسة تسخن اليابسة في الصّيف، ولكنها تبرد بسرعة في الشتاء.

لا تتكون درجات الحرارة القصوى في الجزر وشبه الجزر، والتي تكون مألوفة في المناطق الداخلية للقارة. إنّ درجات الحرارة المرتفعة في الصيّف والمنخفضة في الشتاء المألوفة في مانتوبا وداكوتا، مثلا، تنتج عن كبر المسطحات المائية إلى حدّ بعيد. ويجب على الأوربيين، وسكان الجزر، والناس الذين يعيشون بالقرب من تيارات المحيط الهوائية أن يكونوا مسرورين لأنّ للماء سعة حرارية نوعية عالية. وبالتأكيد فإنّ سكان سان فرانسيسكو كذلك.

■ **نقطة فحص**

إنّ جزيرة برمودا قريبة من كارولينا الشمالية، ولكن، على عكسها فإنّ مُناخها استوائيّ على مدار السنة. لماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

برمودا جزيرة، تدفأ بالماء المحيط بها، والتي لولاه لكانت باردة. والماء يبردها، والتي لولاه لكانت دافئة.

■ 8.6 التّمدد الحراريّ

عند زيادة درجة الحرارة لمادة ما، فإنّ جزيئاتها تهتّز بسرعة، وتتحرك مبتعدة بعضها عن بعض؛ إنّها تتمدّد حراريًّا. إنّ معظم المواد تتمدّد عندما تسخن، وتتقلّص عندما تبرد. ومع ذلك، فإنّ هذه التغيرات قليلة وغير مُلاحَظة أحيانًا . وفي أحيان أخرى تكون مُلاحَظة. تتدلى أسلاك التلفزيون وتصبح أطول في أيام الصّيف الحارّة أكثر مما هي عليه في أيام الشتاء الباردة. كما أنّ مساراتِ سكة الحديد التي تمّ تركيبها في فصل الشتاء البارد، تتّحدُ وتنثني في أيام الصّيف الحارة (الشكل 14.6). وعادة ما ترتخي أغطية علب العصير عند تعرضها للماء الساخن. إذا سَخَّنت قطعة من الزّجاج أو بردتها بسرعة أكثر من الجزء المجاور، فإنّ التّمدّد أو التّقلّص النّاتج يمكن أن يكسرها. وهذا صحيح خصوصا في الزّجاج السّميك. أما زجاج (البايركس) فهو استثناء؛ لأنه مصمم بحيث يتمدّد قليلا بزيادة درجة الحرارة.

يُفسِّر التّمدّد الحراريّ صوت الصّرير الذي يُسمع في الأدوار العليا من المباني القديمة في الليالي الباردة.

الشّكل 14.6

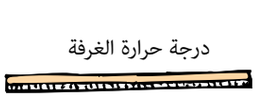
التّمدد الحراريّ. الحرارة الشّديدة في يوم من أيام تموز يسبب ثني مسارات سكّة الحديد.

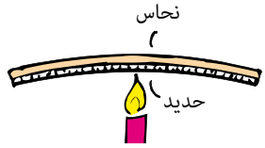
الشّكل 15.6
تركب إحدى نهايتي الجسر على هزازات لتسمح بالتّمدد الحراريّ. وتثبت النهاية الثانية (غير مرئية).

الشّكل 16.6
تسمى هذه الفجوة في الطريق على الجسر وصلة التمدد، وتسمح للجسر بالتّمدّد والتّقلّص. (في أيّ يوم أخذت هذه الصورة؛ في يوم حار أم بارد؟)

يجب أن يؤخذ التّمدّد الحراريّ في الحسبان في الهياكل والأجهزة للأنواع جميعها. يستخدم المهندس المدنيّ الفولاذ المقوّى الذي له المعدّل نفسه لتمدّد الخرسانة. وعادة ما يكون للجسر الفولاذي الطّويل طرف مثبت، في حين يستقر الآخر على هزازة (الشكل 15.6). لاحظ أنّ العديد من الجسور لها حزّ ولسان تسمّى *وصلات التّمدّد* (الشكل 16.6). وبالمثل، تقطع الطّرقات الخرسانيّة والأرصفة بفجوات تُملأ غالبًا بالقطران، لذا يمكنها التّمدد في الصّيف والتّقلّص في الشّتاء بحريّة.

تتضح حقيقة أنّ المواد المختلفة تتمدد بمعدلات مختلفة بشكل واضح في المزدوج (الشكل 17.6). يصنع هذا الجهاز من شريحتين من فلزّين مختلفين ملحومتين معًا، إحداهما من النحاس، والثّانية من الحديد. وعند التسخين، تلتوي شريحة النحاس الأكثر تمدّدا. ويمكن استخدام هذا الالتواء لإدارة مؤشر، تنظيم صمام، أو لإغلاق مفتاح.





الشّكل 17.6
تسمى هذه الفجوة في الطريق على الجسر وصلة التمدد، وتسمح للجسر بالتّمدّد والتّقلّص. (في أيّ يوم أخذت هذه الصورة؛ في يوم حار أم بارد؟)

وكتطبيق عمليّ للشّريط المزدوج الملفوف على شكل منظم للحرارة (انظر الشّكل 18.6). عندما تصبح الغرفة باردة جدًّا، ينثني الملفّ في اتّجاه الجزء النحاسيّ حيث ينشّط مفتاح الدّارة الكهربائيّة الذي بدوره يشغّل المسخّن. وعندما تسخن الغرفة ينثني الملفّ نحو الجزء الحديديّ الذي يفتح دارة التسخين. وتستخدم هذه الأشرطة المزدوجة كموازين حرارة في الأفران، والثّلاجات، ومحمّصة الخبز الكهربائيّة، وكذلك في أجهزة أخرى عديدة.

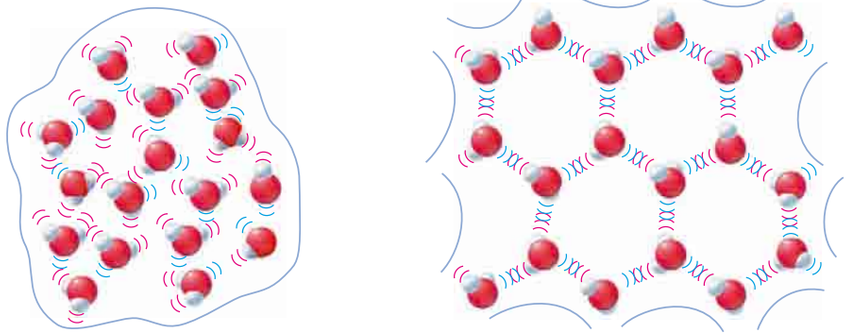
تتمدّد السّوائل بزيادة درجة الحرارة أكثر من تمدّد المواد الصّلبة. ونلاحظ ذلك بانسياب الجازولين من خزان السّيارة في أيام الصّيف الحارّة. فلو تمدّد محتوى الخزّان ومادته بالمعدل نفسه، لما حدث أيّ تسرّب للجازولين. ولهذا السبب، يجب ألا يُملأ خزّان الوقود في الصّيف بالكامل، خاصة في الأيام الحارّة.

9.6 تمدّد الماء

يتمدّد الماء عند تسخينه كمعظم المواد. ولكن من المدهش أنه لا يتمدد في مدى درجات الحرارة من (4-0)س°. ففي هذا المدى، يحدث شيء ساحر جدًا.

يوجد تركيب بلوريّ مفتوح للجليد، وتكون هناك فراغات بين جزيئات الماء في هذا التركيب المفتوح أكثر منه في طور السّائل (الشكل 19.6). وهذا التركيب لا ينهار بالكامل عند انصهار الجليد، حيث يبقى جزء منه في الخليط، مكوّنًا من ثلج مذاب دون مجهري والذي "ينفخ" الماء قليلا -

الشّكل 18.6
منظّم الحرارة. عند تمدد الشريط المزدوج الملفوف، تتدحرج قطرة الزئبق السائل بعيدًا عن منطقة التوصيل الكهربائي، فتقطع الدائرة الكهربائية، وعند انكماش الملف يتدحرج الزئبق في اتجاه معاكس لاتجاه الانكماش لتكتمل الدائرة الكهربائية.

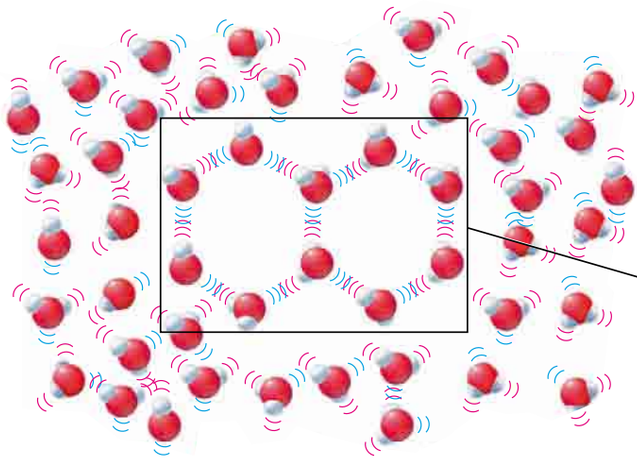


الشّكل 19.6
جزيئات الماء السّائل أكثر كثافة من جزيئات الماء المتجمّد في الثّلج، والتي لها تركيب بلّوريّ مفتوح.

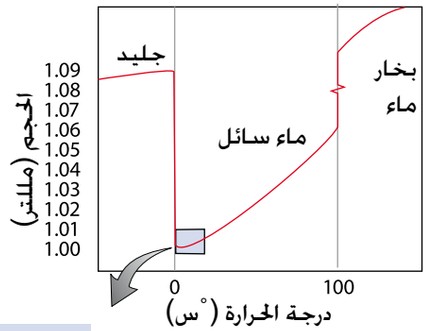
يزيد من حجمه قليلا (الشكل 21.6). وتكون النتيجة أن يصبح الماء المتجمّد أقل كثافة قليلًا من الماء السّاخن. وعند زيادة درجة حرارة الماء عند الصّفر المئويّ، يتحطم المزيد من بلّورات الجليد. وينقص انصهار مزيد من بلورات هذا الجليد المتبقي من حجم الماء. وهنا تحدث عمليتان متعاكستان للماء في الوقت نفسه: تقلّص وتمدّد. يتناقص الحجم نتيجة تحطّم بلورات الجليد. في حين يزداد الحجم بسبب زيادة الحركة الجزيئيّة. ويسيطر أثر تحطم بلورات الجليد على أثر زيادة الحركة حتى درجة 4°س. وبعد ذلك، يتغلب التّمدّد على التّقلّص بسبب ذوبان معظم بلورات الجليد (الشكل 22.6).

تتجمّد البرك من الأعلى إلى الأسفل. ويكون سُمك الجليد في الشّتاء البارد أكثر مما في الشّتاء المعتدل. وتكون درجة حرارة البركة المغطاة بالجليد عند أسفل طبقة الجليد 4°س. وهو أدفأ للكائنات الحيّة منها عند السّطح. ومن المهم أنّ المسطّحات المائية العميقة لا تتغطّى بطبقة جليد حتى في أيام البرد الشّديد. ويعود ذلك إلى أنّ الماء جميعه يجب أن يبرد إلى درجة 4°س، قبل أن تنخفض درجات حرارة أقلّ من ذلك. إنّ طول الشتاء لا يكون طويلًا بما فيه الكفاية لإنقاص درجة حرارة البركة بالكامل إلى 4°س، أي أنّ الماء على درجة 4°س يكون في القاع بسبب السّعة الحراريّة العالية له. وضعف التّوصيل الحراري، وأنّ قاع المياه العميقة، يبقى عند درجة حرارة 4°س طوال أيام السّنة. وهذا مفيد لحياة الأسماك.

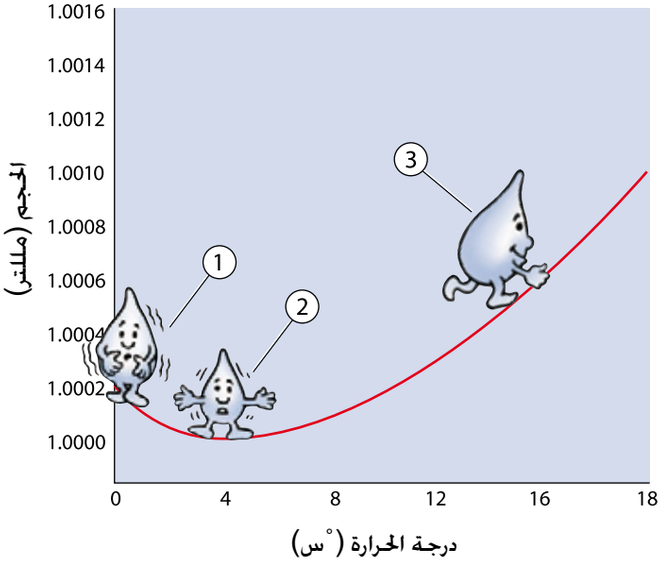
الشّكل 20.6
تركيب الكسفة الثّلجيّة ذات الجوانب – السّتّة هي نتاج البلّورات الثّلجيّة ذات الجوانب السّتّة المكوّنة لها. وتتكوّن هذه البلّورات في معظمها من بخار الماء، وليس الماء السّائل. إنّ معظم الكسفات الثّلجيّة ليست متماثلة كالكسفة المبيّنة هنا.



الشّكل 21.6
قريبًا من الصّفر السيليزي، يحتوي الماء السّائل على بلّورات من الجليد. كما أنّ التّركيب المفتوح لهذه البلّورات يزيد من حجم الماء قليلًا.



الشّكل 22.6
يتناقص حجم الماء السّائل بزيادة درجة الحرارة بين 0°س و4°س. ولكن عند أعلى من 4°س يفوق التّمدّد الحراريّ التّقلّص، ويزداد الحجم بزيادة درجة الحرارة.

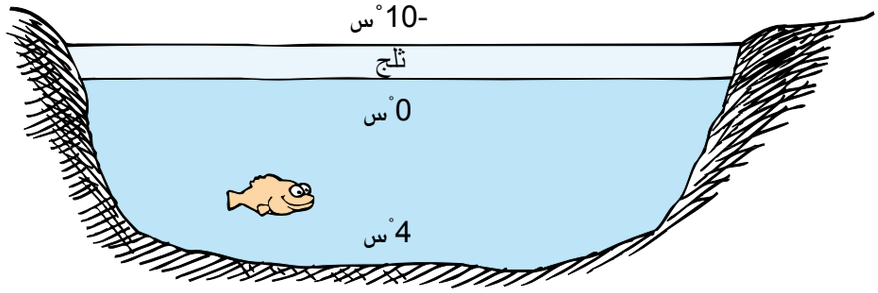


① سيكون سائل الماء منتفخًا تحت درجة 4°س ببلورات الجليد.

② عند التسخين تتحطم البلورات. منتجة حجمًا أقل للماء السائل.

③ أعلى من 4°س. يتمدد الماء السائل عند تسخينه بسبب الزيادة.

لأنَّ كثافة الماء تكون أعلى ما يمكن عند درجة 4°س، يرتفع الماء البارد ويتجمّد عند السّطح. وهذا يعني أنّ السّمك يكون دافئًا نسبيًّا.



الشّكل 23.6
عندما يبرد الماء، يغطس حتى تصبح البركة كلها عند درجة 4°س. وبعد برودة الماء على السّطح أكثر يطفو فوق السّطح، ويمكن أن يتجمد. وعند بدء تشكّل الجليد تنخفض درجة الحرارة إلى أقلّ من 4°س، ثم يستمر الانخفاض إلى أسفل البركة.

■ **نقطة فحص**

1. ما درجة الحرارة بالضبط عند قاع بحيرة ميتشجان (Michigan) في رأس سنة 1901م؟
2. ماذا يوجد داخل الفراغات المفتوحة في بلورات الجليد المبينة في الشكل 19.6؟ هل هو هواء، أم بخار ماء أم لا شيء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. درجة حرارة أي جسم مائيّ يحتوي على ماء عند درجة 4°س هي 4°س عند القاع. ولهذا السّبب تكون الصخور في القاع. إنّ كلّ ما في الماء على درجة حرارة 4°س، والصخور أكثر كثافة من الماء عند أيّ درجة حرارة. ويعدّ الماء موصلًا ضعيفًا للحرارة. فإذا كان الجسم المائي عميقًا، وفي منطقة يكون الشتاء فيها طويلًا والصّيف قصيرًا، يستمر الماء في الغالب عند درجة حرارة 4°س على مدار السّنة.
2. لا يوجد شيء في الفراغات المفتوحة؛ إنه فضاء فارغ. إذا كان هناك هواء أو بخار في هذه الفضاءات المفتوحة، فإنه يجب أن تُبيّن هذه التوضيحات وجود جزيئات فيها الأكسجين والنيتروجين من الهواء، و H_2O من بخار الماء.

درجات الحرارة القصوى

تصل درجة الحرارة السّطحيّة في الصّحراء الأسبانيّة والإفريقيّة، أو في آسيا الوسطى إلى 60°س (140°فهرنهايت). وهذه حرارة عالية جدًّا للحياة. ولكن ليس لأنواع معينة من النّمل الذي ينمو عند درجات الحرارة هذه. لذا فعند هذه الدرجة العالية جدًّا، يجوب نمل الصحراء بحثًا عن الطعام دون وجود السّحالي، التي لو كانت موجودة لافترسته. يستطيع هذا النّمل بمقاومته للحرارة، تحمّل درجات حرارة عالية أكثر من أيّ مخلوق آخر في الصّحراء. كيف يستطيع فعل ذلك؟ إنه موضوع قيد البحث الآن. يجوب النّمل الصحراء بحثًا عن الطعام في جثث المخلوقات التي لم تدفن في وقتها، ويلمس الرّمل بأقل قدر ممكن.

وعادة ما يمشي على أربع أرجل بأقصى سرعة ممكنة، منها اثنتان مرفوعتان في الهواء. ومع أنّ الطريق الذي يسلكه بحثًا عن الطعام متعرج فوق أرض الصحراء، إلا أنّ طريق عودته تكون في خطوات مستقيمة تقريبًا. يستطيع النمل التحرك بسرعة تبلغ 100 مرة قدر طولها في الثانية. وخلال فترة ستة أيام من حياته، يتغذى معظم النّمل على (15 - 20) مرة قدر وزنه من الطعام. لقد تطور لدى العديد من المخلوقات طرق للاستمرار في الحياة تحت أقسى الظروف في العالم من الصحراء إلى الأنهار المتجمدة. وهناك نوع من الدّود ينمو في القطب المتجمد الشّمالي.

تملأ بعض الحشرات أجسامها كاملا بمواد مضادة للتجمد كيلا تصبح جامدة متصلّبة. كما أنّ هناك بعض الأسماك التي تعيش تحت الجليد قادرة على فعل الشّيء نفسه. إضافة إلى أنّ بعض أنواع البكتيريا تعيش في الينابيع الحارة التي تصل حرارتها إلى درجة الغليان، نتيجة لاحتوائها على بروتينات مقاومة للحرارة.

إنّ فهم كيفية بقاء بعض المخلوقات حية في ظروف درجات الحرارة القصوى، يمكن أن يكون مفيدًا، ويؤدي إلى حلول للمشاكل والتحديات الفيزيائية التي تواجه البشرية. فرواد الفضاء عند مغامرة الخروج من الأرض، مثلًا، يحتاجون إلى جميع الآليات المتاحة للتكيف مع البيئة الجديدة.

ملخّص المصطلحات

درجة الحرارة Temperature: مقياس لسخونة المواد أو برودتها، وتتعلق بمعدل الطّاقة الحركيّة لكلّ جزيء في المادة، وتقاس بالدّرجات السيليزية، أو الدّرجات الفهرنهايتية، أو الكلفن.

درجة الصّفر المطلق Absolute Zero: درجة الحرارة النّظريّة التي لا تمتلك المادة عندها أيّ طاقة حركية.

الطّاقة الحراريّة Thermal energy: مجموع الطّاقة (حركية + وضع) للجسيمات التي تتكون منها المادة.

الحرارة Heat: الطّاقة الحراريّة التي تنساب من المادة التي درجة حرارتها أعلى، إلى المادة التي درجة حرارتها أقلّ. وتقاس عادة بالسُّعر أو الجول.

الدّيناميكا الحراريّة Thermodynamics : دراسة الحرارة وتحولاتها إلى أشكال الطّاقة الأخرى.

للقانون الأول في الدّيناميكا الحراريّة First law of thermodynamics: إعادة صياغة لقانون حفظ الطاقة، ويطبّق عادة على الأنظمة التي تتغير درجة حرارتها. كلما انسابت الحرارة من النظام، فإنّ كسب الطّاقة الحراريّة أو خسارتها يساوي كمية الحرارة المنتقلة.

للقانون الثّاني في الدّيناميكا الحراريّة Second law of thermodynamics: لا يمكن أن تنتقل الحرارة آنيًّا من مادة باردة إلى مادة ساخنة. وكذلك في العمليات الطبيعية، تميل الطّاقة ذات الجودة العالية للتّحول إلى طاقة ذات جودة منخفضة؛ يميل النّظام إلى الفوضى.

للقانون الثالث في الدّيناميكا الحراريّة Third law of thermodynamics: لا يمكن لأيّ نظام أن يصل إلى درجة الصّفر المطلق.

الإنتروبي Entropy: مقياس لمدى تشتّت الطّاقة في النّظام. كلّما

تحولت الطّاقة من شكل إلى آخر فإنّ اتجاه التّحول يكون نحو الحالة الأكثر فوضى. ومن ثم، نحو الحالة التي تزيد فيها الإنتروبي.

السّعة الحراريّة النوعيّة Specific heat capacity: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من المادة بمقدار درجة سيليزية واحدة.

أسئلة مراجعة

1.6 درجة الحرارة

1. ما درجات الحرارة التي يتجمّد عندها الماء على المقياسين المئوي والفهرنهايتي؟ ما درجة غليان الماء بالمقياسين؟
2. هل درجة الحرارة لجسم ما هي مقياس لمجموع طاقة الحركة، أم لمجموع الجسيمات التي تكون الجسم، أم مقياس لمعدّل طاقة الحركة لكلّ جزيء من الجسم؟
3. ماذا تعني العبارة التالية: "يقيس ميزان الحرارة درجة حرارته"؟

2.6 الصّفر المطلق

4. كم ينقص ضغط الغاز لوعاء عندما تنقص درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة؟
5. كم تتوقع أن يصبح الضّغط لغاز في وعاء صلب على درجة الصّفر السيليزي إذا برّدته بمقدار 273° س؟
6. ما درجة كلّ من تجمد الماء و غليانه على مقياس كلفن؟
7. ما مقدار الطّاقة التي يمكن أخذها من نظام على درجة الصّفر المطلق؟

3.6 الحرارة

8. عندما تلمس سطحًا باردًا، فهل تنتقل البرودة من السّطح إلى إصبعك؟ أم العكس ؟ فسّر.
9. ميّز بين درجة الحرارة وكميتها.
10. ميّز بين كمية الحرارة والطّاقة الحراريّة.
11. ما الذي يحدّد اتجاه انتقال الحرارة؟
12. هل البرودة هي المقابل للطّاقة الحراريّة أم نقصها؟

4.6 كمية الحرارة

13. كيف يتم تقدير قيمة الطّاقة في الغذاء؟
14. ميّز بين السُّعرين العلميّ والتجاريّ؟ يُكتب الأول باللغة الإنجليزية بحرف c calorie (صغير) والثاني بحرف C Calorie (كبير).
15. ميّز بين السُّعر والجول.

5.6 قوانين التحريك الحراريّ

16. اذكر القانون الأول في الدّيناميكا الحراريّة.
17. كيف يرتبط قانون حفظ الطّاقة بالقانون الأول في الدّيناميكا الحراريّة؟
18. اذكر القانون الثّاني في الدّيناميكا الحراريّة.
19. كيف يرتبط القانون الثّاني في الدّيناميكا الحراريّة باتجاه انسياب الحرارة؟
20. اذكر القانون الثّالث في الدّيناميكا الحراريّة.

6.6 الإنتروبي

21. تحت أيّ ظروف يمكن أن ينقص إنتروبي نظام ما؟

7.6 السّعة الحراريّة النّوعيّة

22. أيهما يسخن أسرع عند تعريضه للحرارة: الحديد أم الفضّة؟
23. هل للمادة التي تسخن أو تبرد بسرعة سعة حراريّة نوعيّة أعلى أم أقلّ؟
24. كيف تقارن السّعة الحراريّة النوعيّة للماء بالسّعة الحراريّة النوعيّة للمواد الأخرى؟

8.6 التّمدّد الحراريّ

25. لماذا ينحني السّلك المكوّن من فلزّين مع تغيّر درجة الحرارة؟
26. أيّ الموادّ تتمدّد أكثر عند تعرضّها للتغيّر نفسه في درجة الحرارة: الصّلبة أم السّائلة؟

9.6 تمدّد الماء

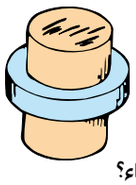
27. عند زيادة درجة حرارة جليد الماء البارد قليلًا، فهل تكون المحصّلة تمدّدا أم تقلّصا؟
28. ما السّبب في أنّ كثافة الجليد أقلّ من كثافة الماء؟
29. عند أيّ درجة حرارة يكون للماء أقلّ حجم لمجموع آثار التّقلّص والتّمدّد؟
30. لماذا يتكوّن الجليد عند سطح البركة وليس في قعرها؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● في غرفتك أشياء مثل: الطاولات، والكراسي، وأُناس آخرون. أيّ منها له درجة حرارة: (أ) أقلّ من درجة حرارة الهواء فيها؟ (ب) أكبر؟ (ج) مساوية؟
2. ● لماذا لا تتأكد مما إذا كانت درجة حرارتك عالية بلمس جبهتك؟
3. ● لماذا لا تتوقع أن يكون للجزيئات جميعها في الغاز السّرعة نفسها؟
4. ● أيّهما أكبر: زيادة في درجة الحرارة بمقدار 1°س، أم زيادة بمقدار 1 فهرنهايت؟
5. ● أيّهما له كمّيّة طاقة حراريّة أكبر: جبل جليد أم كأس قهوة ساخنة؟ فسّر.
6. ● على أيّ مقياس درجة حرارة يتضاعف معدّل الطّاقة الحراريّة للجزيئات عند مضاعفة درجة الحرارة؟
7. ■ تبلغ درجة الحرارة داخل الشّمس 10^7 درجة. هل يشكّل هذا فرقًا إذا ما كانت بالسيليزي أو بالكلفن؟ برّر إجابتك.
8. ■ لماذا تزداد درجة حرارة الغاز عندما يُضغط بسرعة؟
9. ● أيّ قوانين الدّيناميكا الحراريّة له استثناءات؟
10. ● ماذا يحدث لضغط الغاز داخل وعاء مغلق عند تسخينه، تبريده؟ لماذا؟
11. ● لماذا يزداد الضغط في إطارات السّيارات بعد أن تقطع مسافة ما؟
12. ● إذا أسقطت حجرًا ساخنًا في وعاء ماء فستتغيّر درجة حرارة الحجر والماء حتى تتساويا. فالحجر يبرد، أما الماء فيسخن. هل يصحّ هذا لو اسقطنا الحجر في المحيط الأطلسي؟ برّر اجابتك.
13. ● كان من المألوف قديمًا أن تصحب شيئًا ساخنًا معك إلى الفراش في ليلة شتاء باردة. أيهما أفضل لتشعر بالدفء طوال الليل: قطعة حديد كتلتها 15 كجم، أم قربة من الماء السّاخن كتلتها 15 كجم عند درجة الحرارة نفسها؟ فسّر.
14. ● يكون رمل الصحراء حارًّا جدًّا في النهار، وباردًا في الليل. ما علاقة هذا بالسّعة الحراريّة للرّمل؟
15. ● إنّ إضافة الكمية نفسها من الحرارة لجسمين مختلفين لا يُنتج بالضرورة الزيادة نفسها في درجة الحرارة. لماذا ؟
16. ● ما الدّور الذي تقوم به السّعة الحرارية النّوعيّة في بقاء البطيخ باردًا بعد إخراجه من الثلاجة في يوم حارّ؟
17. ● لماذا يساعد وجود المسطّحات المائيّة الكبيرة على تلطيف الجو للمحيط المجاور، حيث تجعلها أكثر دفئًا في الطّقس البارد وألطف في الطّقس الدافئ؟
18. ● إذا كانت الرّياح عند خط عرض سان فرانسيسكو وواشنطن، D.C هي من الشرق بدلًا من الغرب، لماذا يمكن لسان فرانسيسكو زراعة أشجار الكرز فقط، أما واشنطن فتزرع أشجار النخيل فقط؟
19. ● اذكر استثناء للادعاء بأنّ المواد جميعها تتمدّد عندما تسخن.
20. ● هل يعمل المزدوج الفلزي إذا كان للفلزين المختلفين معدل التمدد نفسه؟ برّر إجابتك.
21. ■ توصل الأطباق الفولاذية بمسامير تنزلق في ثقوب الأطباق وتُجلّس عادة بالمطرقة. إنّ سخونة المسامير تجعل عملية التجليس أسهل، ولكن للسخونة فائدة مهمة أخرى وهي الانطباق المحكم. فسّر.
22. ■ من الطرق المستعملة لتحطيم الصخور وضعها في النار، ثم صبّ الماء البارد عليها. لِمَ يساعد هذا على تكسيرها؟
23. ■ هناك طريقة لعلاج كؤوس الشرب الملتصق في بعض، وهي صبّ الماء بدرجات حرارة مختلفة داخل الكأس الداخليّة وعلى سطح الكأس الخارجية. أيّهما يصبّ فيها ماء ساخن، وأيّهما يصبّ فيها ماء بارد؟
24. ■ إذا سخّنت كرة فلزيّة فإنّها بالكاد تنفذ من حلقة فلزيّة.. ماذا يحدث لو سخّنت الحلقة بدلًا من الكرة (كما هو مبين)- هل يزداد حجم الثقب، أم يبقى كما هو، أم ينقص؟

25. ■ بعد أن يُدخل الميكانيكي الأسطوانة النحاسية الباردة في حلقة الحديد الساخنة بإحكام، لا يمكن فصل احداهما عن الأخرى. فسّر.



26. ■ كيف يمكن مقارنة مجموع حجم بلايين الفضاءات السّداسيّة المفتوحة لتراكيب بلورات الجليد في قطعة جليد مع جزء من الجليد الطّافي فوق خطّ الماء؟
27. ■ افترض أنّك عملت فجوة في حلقة فلزيّة. إذا سخّنت الحلقة فهل تضيق الفجوة أم تتّسع؟

28. ■ اذكر ما إذا كان الماء عند درجات الحرارة التّالية يتمدّد أم يتقلّص إذا سخّن قليلا.
5°س، 4°س، 6°س.
29. ■ افترض أنّنا استخدمنا الماء بدلًا من الزئبق في ميزان الحرارة. إذا كانت درجة الحرارة عند 4°س، ثم تغيرت. لماذا لا يشير ميزان الحرارة إلى ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها؟
30. ■ إذا حصل التّبريد عند قاع البركة بدلًا من سطحها، فهل تتجمّد البركة من القاع إلى أعلى؟ فسّر.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

تعطى كمية الحرارة المتحررة أو الممتصة (Q) من مادة حرارتها النوعية (c) وكتلتها (m) وتتغير درجة حرارتها بمقدار (ΔT) بـ

$$Q = cm\,\Delta T$$

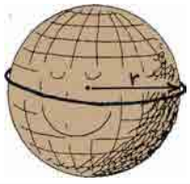
1. ● أحرق أحمد جوزة كتلتها 0.6 جم لتسخين 50 جم من الماء، فارتفعت درجة الحرارة من 22°س إلى 50°س. (السّعة الحراريّة للماء هي 1 سعر لكلّ غم لكلّ درجة سيليزية). (أ) افترض أنّ الكفاءة 4%، وأثبت أنّ القيمة الغذائيّة للجوزة هي 3500 سعر. (ب) بيّن أنّ قيمة الغذاء بالسّعرات لكلّ جرام هي 5.8 كيلو كالوري/جم (أو 5.8 سعر غذاريّ لكلّ جرام).

2. ■ إنّ دقّ مسمار في قطعة خشب يجعل المسمار ساخنًا. افترض مسمارًا من الفولاذ كتلته 5 جم، وطوله 6 سم، ومطرقة تبذل قوة عليه بمعدل 500 نيوتن تدفعه داخل قطعة الخشب، فيصبح المسمار أحمر. بيّن أنّ الزيادة في درجة حرارة المسمار هي 13.3°س. (افترض أنّ الحرارة النوعية للفولاذ هي 450 جول/كجم. °س.)
3. ■ إذا أردت تسخين 20 كجم من الماء بمقدار 20°س من أجل الاستحمام، فبيّن أنّ كمية الحرارة اللازمة هي 2000 كيلو سعر. ثم بين أنّ هذه تكافىء 8370 كيلو جول.
4. ■ إذا علمت أنّ السّعة الحراريّة النوعيّة للنحاس هي 0.092 سعر/ جم.°س. فبيّن أنّ كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة قطعة من النحاس كتلتها 10جم من 5°س إلى 100°س هي 92 سعرًا. كيف تقارن هذه مع الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الكتلة نفسها من الماء للفرق نفسه في درجات الحرارة؟
5. ● في المختبر، افترض أنّك غمرت 100جم من المسامير على درجة حرارة 40°س في 100جم من الماء على درجة حرارة 20°س.(الحرارة النوعية للحديد هي 0.12 سعر/جم.°س) ساوِ بين كمية الحرارة التي تفقدها المسامير وكمية الحرارة التي يكتسبها الماء، وبيّن أنّ درجة الحرارة النهائية للماء هي 22.1°س.

لحلّ المسائل أدناه، يجب عليك أن تعرف معدّل معامل التّمدّد الطّولي، والذي يختلف باختلاف المادة. يعرف بأنه التغير في الطّول (L) لكلّ وحدة طول- أو التغير الجزئيّ للطّول- لكلّ تغيّر في درجة الحرارة بمقدار1 سْ . أي أنّ، $\Delta L/L$ لكلّ °س.

للبلاتين، α = 24×10^{-6} لكلّ درجة سيليزية.
وللفولاذ α = 11×11 لكلّ درجة سيليزية. يعطى التغير في الطول للمادة بـ $\Delta L = L\,\alpha\,\Delta T$

6. ● إذا علمت أنّ قضيبًا طوله 1م تمدد بمقدار 0.5 سم عندما سخن. بيّن أنه إذا سخّن قضيب طوله 100 متر بالمقدار نفسه، ومن المادة نفسها، فإنّ طوله يصبح 100.5متر.
7. ● افترض أنّ الدّعامة الرّئيسة من الفولاذ لجسر البوابة الذهبية التي طولها 1.3 كم ليس لها وصلات تمدّد. بيّن أنه عند زيادة درجة الحرارة بمقدار 15س°، فإنّ طول الدعامة يصبح أطول بمقدار 0.21 متر.
8. ■ تخيّل أنبوب فولاذ يلتفّ حول الأرض بإحكام بطول 40000 كم. وافرض أنّ النّاس الموجودين على طوله يتنفسون عليه لترتفع درجة حرارته بمقدار درجة سيليزية واحدة. يزداد طول الأنبوب. ويصبح رخوًا. ما مقدار ارتفاعه عن مستوى الأرض؟ بيّن أنّ الجواب مذهل: 70 مترًا أعلى! (للتبسيط، خذ تمدّد البعد الزّاويّ من مركز الأرض، وطبّق العلاقة التي تربط المحيط *l* بنصف القطر *r* ($l = 2\pi\, r$).



نشاط استكشافيّ

كم تحتوي حبّة الجوز من الطّاقة؟ احرقها واكتشف. إنّ حرارة اللهب هي الطّاقة النّاتجة عند تشكيل الرّوابط الكيميائيّة (ثاني أكسيد الكربون، CO_2، والماء H_2O). اثقب الجوزة بمثبت الورق (دبوس) الذي يمسك الجوزة فوق سطح الطّاولة (الجوزة المقسومة إلى نصفين تكون أفضل). أحضر علبة فيها ماء، تستطيع قياس التّغير في درجة حرارتها عند احتراق الجوزة. استعمل 10 مللترات تقريبًا من الماء وميزان حرارة سيليزيًّا. وعند إشعال الجوزة بالثقاب، ضع علبة الماء فوقها، وسجّل الزّيادة في درجة حرارة الماء عند انطفاء اللهب. يمكن حساب عدد السّعرات النّاتجة عن حرق الجوزة من العلاقة $Q = cm\,\Delta T$ ، حيث c السّعة الحراريّة النّوعيّة (1 سعر/جرام لكلّ درجة سيليزية). و m كتلة الماء، و ΔT التغير في درجة الحرارة. يعبّر عن الطّاقة في الغذاء بدلالة السّعرات التّجاريّة وهي 1000 سعر مما نقيس. وعليه، لإيجاد عدد السّعرات التّجاريّة (في المواد الغذائية) اقسم الرّقم الذي توصلت إليه على 1000.

فحص الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من عشرة على الأقلّ. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ ما يلي:

1. تتناسب درجة الحرارة للمادة في العادة مع:
(أ) الطّاقة الحراريّة.
(ب) الطّاقة الحركيّة الاهتزازيّة.
(ج) معدّل الطّاقة الحركيّة الانتقاليّة.
(د) الطّاقة الحركيّة الانتقاليّة.
2. عند صبّ ثلاثة أرباع الماء السّاخن الموجود في وعاء آخر فارغ، فإنّ الوعاء يحتوي على:
(أ) الطّاقة الحراريّة.
(ب)حجم الماء الأصليّ.
(ج) درجة الحرارة نفسها.
(د) جميع ما ذكر.
3. يتجمّد الماء عند درجة حرارة:
(أ) 0°س.
(ب) 273 كلفن.
(ج) كليهما.
(د) لا شيء مما ذكر.
4. ببساطة، الحرارة هي:
(أ) درجة الحرارة.
(ب) الطّاقة الحراريّة.
(ج) الطّاقة الحراريّة التي تنساب من السّاخن إلى البارد.
(د) جميع ما ذكر.
5. قانون الدّيناميكا الحراريّة الذي يحدث فيه استثناءات هو القانون :
(أ) الأول.
(ب) الثّاني.
(ج) الثّالث.
(د) جميعها.
6. يزداد عدم الترتيب في خزانتك كلّ يوم. في هذه الحالة فإنّ الإنتروبي.
(أ) ينقص.
(ب) يزداد .
(ج) يبقى ثابتًا.
(د) لا شيء مما ذكر.
7. إذا قلنا إنّ للماء أعلى سعة حرارية نوعيّة. فكأننا نقول إنّ الماء:
(أ) يتطلب طاقة كبيرة حتى تزداد درجة حرارته.
(ب) يعطي طاقة كبيرة حين يبرد.
(ج) يمتص طاقة كبيرة لتغير قليل في درجة الحرارة.
(د) جميع ما ذكر.
8. يعتمد استخدام الأسلاك المزدوجة لقياس الحرارة على حقيقة أنّ المواد المختلفة تختلف في:
(أ) السّعات الحراريّة النوعيّة.
(ب) الطّاقات الحراريّة على درجات حرارة مختلفة.
(ج) معدّل التّمدّد الحراريّ.
(د) لا شيء مما ذكر.
9. تزداد كثافة الماء على درجة 4°س قليلًا عند:
(أ) تبريدها.
(ب) تسخينها .
(ج) كليهما.
(د) لا شيء مما ذكر.
10. يغطس الماء على درجة حرارة 4°س إلى قاع البركة بسبب:
(أ) وجود بلّورات جليد دون مجهريّة.
(ب) حاجة الأحياء البحرية إليه في الطّقس البارد.
(ج) تشكّل الجليد أولًا على سطح الماء.
(د) أنّه كالصخر، يكون الماء على درجة 4°س أكثف من الماء المحيط.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

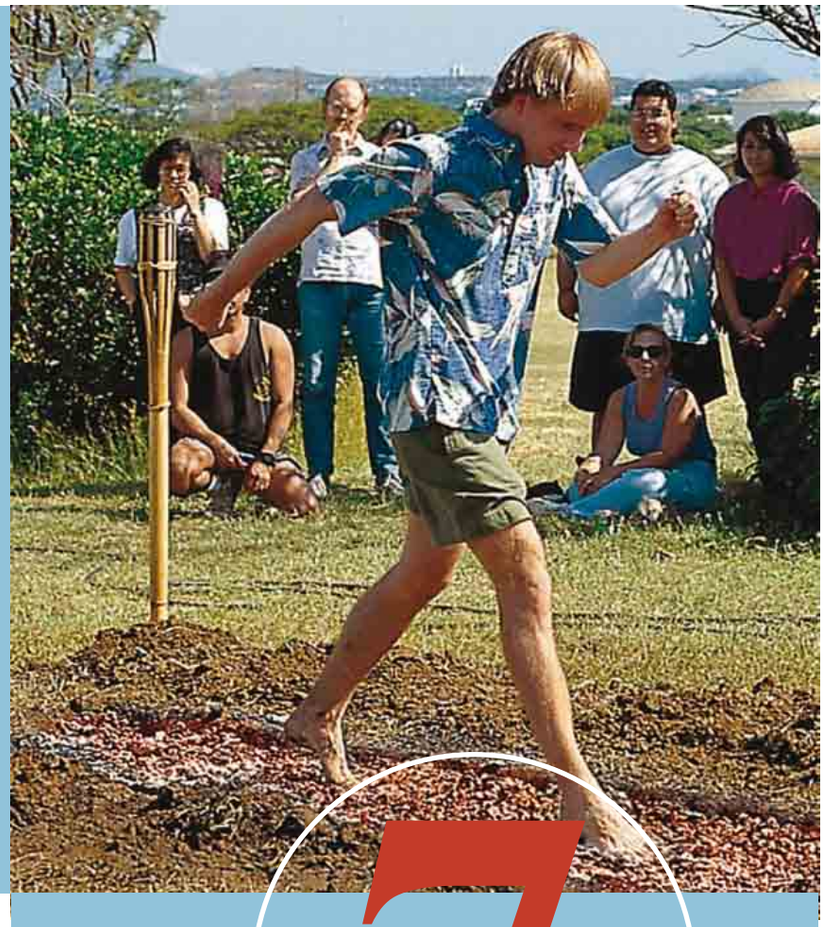
١٠ج، ٩د، ٨ج، ٧د، ٦أ، ٥ب، ٤ج، ٣أ، ٢د، ١ج

الفصل 6 مصادر على الشبكة

أشرطة فيديو

- درجات حرارة منخفضة باستعمال النيتروجين
- كيف يعمل جهاز تنظيم الحرارة (ثيرموستات)

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



انتقال الحرارة وتغيّر الطّور

7

1.7 التّوصيل

2.7 الحمل

3.7 الإشعاع

4.7 قانون نيوتن في التّبريد

5.7 التسخين الكوني وأثر الدفيئة

6.7 انتقال الحرارة وتغير الطّور

7.7 الغليان

8.7 الانصهار والتّجمد

9.7 الطّاقة وتغير الطّور

■ إنّ انتقال الطّاقة يصاحب التغير في طور المادة. فعلى سبيل المثال، عندما يتحوّل الماء إلى جليد، فإنّ الطّاقة تستخلص من الماء. وعند تحوّل الماء إلى بخار، يجب أن يعطى طاقة الماء. وهكذا، فإنّ انتقال الطّاقة الحرارية مصاحب لتغير الطّور.

كما يمكن أن تنتقل الطّاقة الحراريّة دون أن يحدث تحوّل في الطّور، وذلك عندما تنتقل الحرارة من الماء الدافئ إلى الماء البارد. وسنبدأ هذا الفصل بالحالة الأبسط لانتقال الحرارة. عند وضع مواد عند درجات حرارة مختلفة على اتصال، فإنّ المواد الدافئة تبرد، والمواد الباردة تصبح دافئة ، وفي النهاية تصبح درجة حرارة المواد جميعها متساوية. وهذه العملية تحدث بثلاث طرائق هي: **التّوصيل، والحمل، والإشعاع.**

1.7 التّوصيل

إذا أمسكت بطرف مسمار من الحديد فوق لهب فإنّ المسمار يصبح حارًّا جدًّا بسرعة. بحيث لا يمكن تحمله. وإذا وضعت قضيبًا قصيرًا من الزّجاج فوق لهب، فإنك تستطيع أن تمسك قضيب الزجاج فترة أطول كثيرًا قبل أن يصبح حارًّا. تنتقل الحرارة في كلتا الحالتين من الطرف الحارّ على كامل الطول. تسمّى طريقة انتقال الحرارة هذه **التوصيل**. يحدث توصيل الحرارة بالاصطدامات بين الجزيئات والجزيئات المجاورة مباشرة؛ لأنّ انتقال الحرارة عبر المسمار كان سريعًا، يمكن القول إنّ المسمار *موصل* جيّد للحرارة. تسمّى المواد الرديئة التوصيل للحرارة عازلة.

الشّكل 1.7
تحسّ أنّ الأرضيّة المبلّطة أبرد من أرضيّة الخشب، مع أنهما على درجة الحرارة نفسها. إنّ البلاط موصل للحرارة أفضل من الخشب. وهو يوصل الطاقة الداخلية من قدميك بسرعة.

ما الذي يمكن أن يكون جيّدًا وضعيفًا في آنٍ واحدٍ معًا؟ الجواب: أيّ عازل جيّد هو موصل ضعيف. أو أيّ موصل جيّد هو عازل ضعيف.

ترتبط إلكترونات الجوامد (كالفلزّات) بذراتها أو جزيئاتها ارتباطًا ضعيفًا. وهي موصلة جيدة للحرارة. تتحرك هذه الإلكترونات بسرعة، وتنقل الحرارة إلى الإلكترونات الأخرى التي "تنتقل" بسرعة عبر الجامد. تتكون الموصلات الرّديئة - مثل الزّجاج، والصّوف، والخشب، والورق، والفلين والبلاستيك - من جزيئات ترتبط ارتباطًا وثيقًا بإلكتروناتها، تتذبذب جزيئات هذه المواد في مواضعها، وتنقل الطاقة بالتفاعلات مع الجزيئات المجاورة. ولأنّ الإلكترونات غير متنقلة في المواد العازلة فإنّ الطاقة تنتقل فيها ببطء شديد.

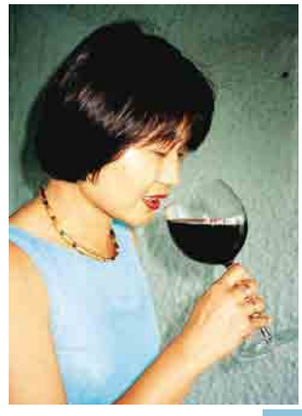
يعدّ الخشب من المواد العازلة. وغالبا ما يستخدم بوصفه حاملًا لأدوات الطهو. حتى عندما يكون الإناء حارًّا، فإنّك تستطيع حمل الإناء فترة قصيرة بيديك العاريتين دون أذى. ولكن إذا كان الحامل من الحديد، وعند درجة الحرارة نفسها، فسوف تحرق يديك بالتأكيد. الخشب جيد العزل حتى عندما يصل إلى الاحمرار. وهذا يفسّر كيف يمشي جون (مؤلف *الكيمياء المفاهيمية*) على النار كما يظهر في الصورة الافتتاحية لهذا الفصل، حافي القدمين على فحم خشبي أحمر حار دون أن تحترق قدماه (**تحذير**: لا تجرب ذلك؛ فحتى محترفو المشي على النار يتعرضون لحروق مؤذية إن لم تكن الشّروط مواتية). إنّ العامل الرئيس هنا هو رداءة موصلية الخشب —حتى الخشب الحار— المحمر. وإذا كانت درجة حرارته مرتفعه، فإنّ كمية الطّاقة الداخليّة التي تصل إلى القدمين قليلة. وعلى الشخص الذي يمشي على النار أن يكون حذرًا من خلو الفحم الحار من مسامير وموصلات جيّدة أخرى.

الشّكل 2.7
عندما تغرز مسمارًا في الجليد، فهل تنساب البرودة من الجليد إلى يدك، أم أنّ الطّاقة تنساب من يدك إلى الجليد؟

إنّ الهواء موصل رديء جدًّا. لذا، يمكن وضع اليد لبرهة في فرن ساخن للبيتزا دون أذى. ولكن لا تلمس الفلزّ في الفرن السّاخن. تعزى الخصائص الجيدة للمواد العازلة مثل الصوف، والفرو، والجلود كثيرًا إلى احتوائها على فراغات هوائيّة. ولنكن مسرورين؛ لأنّ الهواء موصل رديء. لأنهّ لو لم يكن كذلك، لشعرنا بالبرد في يوم درجة الحرارة فيه 20° س (68° ف)!

إنّ الثّلج أيضًا موصل رديء؛ لأنّ طبقاته تتكون من بلّورات تحبس الهواء لتزوده بالعزل. ولهذا السّبب، فانّ طبقة الثّلج تحفظ الأرض دافئة في الشتاء. وعليه، تجد الحيوانات في الغابة ملجأ لها من البرد داخل فجوات الثلج. إنّ الثّلج لا يزوّد هذه الحيوانات بالطاقة، بل إنّه — ببساطة — لا يُسرّع فقدان الطاقة التي تنتجها أجسام الحيوانات. وهذا هو المبدأ نفسه الذي يُفسّر سبب بناء منازل شعب الإسكيمو والمنازل في القطب الشّماليّ من الثّلج المضغوط؛ إنّها تحمي قاطنيها من البرد.

من المهم ألا يمنع العزل انسياب الطاقة الداخليّ. إنّ العزل يبطئ معدل انسياب الطاقة الدّاخليّة. حتى أنّ المنزل المدفأ الذي يكون فيه العزل جيدًا يبرد تدريجيًّا.



الشّكل 3.7
يتمّ تقليل حرارة الاتصال من يد ليلى إلى العصير بعمل يد طويلة لكأس العصير.

توضع المواد العازلة ـ كالصوف الصخريّ، والألياف الزّجاجيّة ـ في الجدران وسقوف المنازل؛ لتبطئ انتقال الطّاقة الدّاخليّة من المنزل الدّافئ إلى المحيط البارد في الشّتاء، ومن المحيط الدّافئ إلى البيت البارد في الصّيف.

الشّكل 4.7
تظهر أنماط الثّلج على سطح المنزل مناطق التّوصيل والعزل. تبيّن المناطق العارية أنّ الحرارة تأتي من الداخل حيث توصل عبر السقف وتذيب الثّلج.

■ **نقطة فحص**

1. في المناطق الصّحراويّة التي تكون حارّة في النهار وباردة في الليل، تُصنع جدران المنازل من الطّين. لماذا يجب أن تكون جدران الطّين سميكة؟
2. الخشب عازل أفضل من الزّجاج. ومع ذلك، تستخدم عادة الألياف الزّجاجيّة لعزل المنازل أكثر من الخشب. لماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يستعيد الجدار ذو السّمك المناسب دفء المنزل في الليل بإبطاء انسياب الطّاقة الدّاخليّة من الدّاخل إلى الخارج، ويحتفظ بالبرودة في أثناء النهار بإبطاء انسياب الطّاقة الدّاخليّة من الخارج إلى الدّاخل؛ هذا الجدار له قصور حراريّ.
2. الليف الزّجاجيّ عازل جيّد. أفضل من الزّجاج مرات عديدة؛ وذلك بسبب أنّ الهواء محبوس بين أليافه.

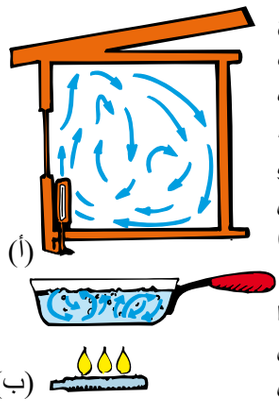
■ 2.7 الحمل

يمكنك رؤية تموّج الهواء في يوم حارّ عندما يرتفع الهواء الساخن من طريق معبّد. وبالمثل، عندما تضع مكعّب ثلج في كوب زجاجيّ شفّاف يحتوي على ماء ساخن، يمكنك رؤية أمواج الماء البارد الهابطة الناجّة عن انصهار هذا المكعّب. تسمّى عملية انتقال الحرارة نتيجة حركة الموائع عندما تصعد أو تهبط الحملَ. وبخلاف التّوصيل، يحدث الحمل في الموائع (السّوائل والغازات) فقط. ويتضمن الحمل حركة جسم من المائع (تيارات) بدلًا من التّفاعلات على المستوى الجزيئيّ.

نفهم لماذا يرتفع الهواء السّاخن. عندما يسخن هذا الهواء ويتمدّد، ويصبح أقلّ كثافة فإنّه يطفو إلى أعلى فوق الهواء المحيط الأبرد، مثل طفو البالون إلى الأعلى. وعندما يصل الهواء المرتفع إلى علوّ، وتصبح كثافته مساوية للهواء من حوله، فإنّه لا يرتفع أكثر من ذلك. وهذا ما نراه عندما يرتفع دخان النار ثم يهبط عندما يبرد، وتصبح كثافته مساوية لكثافة الهواء المحيط به.

لكي تتأكّد أنّ الهواء المتمدّد يبرد؛ أجر التجربة المبينة في الشكل 7.7. الهواء المتمدد يبرد فعلا*.

هناك مثال واضح على التّبريد بالتّمدّد يحدث عندما يتمدّد بخار الماء الصاعد من فتحة وعاء الضّغط (الشكل 8.7). إنّ خروج آثار التّبريد بالتّمدّد مع الاختلاط بالهواء البارد يسمح لك بوضع



التّوصيل الحراريّ عمليه يتمّ عن طريقها انتقال الطّاقة على شكل حرارة خلال المادة بين نقطتين عند درجتي حرارة مختلفتين.

الشّكل 5.7
تيارات الحمل في الغاز (الهواء) والسّائل.

لمعلوماتك

ببساطة، تحتوي أفران الحمل على مراوح في داخلها. يُسرِّع الطّهو دوران الهواء الساخن داخلها.

الشّكل 6.7
ينتج رأس عنصر التسخين المغمور في الماء تيارات حمل تظهر كظلال (تنشأ عن انحرافات الضّوء في الماء عند درجات حرارة مختلفة).

* أين تذهب الطّاقة في هذه الحالة؟ إنّها تذهب لعمل شغل على الهواء المحيط عندما يندفع الهواء المتمدّد إلى الخارج.

الشّكل 7.7

انفخ هواءً ساخنًا على يديك من فمك المفتوح بشكل واسع. ثم قلّص فتحة شفتيك بحيث يتمدّد الهواء في أثناء النفخ. جرّبها الآن. هل تلاحظ الفرق في درجة حرارة هواء الزّفير؟ هل يبرد الهواء في أثناء التّمدّد؟

يدك بأريحية حول نافورة البخار المتدفق. (**تحذير**: إذا جرّبت ذلك، فتأكّد من وضع يدك عاليًا فوق الفوّهة في البداية، ثم أخفضها لمسافة مناسبة فوق الفوّهة. إذا وضعت يديك فوق الفوهة مباشرةً، حيث لا يمكن رؤية البخار، انتبه! البخار غير مرئيّ ويبدو واضحًا من الفوهة قبل أن يتمدّد ويبرد. ما تراه من غيمه البخار هو في الحقيقة بخار ماء متكاثف، وهو أبرد كثيرًا من البخار العاديّ).

إنّ التّبريد بالتّمدّد هو عكس ما يحدث عند ضغط الهواء. إذا سبق أن قمت بضغط الهواء بمضخة عجلات يدوية، فمن المحتمل أنك ستلاحظ أنّ كلًّا من المضخة والهواء قد أصبحا ساخنين تمامًا؛ عندما يضغط الهواء يصبح ساخنًا.

الشّكل 8.7

يتمدّد البخار السّاخن عند مغادرته إناء الضّغط، ويبرد عندما يلمس يد ليلى.

تحرك تيّارات الحمل الغلاف الغازيّ وتنتج الرّياح. كما أنّ بعض أجزاء سطح الأرض تمتص من طاقة الشّمس أكثر من الأجزاء الأخرى. وينتج عن ذلك تسخين غير متكافئ للهواء بالقرب من الأرض. ويمكننا رؤية هذا الأثر عند الساحل، كما يظهر الشّكل 9.7. خلال النهار، تسخن الأرض أسرع من الماء، ثمّ يرتفع الهواء السّاخن القريب من الأرض، ليحلّ مكانه هواء بارد يأتي من فوق الماء. وهذا ما يسمّى نسيم البحر. أما في الليل فتنعكس العملية؛ لأنّ الشاطئ يبرد أسرع من الماء، ويبقى الهواء السّاخن فوق البحر. إذا أشعلت نارًا على الشاطئ فسترى أنّ الدّخان يندفع نحو اليابسة نهارًا، في حين يندفع نحو البحر ليلا.

لمعلوماتك

إنّ فتح باب الثّلاجة يسمح للهواء السّاخن بالدخول، ويحتاج إلى طاقة لتبريده. وكلما كانت الثّلاجة فارغة زادت مقايضة الهواء البارد بالهواء الساخن. لذا، عليك ملء ثلاجتك من أجل خفض تكاليف تشغيل منخفضة، خاصة إذا كان فتح الثلاجة وإغلاقها يتكرر كثيرًا.

نقطة فحص

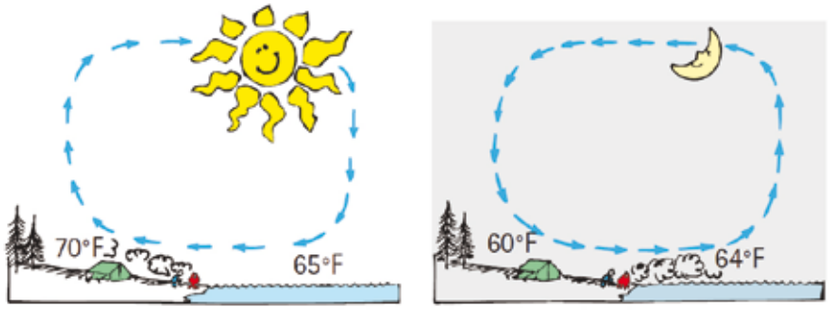
فسّر لماذا يمكنك وضع إصبعك حول لهب شمعة دون ضرر ، ولكن ليس فوقه؟

هل كان هذه اجابتك؟

ينتقل الهواء السّاخن إلى أعلى بالحمل. ولأنّ الهواء موصل ضعيف، فإنّ طاقة قليلة تنتقل إلى الجوانب نحو أصابعك.

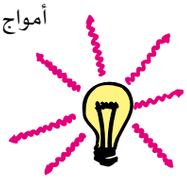
الشّكل 9.7

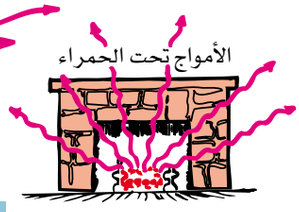
تيارات الحمل من التسخين غير المتكافئ للأرض والماء خلال النهار، يرتفع الهواء السّاخن فوق الأرض، ويتحرك الهواء البارد فوق الماء ليحلّ مكانه. وينعكس اتجاه انسياب الهواء خلال الليل؛ لأنّ الماء الآن أسخن من اليابسة.



3.7 الإشعاع

تنتقل الطاقة من الشمس عبر الفضاء إلى الغلاف الجوي لتدفئة سطح الأرض؛ هذا الانتقال في الطاقة لا يرتبط بالتوصيل أو الحمل لعدم وجود وسط ناقل بين الشمس و الارض؛ فالطاقة ترسل بوسيلة أخرى؛ إنها **الأشعاع***. وتسمى الطاقة المنتقلة *الطاقة الاشعاعية*.

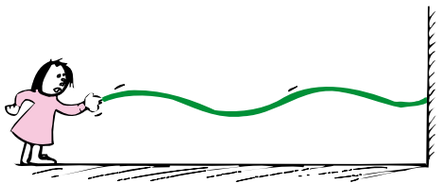


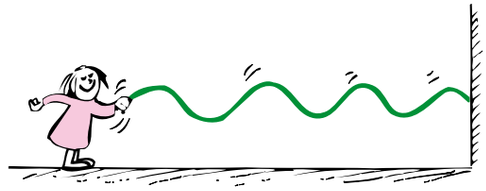


الشكل 10.7
أنواع الطاقة الإشعاعية (الأمواج الكهرومغنطيسية)

توجد الطّاقة الإشعاعيّة على شكل *أمواج كهرومغناطيسية*، تتراوح بين أطول الأمواج وأقصرها. وهذه الأمواج هي: الأمواج الراديويّة، والأمواج الميكرويّة، والأمواج تحت الحمراء (أمواج غير مرئيّة تحت الحمراء في الطّيف المرئيّ) والأمواج المرئية، والأمواج فوق البنفسجيّة والأشعّة السّينيّة، وأشعة جاما. وسنناقش هذه الموجات بتوسع في الفصلين 11 و12.

يرتبط طول موجة الإشعاع بتردّد الاهتزاز. والتّردّد هو معدل اهتزاز مصدر الموجة. تهزّ الفتاة في الشكل 11.7 حبلا بتردّد منخفض (شمال)، وبتردد عالٍ (يمين). لاحظ أنّ الهزّ بتردّد منخفض ينتج أمواجًا طويلة. أما الهزّ بتردّد أعلى فينتج أمواجًا قصيرة. وسنرى في الفصول القادمة أنّ الإلكترونات المهتزّة تبثّ أمواجًا كهرومغناطيسيّة. إنّ الاهتزازات ذات التردّد المنخفض تنتج أمواجًا طويلة، في حين تنتج الاهتزازات ذات التردد العالي أمواجًا قصيرة.





الشكل 11.7
تنتج الموجة الطّويلة عند هزّ الحبل بنعومة (تردّد منخفض). ولكن عند هزه بعنف (تردد عال). تنتج موجة قصيرة.

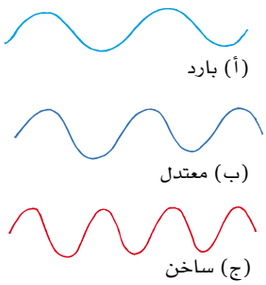
الانبعاثات والطّاقة الإشعاعيّة

إنّ أيّ جسم عند أيّ درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق يبعث طاقه إشعاعية. ويتناسب تردّد الذروة للطاقة الإشعاعية تناسبًا طرديًّا مع درجة حرارة الجسم (الباعث) بالمطلق T أي أنّ:

$$f \sim T$$

إذا كان الجسم حارًّا بما فيه الكفاية فإنّ بعض الطّاقة الإشعاعيّة يكون في مدى الضوء المرئيّ. وعند درجة حرارة نحو 500°س، يبدأ الجسم ببثّ أمواج طويلة يمكن رؤيتها؛ الضوء الأحمر. ولكن عند درجات حرارة أعلى ينتج ضوء مائل للاصفرار . أما عند درجة حرارة 1500°س تقريبًا، فإنّ الأمواج التي تقع ضمن حساسيّة العين جميعها تنبعث، ونرى الجسم "أبيض حارًّا". إنّ النّجم الأزرق – السّاخن أكثر حرارة من النّجم الأبيض- الساخن، والنّجم الأحمر-الساخن أقلّ سخونة. ولأنّ النجم الأزرق- السّاخن له ضعف تردد الضّوء للنّجم الأحمر-السّاخن، فإنّ لسطحه ضعف درجة حرارة سطح النجم الأحمر-السّاخن**.

ولأنّ درجة حرارة سطح الشّمس عالية (بالمعايير الأرضية)، فإنه يبث طاقه إشعاعية ذات ترددات عالية - معظمها في الجزء المرئيّ من الطّيف الكهرومغناطيسيّ. وفي المقابل، فإنّ سطح الأرض بارد نسبيًّا. لذا، فإنّ الطاقة الإشعاعية التي تبثها الأرض تأتي على شكل – أمواج تحت حمراء– تحت عتبة البصر. وتسمّى الطّاقة الإشعاعيّة المنبعثة من الأرض **الإشعاع الأرضيّ (Earth Radiation).**



الشكل 12.7
(أ) درجة حرارة منخفضة (بارد). يبثّ المصدر بشكل رئيس أمواجًا منخفضة التّردد وطويلة الموجة. (ب) درجة حرارة معتدلة. يبثّ المصدر بشكل رئيس أمواجًا معتدلة التّردّد ومعتدلة الموجة. (ج) درجة حرارة عالية (ساخنة). يبثّ المصدر بشكل رئيس أمواجًا عالية التّردّد وقصيرة الموجة.

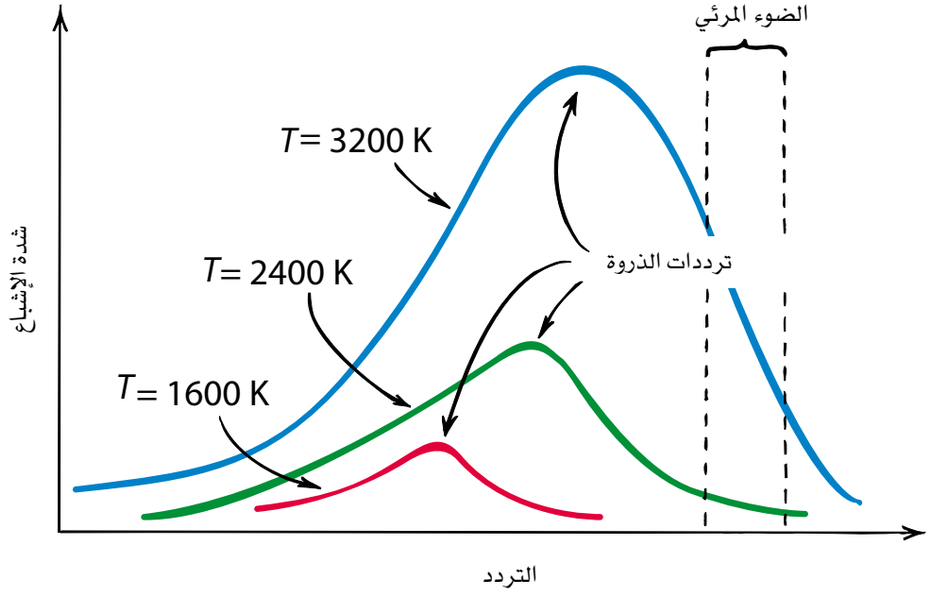
---

* الإشعاع الذي نتكلم عنه هنا هو الإشعاع الكهرومغناطيسي، بما في ذلك الضّوء المرئيّ. لذا، عليك أن تميّز بينه وبين النشاط الإشعاعي. وسنناقش هذه العملية النووية في الفصل 16.

** تتناسب كمية الطاقة المشعة (Q) التي يبعثها جسم مع الأس الرابع لدرجة الحرارة بالمطلق T :

$$Q \sim T^4$$

لذا فإن نجما أزرق ساخنًا له ضعف درجة حرارة نجم أحمر - ساخنًا يبعث 16 ضعف الطاقة التي يبعثها النجم الأحمر الساخن الذي له الحجم نفسه.
تعتمد كمية الطاقة المنبعثة على خصائص السطح ويشار إليها بانبعاثية الجسم - ولها مدى قريب من 0 للسطوح المصقولة اللامعة. وتقترب من 1 للأجسام السوداء القاتمة. يطلق السطح الأسود المثالي ما يعرف بإشعاع الجسم الأسود والانبعاثية له هي 1.



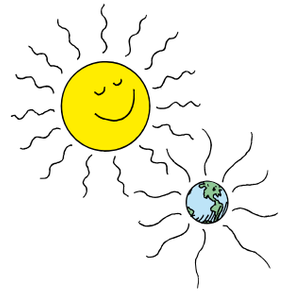
الشّكل 13.7
منحنيات الإشعاع عند درجات حرارة متفاوتة. يتناسب معدل تردّد الطّاقة الإشعاعيّة مباشرة مع درجة الحرارة المطلقة للمصدر الذي يبثّ.

إنّ الإشعاعات التي تطلقها الأرض هي إشعاعات أرضيّة. أما الإشعاعات التي تطلقها الشّمس فهي إشعاعات شمسيّة. وكلتاهما تمثلان منطقة في الطّيف الكهرومغناطيسيّ. (الإشعاع صفة نوعيّة للمشعّ).

تنشأ الطّاقة الإشعاعيّة للشّمس عن التفاعلات النوويّة التي تحدث عميقًا داخلها. وبطريقة مماثلة، فإنّ التّفاعلات النوويّة داخل الأرض تسخنها (زُرْ أيّ منجم عميق، وستجد أنّه دافئ على مدار السّنة). وأنّ معظم هذه الطّاقة الداخليّة تصل إلى سطح الأرض لتصبح إشعاعات أرضية (Terrestrial Radiation).

تبثّ الأجسام جميعها (أنت، والمدرس، والأشياء من حولك كلّها) طاقة إشعاعية باستمرار على مدى من التّرددات. وتبثّ الأجسام بدرجات الحرارة اليومية موجات تحت حمراء منخفضة الترددات. عندما يمتص جلدك الإشعاعات الحمراء العالية التردد عندما تقف بجانب فرن، عندئذ ستشعر بالدفء. ومن هنا فإنّ من المألوف الإشارة إلى الإشعاعات تحت الحمراء *بالإشعاعات الحراريّة*. ومن مصادر الأشعّة تحت الحمراء المألوفة: الشّمس، والمصباح الكهربائيّ (شمعه التدفئة)، والخشب المحترق في الموقد.

تؤسس الإشعاعات الحرارية لموازين الحرارة تحت الحمراء. ببساطة، ضع ميزان الحرارة في المكان المراد معرفة درجة حرارته، اضغط على الزّر، فتظهر القراءة الرّقميّة لدرجة الحرارة. تزود الإشعاعات المبثوثة من الجسم المراد قياس درجة حرارته بمقدار درجة الحرارة. إنّ موازين الحرارة النموذجيّة في قاعات التّدريس تعمل في مدى يتراوح بين - 30° س و 200° س.



الشّكل 14.7
تبثّ كلّ من الشّمس والأرض النوع نفسه من الطّاقة الإشعاعيّة. إنّ توهّج الشّمس مرئيّ للعين، بعكس توهّج الأرض الذي يتكون من أمواج طويلة لا ترى بالعين.

■ **نقطة فحص**

أيّ من التالية لا يبثّ طاقه إشعاعية: (أ) الشّمس. (ب) الحمم البركانيّة. (ج) الفحم السّاخن الأحمر. (د) هذا الكتاب المقرّر؟

هل كان هذه اجابتك؟

جميع ما ذكر يبثّ طاقه إشعاعيّة، حتى الكتاب المقرر، مثله مثل المواد الأخرى المذكورة، له درجة حرارة. بحسب القاعدة $\bar{f} \sim T$. ولهذا، فالكتاب يبث إشعاعات تردّد ذروتها $\bar{f}$ ، وهو تردّد منخفض مقارنة بترددات الإشعاعات المبثوثة من المواد الأخرى. كلّ شيء له درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق يبث طاقه إشعاعية؛ كلّ شيء!

لمعلوماتك

كلّ شيء من حولك يشعّ الطّاقة ويمتصّها باستمرار!

امتصاص الطّاقة الإشعاعيّة

إذا كان كلّ شيء يشعّ طاقة، فَلِمَ لا تنفد هذه الطّاقة الإشعاعيّة من الأشياء كلّها في النهاية؟ والجواب هو أنّ كلّ شيء يمتصّ طاقة أيضًا. فالباثّات الجيدة للطّاقة الإشعاعيّة هي أيضًا ماصّات جيدة لها. والمواد الضعيفة البثّ هي ضعيفة الامتصاص. فعلى سبيل المثال، يصنع هوائيّ الصّحن الرّاديويّ ليكون

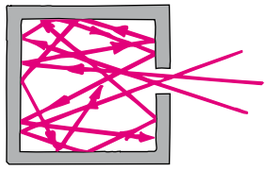
باتًّا جيدًا للأمواج الرّاديويّة. كما أنّه مصمّم أيضًا ليكون جيد الاستقبال (الامتصاص) لها. لذا، فالهوائي ذو التصميم الرّديء بوصفه باتًّا هو هوائيّ ضعيف الاستقبال.

إنّ سطح أيّ مادة، ساخنًا كان أم باردًا، يمتصّ أو يبثّ طاقة إشعاعيّة. فإن بعث أكثر مما يمتصّ، فهو في المحصلة باثّ. وتنخفض درجة حرارته. يعتمد كون السّطح باتًّا أو ماصًّا صافيًا للطاقة على كون درجة حرارته أعلى من درجة حرارة الأشياء حوله أو أقلّ منها. وباختصار، إذا كان السّطح أسخن من محيطه، فيصنّف على أنّه باثّ ويصبح أبرد. أما إذا كان أبرد من محيطه، فيصنّف على أنّه ماصّ ويصبح أدفأ.

الشّكل 15.7

عند ملء وعائين بماء ساخن ؛ أحدهما أسود خشن السّطح، والآخر مصقول ولامع (أو بارد)، فإنّ الوعاء الأسود يبرد (أو يسخن) أسرع.

إنّ وضع قطعة بيتزا ساخنة في الخارج، في يوم شتاء يجعلها في المحصلة باتّة. وإنّ وضع القطعة نفسها داخل فرن ساخن يجعلها في المحصلة ماصّةً.



الشّكل 16.7

هناك فرصة ضئيلة للإشعاعات التي تدخل الفتحة للمغادرة بسبب امتصاص معظمها. ولهذا فإنّ فتحة أيّ تجويف تبدو سوداء لنا.

نقطة فحص

1. إذا كان الماصّ الجيّد للطّاقة الإشعاعيّة باتًّا ضعيفًا لها، فكيف نقارن درجة حرارته مع درجة حرارة المحيط؟
2. أشعل مزارع مدفأة في مخزنه في صباح بارد. فسخّن الهواء إلى درجة (20°س) (68°ف)، فلماذا لا يزال يشعر بالبرد؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إذا لم يكن الماصّ الجيّد باتًّا جيّدًا أيضًا فستكون النتيجة النهائية امتصاصًا للطّاقة الإشعاعيّة. وسوف تستمر درجة حرارة الماصّ أعلى من درجة حرارة المحيط. إنّ الأشياء من حولنا تصل إلى درجة حرارة متساوية في النهاية فقط؛ لأنّ الماصّات الجيدة بطبيعتها باثّات جيّدة.
2. جدران المخزن ما تزال باردة؛ فالمزارع يشعّ طاقة أكبر مما تعيد له الجدران من إشعاعات ولذلك يشعر بالبرد. (في يوم شتاء تكون مرتاحًا داخل بيتك أو في غرفة الصّف فقط إذا كانت الجدران دافئة، وليس الهواء فقط).

انعكاس الطّاقة الإشعاعيّة

إنّ عمليتي الامتصاص والانعكاس متضادتان: فالماصّ الجيد للطّاقة الإشعاعيّة يعكس قليلًا منها، بما فيها الضّوء المرئيّ. إذن، فإنّ السطح القليل الانعكاس، أو الذي لا يشعّ طاقة يظهر معتمًا. ولهذا، فالماصّ الجيد يظهر معتمًا (الماصّ المثاليّ)، وهو لا يعكس طاقه إشعاعية، ويظهر باللون الأسود كاملا. فعلى سبيل المثال، يسمح بؤبؤ العين للضّوء بالدخول دون انعكاس، ولهذا السبب يظهر أسود اللون (يحدث استثناء في عملية التّصوير عندما يظهر البؤبؤ ذا لون بنفسجي، ويحدث عندما ينعكس الضّوء اللامع جدًّا من السّطح الداخليّ البنفسجي للعين، ومن ثمّ العودة إلى البؤبؤ.)

انظر إلى الفتحات في أطراف كومة من الأنابيب. تبدو الفتحات سوداء. انظر إلى الأبواب أو النوافذ في المنازل البعيدة خلال النهار فهي تبدو سوداء أيضًا. تظهر الفتحات سوداء لأنّ الضّوء الذي يدخل إليها ينعكس ذهابا وإيابًا مرات عديدة داخل جدرانها، وفي كلّ انعكاس يُمتصّ جزء منه. وفي النتيجة، يبقى جزء قليل من الضّوء، أو يرجع من الفتحة وينتقل إلى عينيك (الشّكل 16.7).

وفي المقابل، فإنّ العاكسَ الجيد ماصٌّ ضعيف. فالثّلج النّظيف عاكسٌ جيّد، لذا يذوب ببطء في بضوء الشّمس. أما إذا كان الثّلج متسخًا، فإنّه يمتصّ الطّاقة الإشعاعيّة من الشّمس ويذوب بسرعة. إنّ إسقاط أكياس من خام حبيبات الكربون (مادة ذات قدرة عالية على الامتصاص) من طائرة إلى جبال مغطاة بالثلوج هي إحدى الآليات التي تستخدم أحيانًا للسّيطرة على الفيضانات من أجل التحكّم في ذوبان الثّلج لأوقات مناسبة، وحتى لا تذوب الثّلوج بسرعة مسببة الطّوفان .

لمعلوماتك

يتأثر الانبعاث والامتصاص في الجزء المرئيّ من الطّيف باللون، ولكنه ليس الشيء نفسه في منطقه تحت الحمراء من الطّيف، حيث لنسيج السّطح تأثير أكبر. إنّ السّطح غير المصقول هو ماصّ / باثّ أفضل من السّطح المصقول، مهما كان اللون.

الشّكل 17.7
يبدو الثقب أسود اللون تمامًا كما يبدو الداخل أيضًا، حتى عندما يكون الدّاخل مطليًّا باللون الأبيض اللامع.

نقطة فحص

أيّهما أكثر فاعلية في تسخين الهواء داخل الغرفة: المشعاع السّاخن المدهون بالأسود أم الفضيّ؟

هل كانت هذه اجابتك؟

إنّ لون الدهان عامل قليل الأثر. لذا، فإن أيًّا من اللونين يمكن استخدامه؛ لأنّ المشعّات تعمل القليل بالإشعاع. فسطوحها الساخنة تدفيء الهواء المحيط بالتوصيل. فيرتفع الهواء السّاخن، وتدفئ تيارات الحمل الغرفة .(إن الاسم الأفضل لهذا النوع من السّخانات هو المحوّلات). والآن، إذا كنت مهتمًّا بالكفاءة القصوى فإنّ المشعاع الفضي اللون يشعّ أقلّ، ويسخن بسرعة، ويبقى ساخنًا فترة طويلة. لذا، فإنّه يعمل على تسخين الهواء بشكل أفضل.

4.7 قانون نيوتن في التّبريد

إذا تُركت الأجسام الأسخن من محيطها وحدها فإنّها تبرد في النّهاية لتتساوى مع درجة حرارة المحيط. يعتمد معدّل التّبريد على الفرق بين سخونة الجسم ومحيطه. فشطيرة تفاح ساخنة تبرد أكثر في كلّ دقيقة تمضي إذا وضعت في ثلاجة أسرع مما لو وضعت على طاولة المطبخ. ففي الثلاجة يكون فرق درجات الحرارة بين الشطيرة ومحيطها أكبر؛ وبالمثل، فإنّ معدّل تسرّب الطّاقة الداخليّة من البيت الدافئ إلى الخارج يعتمد على الفرق بين درجتي الحرارة بين المكانين.

إنّ معدّل تبريد الجسم - سواء أكان بالتوصيل، أم بالحمل، أم بالإشعاع – يتناسب مع الفرق في درجة الحرارة ΔT بين الجسم ومحيطه تقريبًا.

يتناسب معدّل التّبريد مع ΔT~

وهذا هو **قانون نيوتن للتبريد** (إلى من نُسب هذا الاكتشاف؟).

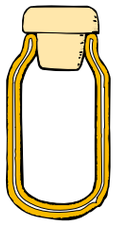
ينطبق هذا القانون على التسخين. إذا كان الجسم أبرد من محيطه فإنّ معدّل سخونته يتناسب أيضًا مع ΔT^*. إنّ الغذاء المجمّد يسخن بسرعة في غرفة دافئة أكثر من سخونته في غرفه باردة.

*يبقى الجسم السّاخن الذي يتضمّن مصدرًا للطّاقة ساخنًا أكثر من محيطه إلى فترة غير محدودة. إنّ الطّاقة الدّاخليّة التي تشعها لا تبردها بالضرورة. ولا ينطبق عليها قانون نيوتن للتّبريد. يبقى محرّك السّيارة في أثناء تشغيله أسخن من هيكلها والهواء المحيط بها. ولكنه يبرد بعد أن يطفأ وفقًا لقانون نيوتن للتبريد. وتقترب درجة حرارته ببطء من درجة حرارة المحيط. وفي المقابل، تبقى الشّمس أسخن من محيطها ما دام فرنها النووي يعمل؛ خمسة بلايين سنة إضافية.

حافظات الحرارة: الثّرموس

إنّ زجاجة الثّرموس المألوفة وعاء من زجاج ذي جدارين فضّيّين مفرغ ما بينهما. يقتصر انتقال الحرارة ببطء عند لحظة صبّ السّائل السّاخن أو البارد من هذه الزّجاجة. يبقى السّائل عند درجة الحرارة نفسها ساعات عديدة؛ لأنّ انتقال الحرارة سواء بالتوصيل، أو بالحمل، أو بالإشعاع غير ممكن.

1. انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الفراغ مستحيل. بعض الطّاقة الدّاخليّة تتسرب بالتوصيل عبر الزجاج والسّدادة، ولكن هذه عملية بسيطة، لأنّ الزّجاج والبلاستيك والفلّين موصلاتٌ ضعيفة.
2. يمنع الفراغ بين الجدارين ضياع الحرارة عبرهما بالحمل؛ بسبب انعدام الهواء بينهما.



3. لا يمكن ضياع الحرارة بالإشعاع من السّطوح الفضيّة للجدارين، والتي تعكس الطاقة الإشعاعية لتعود إلى الزّجاجة.

■ **نقطة فحص**

بسبب خسران الطّاقة الدّاخليّة من كأس الشّاي السّاخن أسرع من خسرانها في كأس الشّاي الفاتر. فهل صحيح القول إنّ كأس الشّاي السّاخن يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل كأس الشّاي الفاتر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

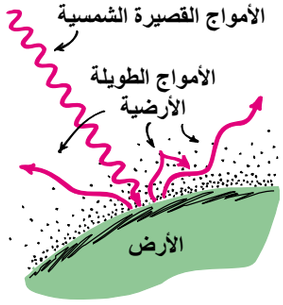
لا. على الرّغم من أنّ معامل التّبريد للكأس السّاخنة أعلى منه للماء البارد، فهو يحتاج إلى فترة أطول حتى يبرد ليصل إلى الاتّزان الحراريّ. يساوي الزمن الإضافيّ الزمن اللازم ليصل إلى درجة حرارة كأس الشّاي الفاتر: معدل التبريد وزمنه شيئان مختلفان.

■ 5.7 التسخين الكوني وأثر الدفيئة

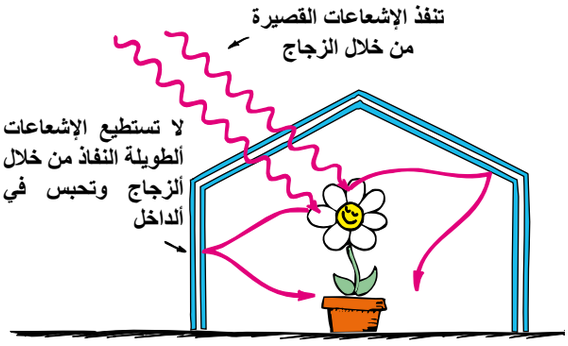
يكون داخلُ السّيارة الواقفة في شارع، والمغلقة النوافذ في يوم دافئ، والشمس ساطعة أشدّ حرارة كثيرًا من الهواء الخارجيّ. إنّ هذا مثال على أثر الدّفيئة. وقد سمّيت بهذا لأنّ لها الأثر نفسه لرفع درجة الحرارة داخل البيوت الزّجاجيّة التي تستخدم لزراعة الأزهار. ولفهم أثر الدفيئة؛ علينا تعرّف مفهومين:

الأول ذُكر سابقًا – وهو أنّ الأشياء جميعها مشعّة، وأنّ طول موجة الإشعاع يعتمد على درجة حرارة الجسم الباثّ للإشعاع. إنّ الأجسام ذات درجة الحرارة المرتفعة تشعّ أمواجًا قصيرةً. في حين تشعّ الأجسام ذات درجة الحرارة المنخفضة أمواجًا طويلة. أما المفهوم الثّاني الذي علينا معرفته، فهو أنّ شفافيّة الأشياء كالهواء والزّجاج تعتمد على طول موجة الإشعاع. إنّ الهواء شفّاف لكلّ من الموجات تحت الحمراء (طويلة) والموجات المرئيّة (قصيرة). إلا إذا احتوى الهواء على فائض من بخار الماء، أو ثاني أكسيد الكربون. ففي هذه الحالة فهو معتم لتحت الحمراء. (سنناقش فيزياء النفاذية والإعتام في الفصل 11).

والآن، لماذا يصبح داخل السّيّارة حارًّا جدًّا في ضوء الشّمس السّاطعة؟ بالمقارنة بدرجة حرارة الهواء الخارجي، إنّ درجة حرارة الشّمس عالية جدًّا. وهذا يعني أنّ الأمواج التي تشعّها الشّمس قصيرة جدًّا. وأنّ هذه الموجات تخترق كلًّا من الغلاف الجوّيّ وزجاج نوافذ السّيّارة بسهولة. ولهذا، فإنّ جزءًا من طاقة الشّمس يتسرّب إلى داخل السّيّارة. وفيما عدا الانعكاس فإنها تُمتصّ. ولهذا، يسخّن داخل السّيّارة. وكما أنّ داخل السّيّارة بدوره يشعّ موجاته الخاصّة. ولكن لأنّه ليس ساخنًا كما الشّمس، فإنّ إشعاعاته تكون في صورة موجات أطول. تصطدم هذه الأمواج الطويلة المشعّة بالزّجاج وهو غير شفّاف لها. وأخيرًا، فإنّ الطّاقة الإشعاعيّة تبقى داخل السّيّارة، مما يجعله ساخنًا. (ولهذا يجب عدم ترك الحيوانات داخل السّيارة في يوم مشمس.)



الشّكل 18.7
تبثّ الشّمس أمواجًا قصيرةً، بعكس الأرض الباردة التي تبثّ أمواجًا طويلة. يعيد بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون وغيرهما من غازات الدّفيئة في الغلاف الجوّيّ الحرارة التي لولاها لذهبت كإشعاعات من الأرض إلى الفضاء.



الشّكل 19.7
يكون الزّجاج شفّافًا للأمواج القصيرة الموجة، ولكنه معتم للإشعاعات الطويلة الموجة. الطاقة المشعة من النبتة هي طويلة الموجة لأنّ درجة حرارتها منخفضة نسبيًّا.

الأثر نفسه يحدث في الغلاف الجوّيّ للأرض. وهو نفاذ الإشعاع الشّمسيّ. يمتصّ سطح الأرض هذا الإشعاع. ويعيد إشعاع جزء منه - كإشعاعات أرضية طويلة. يُمتصّ ويُعاد – بثّ معظم الإشعاعات الأرضية الطويلة من غازات الغلاف الجوّيّ (بخار الماء وثاني أكسيد الكربون بشكل رئيس). إنّ الإشعاعات الأرضية التي لا تستطيع النفاذ من الغلاف الجوّيّ تسخن الأرض. تعدّ عملية التّسخين الكونيّ مفيدة جدًّا؛ إذ لولاها لأصبحت الأرض باردة بدرجة حرارة نحو (-18° س). وخلال الـ 500,000 سنة الماضية تذبذب معدّل درجة حرارة الأرض بين 19° س و27° س. وحاليًّا في أعلى قيمة لها. (27° س) - وهي في ارتفاع. إنّ مخاوفنا البيئيّة الحاليّة تتمثّل في أنّ ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون وغيره من غازات الغلاف الجويّ الأخرى سوف يؤدّي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض أكثر. لذا يحدث اتزان حراري ضارّ بالغلاف الحيويّ للأرض.

المهم هو إدراك أنه "لا يمكن تغيير شيء واحد فقط". فإذا غيّرت شيئًا ما فإنك تغيّر شيئًا آخر بالضرورة. إنّ ارتفاعًا طفيفًا في درجة حرارة الأرض يعني محيطات أسخن. وهذا يعني تغيّرا في المُناخ وأنماط العواصف. وأنّ محيطًا أسخن يعني كذلك زيادة في التبخير. كما يعني زيادة سقوط الثّلج في المناطق القطبية. إنّ المساحات الأرضية المغطاة بالجليد والثّلج حاليًّا أكبر من مجموع المساحات المزروعة - وهي تتناقص بمعدّل غير مسبوق في التّاريخ. هذه المساحات البيضاء تعكس أشعة الشّمس. ولها إمكانية في إنقاص درجة حرارة الكون. إنّ تسخين الأرض اليوم أكثر. يمكن أن يؤدي إلى تبريدها في المستقبل. وهذا قد يؤدي إلى العصر الجليديّ التالي! أو لا يؤدي.. لا نعرف!

ولكن ما نعرفه هو أنّ استهلاك الطاقة مرتبط بحجم السّكان. ونحن نتساءل بجدّ دائمًا عن النّمو المستمر للسكان . (من فضلك. اقرأ ملحق د. "النّموّ الأسّيّ ومضاعفة الزّمن" - مادة مهمة جدًّا).

إنّ الدور المهم للزّجاج في البيت الزجاجي لبائع الأزهار، هو منع الحمل من الهواء البارد في الخارج مع الهواء السّاخن في الداخل. ولذا، فإنّ أثر البيت الزّجاجيّ يؤدّي دورًا أكبر في الاحتباس الحراري أكبر من دوره في البيت الزّجاجيّ لبائع الأزهار.

■ **نقطة فحص**

ماذا نعني بـــ: يشبه أثر الدفيئة دور صمام أحاديّ الاتجاه (دايود)؟

هل كان هذا جوابك؟

كلّ من الغلاف الأرضيّ والزّجاج في دفيئة الأزهار - يُنفذ أمواج الضّوء القصيرة. ويمنع الموجات الطويلة من الخروج. وبسبب هذا المنع. تنتقل الإشعاعات في اتجاه واحد (تمامًا كالصّمام الأحاديّ).

■ 6.7 انتقال الحرارة وتغيّر الطّور

توجد المادة في أربعة أطوار (حالات) مألوفة. فالجليد على سبيل المثال. هو طور الصلابة للماء. وعند زيادة الطّاقة الداخليّة. تحطم زيادة الحركة الجزيئية التّركيب المجمّد. ويصبح في طور الماء السّائل. وعند إضافة طاقه أكثر يتغير السّائل إلى طور الغاز. وإذا أضفت طاقه أخرى فإنّ الجزيئات تتحطم إلى أيونات وإلكترونات منتجة طور البلازما. البلازما (لا تخلط بينها وبين بلازما الدم) غاز مضيء يوجد في شاشات التّلفاز. وغيرها من مصابيح الغاز. إنّ الشّمس والنّجوم ومعظم الفضاء في طور البلازما. وكلّما غيرت المادة طورها. حدث انتقال في الطّاقة الداخليّة.

التّبخير (Evaporation)

يتحول الماء إلى الطّور الغازيّ بعملية **التّبخير**: ففي السّائل، تتحرك الجزيئات عشوائيًّا بسرعات متفاوتة. فكّر في جزيئات الماء ككرات بلياردو صغيرة، تتحرك عشوائيًّا كيفما اتفق، وتستمر في التصادم بعضها ببعض. إنّ بعض الجزيئات يكتسب طاقة حركية خلال التصادم، أما بعضها الآخر فيخسر طاقه حركية. كما أنّ الجزيئات على السّطح، والتي اكتسبت طاقة حركيّة من خلال ارتفاعها إلى أعلى هي التي يمكن أن تتحرّر من السّائل. إنّها تغادر السّطح، وتهرب إلى الفضاء فوق السّائل، وبهذه الطريقة تصبح غازًا.

عندما تغادر الجزيئات السّريعة الماء تبقى الجزيئات البطيئة. ماذا يحدث لمجموع الطّاقة الحركية في السّائل عند مغادرة الجزيئات ذات الطّاقة – العالية؟ الجواب: ينقص معدّل الطّاقة الحركية للجزيئات المتبقّية. تنقص درجة الحرارة (هي مقياس معدّل الطّاقة الحركيّة للجزيئات) ويبرد الماء.

عندما تسخن أجسامنا تبدأ الغدد العرقيّة في إنتاج العرق. وهذه هي طبيعة منظم الحرارة. تبرد بتبخر العرق. وتبخُّره يساعدنا على استقرار درجة حرارة الجسم. إنّ العديد من الحيوانات لا تملك غددًا عرقية. لذا، فعليها تبريد نفسها بطرق أخرى (الشكلان 21.7 و22.7).

الشّكل 20.7
يساعد بلّ القماش المغلف لحافظة الماء على تبريدها. عندما تتبخر جزيئات الماء السّريعة من الغطاء المبلل، تنخفض درجة حرارة الغطاء، ويبرد الفلزّ الذي بدوره يبرّد الماء في الدّاخل. ولذا يصبح الماء في الحافظة أبرد كثيرًا من الهواء الخارجيّ.

■ **نقطة فحص**

إذا لم يكن هناك انتقال للطّاقة الحركيّة من جزيئات الماء إلى الهواء في الأعلى، فكيف يكون التّبخر عملية تبريد؟

هل كانت هذه إجابتك؟

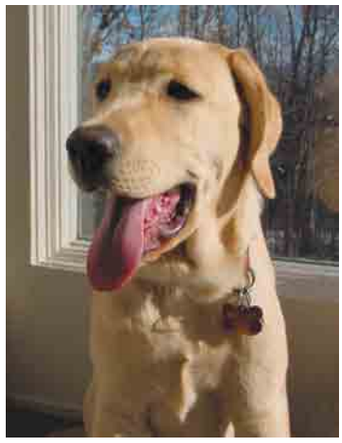
يبرد السّائل فقط عندما نأخذ منه الطّاقة الحركيّة بعيدًا بتبخير الجزيئات. وهذا يشبه زيادة سرعة كرات البلياردو على حساب الكرات الأخرى التي نقصت سرعتها. إنّ الجزيئات التي تتبخر هي السريعة، أما البطيئة فتبقى. وعليه، تنقص درجة حرارة الماء.

لمعلوماتك

يأخذ الماء من جسدك طاقة معه. ولهذا تشعر بالبرودة عندما تخرج من الماء في يوم دافئ وعاصف.

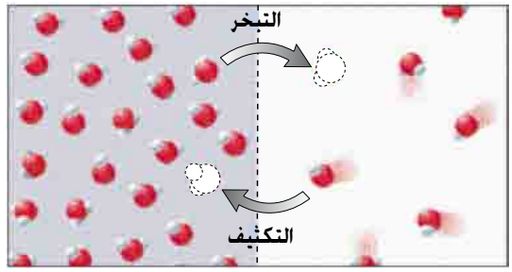
تنتقل الجزيئات من طور الصلابة إلى الطّور الغازيّ مباشرة في ثاني أكسيد الكربون الصلب (الجليد الجاف) - ولهذا السبب سمّي *الجليد الجاف*. يسمى هذا الشّكل من التبخير **التّسامي (Sublimation)**. إنّ كرة العثّ مشهورة بتساميها. حتى الماء المتجمد يتعرض للتسامي. ولأنّ جزيئات الماء متماسكة بقوة في حالة الصلابة فإنّ الماء المتجمد يتسامى ببطء أكثر من تبخر الماء السّائل. يفسّر التّسامي فقد كثير من الثّلوج والجليد، وخصوصًا في المرتفعات وقمم الجبال المشمسة. كما يفسّر التسامي سببَ صغر حجم مكعبات الجليد إذا تركت مجمّدة فترات طويلة.

الشّكل 22.7
لا توجد للخنازير غدد عرقية، ولهذا فإنها لا تستطيع تبريد نفسها بتبخير العرق. وبدلًا من ذلك، تتمرغ في الطّين حتى تتبرد.



الشّكل 21.7
مثل غيره من الكلاب، لا يملك سام غددًا عرقية (ما عدا ما بين أصابعه). إنه يبرد باللهاث. وبهذه الطريقة يحدث التّبخر في الفم وداخل الرئتين.

التّكثيف (Condensation)

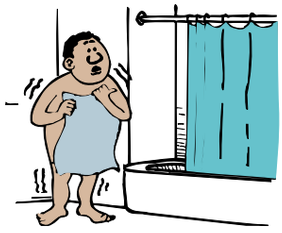


الشّكل 23.7
تبادل الجزيئات عند سطح التلامس بين الماء السّائل والغاز.

إنّ عملية التّبخير هي عكس عملية **التّكثيف**؛ إنّها تحويل الغاز إلى سائل. عندما تنجذب جزيئات الغاز بالقرب من سطح السّائل فإنها تصطدم بطاقة حركية عالية بسطح السّائل وتصبح جزءًا منه. يمتص السّائل الطاقة الحركية، بحيث تكون النتيجة زيادة في درجة الحرارة. لذا، فبينما يبرد السائل المتبقي بالتبخير، يسخن الجسم الذي يحدث عليه التكثيف؛ التّكثيف هو عملية تسخين.

الشّكل 24.7
تتحرر الطاقة الداخلية من البخار عند تكثفه داخل "المشعاع".

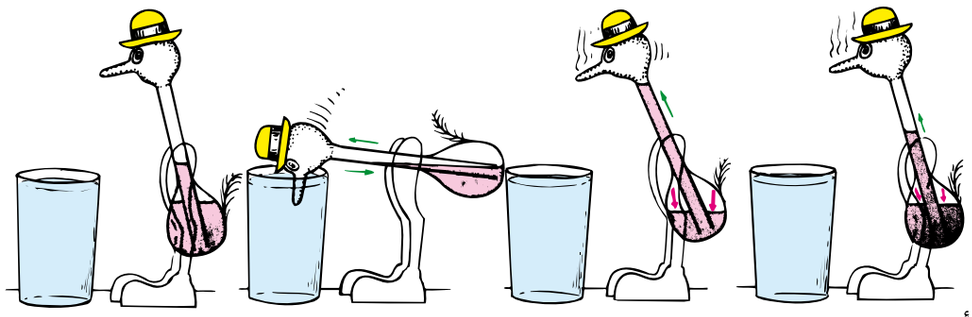
تعدّ الطّاقة المتحررة من البخار عندما يتكثف مثالًا مناسبًا جدًّا على التسخين بالتكثيف. يعطي البخار طاقة كبيرة عندما يتكثف إلى سائل ويرطب الجليد. ولهذا، فإنّ الحرق من بخار على درجة 100°س هو أكثر ضررًا من الحرق من ماء يغلي على درجه 100°س. تستخدم الطاقة المتحررة من البخار في أثناء التكثيف في أنظمة التسخين - البخاري.



الشّكل 25.7
إذا شعرت بالبرد خارج حجيرة الحمام، ارجع إلى الداخل وتدفأ من تكثيف بخار الماء المتوافر في الداخل.

عند الاستحمام، ربما لاحظت أنك تشعر بالدفء في الحمّام الرّطبة أكثر من خارجها. وبعيدا عن الرّطوبة، يكون معدّل التبخر أعلى كثيرًا من معدل التكثف. لذا، فستشعر بالبرد. ولكن عندما تبقى في هذه الحجيرة الرّطبة، فإنّ معدّل التّكثف يكون أعلى، ولذلك تشعر بالدفء. والآن، أنت تعرف لماذا يمكنك أن تجفف جسمك بالمنشفة براحة أكبر عندما تكون في الحمام. أما إذا كنت على عجلة، ولا تكترث بالبرد، فيمكنك تنشيف نفسك في الممرات.

إنك تشعر بالبرودة في المناطق الجافة أكثر من المناطق السّاحلية في أيام الصّيف بعد الظهر، رغم تساوي درجة الحرارة في المنطقتين؛ ففي المناطق الجافة يكون معدّل التبخر من جسمك أكبر من معدّل تكاثف جزيئات الماء من الهواء على جلدك. أمّا في المناطق الرطبة فيكون معدّل التكثف أعلى من معدل التّبخر. كما أنّك تشعر بأثر السّخونة عندما يتكثف بخار الماء على جلدك. أي أنّك تُقذف باصطدام جزيئات الماء في الهواء. (سنكتشف التّكثف في الغلاف الجويّ عند دراسة المُناخ والطّقس في الفصل 25).



الشّكل 26.7
تعمل لعبة الطّائر الشّارب عبر تبخر الأيثر من داخل جسمه عن طريق سطح رأسه. يحتوي أسفل الجسم على سائل الأيثر الذي يتبخّر بسرعة عند درجة حرارة الغرفة. (أ) عند تبخره (ب) يخلق ضغطًا (داخل الأسهم) والتي تدفع بالأيثر إلى أعلى الأنبوب. لا يتبخر الأيثر الموجود في أعلى الأنبوب؛ لأنّ الرأس يبرد بتبخر الماء من اللبادة الخارجية التي تغطي الرأس والمنقار. عندما يكون وزن الأيثر في الرأس كافيًا فإنّ الطّير (ج) ينحني إلى الأمام، مما يسمح للأيثر بالعودة إلى الجسم. وكل انحناءة تبلل لبادة الرأس والمنقار، وهكذا تتكرر الدورة.

السّحق بالتّكثيف

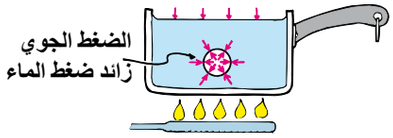
ضع كمية صغيرة من الماء في علبة ألومنيوم غير مغلقة. وسخنها بالفرن حتى يخرج البخار من الفتحة. عندما يحدث ذلك، يُطرد الهواء ويحلّ مكانه البخار. وإذا قلبتها بسرعة بملقط في حوض من الماء فسوف تتحطم بسبب الضّغط الجويّ! لماذا؟ عند اصطدام جزيئات البخار داخل العلبة بجدرانها الداخلية، فإنّها ترتد- بالتأكيد لا يمتصها الفلز. ولكن حين يصطدم بخار الماء في الحوض، فإنها تلتصق بسطح الماء؛ بسبب التّكثّف. تاركًا ضغطًا منخفضًا في العلبة. وعندئذ يُحطّم الضّغط الجويّ العلبة. وهنا نرى بشكل تمثيلي كيفية انخفاض الضغط بالتّكثّف (هذا العرض يضع الأساس لدورة الآلة البخاريّة؛ ربما للدّراسة المستقبليّة).

نقطة فحص

ضع وعاء ماء في أيّ مكان في غرفتك. إذا لم يتغير مستوى الماء في الوعاء من اليوم إلى اليوم التالي، فهل تستنتج عدم حدوث تكثّف أو تبخّر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا. تحدث عمليتا التّكثّف والتّبخّر بشكل كبير وباستمرار على المستوى الجزيئيّ. إنّ حقيقة عدم حدوث تغير على مستوى الماء يشير إلى تساوي معدلات التّبخّر والتّكثّف.



الشّكل 27.7
تصنع حركة جزيئات البخار في الفقاعة (مكبرة جدًا) ضغطًا غازيًا (يسمى ضغط البخار) يعادل الضّغط الجويّ زائد ضغط الماء على الفقاعة.

7.7 الغليان

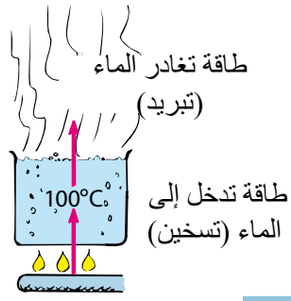
يحدث التّبخر عند سطح السّائل. ويحدث تغير في الطّور من السّائل إلى الغاز تحت سطح السّائل عند توافر الظّروف المناسبة. ترتفع فقاعة الغاز المتكوّنة تحت سطح السّائل إلى الأعلى، حيث تنطلق إلى الهواء المحيط. يسمى هذا التّغيّر في الطّور **الغليانَ**.

يجب أن يكون ضغط البخار داخل الفقاعة في السّائل الذي يغلي كبيرًا بما فيه الكفاية لمقاومة ضغط السّائل المحيط. وإن لم يكن ضغط البخار كبيرًا بما فيه الكفاية، فإنّ الضغوط المحيطة تقضي على أيّ فقاقيع في طريقها إلى التّشكّل وعند درجة حرارة تحت نقطة الغليان فإنّ ضغط البخار لا يكون كبيرًا بما فيه الكفاية؛ فالفقاقيع لا تتشكّل حتى تبلغ درجة الغليان.

يشبه الغليانُ التّبخرَ في أنّه عملية تبريد. وللوهلة الأولى، يبدو هذا مدهشًا - ربما لأننا عادة ما نربط الغليان بالتسخين. ولكن تسخين الماء شيء وغليانه شيء آخر. عندما نغلي الماء إلى درجة حرارة 100°س تحت الضّغط الجويّ، فهو في اتزان حراريّ. يبرد الماء في الإبريق بالغليان بالسرعة نفسها التي سخن بها من طاقة المصدر الحراريّ (الشكل 28.7). وإن لم يكن التبريد حاصلًا فإنّ استمرار تطبيق الحرارة على الماء المغليّ في الإبريق يؤدي إلى رفع درجة حرارته.

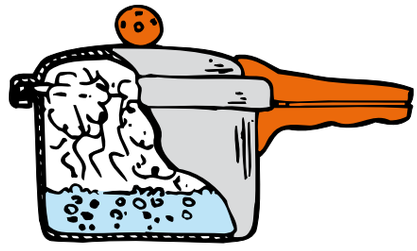
عند زيادة الضّغط على سطح السّائل يخمد الغليان. وترتفع درجة حرارته. تعتمد درجة الغليان لسائل ما على الضّغط فوق السائل - وهذا واضح في وعاء الضّغط (الشّكل 29.7). في هذا الوعاء، يتعاظم ضغط البخار في الداخل ويمنع الغليان. وهذا يرفع درجة الحرارة إلى أعلى من درجة الغليان المعتادة. لاحظ أنّ درجة حرارة الماء وهو في طريقه إلى الغليان، هي التي تُنضج الطعام، وليست عملية الغليان نفسها.

ينقص الضّغط الجويّ (كما في المناطق المرتفعة) درجة حرارة الغليان. على سبيل المثال، في مدينة دينفر/كولارادو في الولايات المتحدة - مدينه على ارتفاع ميل - يغلي الماء على درجة حرارة 95°س بدلا من 100°س. إذا أردت طهو طعام في منطقة يغلي الماء فيها عند درجة حرارة أقلّ من 100°س، فعليك الانتظار وقتًا أطول حتى تحصل على نضج كافٍ. إذا سلقت البيض لمدة ثلاث دقائق في دنفر فإنّك لا تستطيع أكله. وإذا كانت درجة حرارة غليان الماء منخفضة جدًّا، عندئذ لا يمكن طهو الطعام أبدًا.



الشّكل 28.7
يدفئ التسخين الماء من الأسفل، أمّا الغليان فيبرده من الأعلى.

عندما نقول إننا نغلي الماء فهذا يعني أننا نسخنه. في الواقع، إنّ عملية الغلي تبرد الماء.



الشّكل 29.7
يمسك غطاء الوعاء المحكم الضغط البخار المضغوط فوق سطح الماء، وهكذا يمنع الغليان. وبهذه الطريقة تزداد درجة غليان الماء إلى أكثر من 100°س.

■ **نقطة فحص**

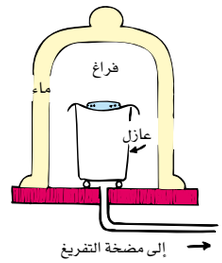
1. لأنّ الغليان عملية تبريد، فهل عملية تبريد يديك الرطبتين بغمسهما في ماء يغلي فكرة جيدة؟
2. الماء المغلي بسرعة له درجة الحرارة نفسها للماء الذي يغلي ببطء، فكلاهما يغلي عند درجة حرارة 100°س. إذن، لماذا تكون تعليمات طهو المعكرونة غالبًا هي استعمال الماء المغلي بسرعة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

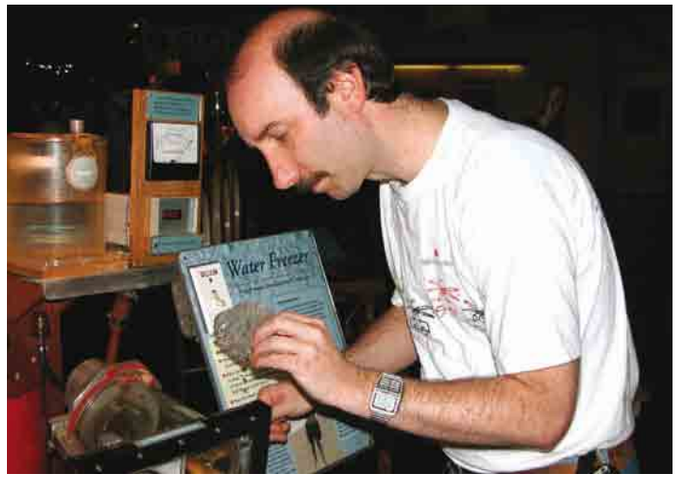
1. لا: عندما نقول إنّ الغليان عملية تبريد، فنحن نعني أنّ الماء المتبقي في الوعاء (ليس يداك) هو الذي يبرد مقارنة بدرجة الحرارة التي يمكن أن يصبح عليها الماء لو لم يحدث تبخير. وبسبب أثر التبريد للغليان، يبقى الماء عند درجة حرارة 100°س بدلًا من أن يسخن أكثر. ولهذا، إذا غمست يديك في ماء عند درجة حرارة 100°س فسيكون هذا مؤذيًا جدًّا لهما!
2. يعلم الطّباخ الجيّد أنّ السّبب في استعمال الماء المغلي بسرعة ليس درجة الحرارة المرتفعة، بل ببساطه لمنع التصاق السباجيتي بعضها ببعض.

يوضح الشّكل 30.7 إثباتًا تمثيليًّا لأثر التبريد للبخار والغليان. نرى وعاءً (صحنا غير عميق) يحتوي على ماء عند درجة حرارة الغرفة داخل وعاء مفرّغ. عندما تبدأ تفريغ الوعاء من الهواء ببطء بمضخّة هواء، يبدأ الماء في الغليان. وكما هو الحال في التبخر، تغادر الجزيئات ذات الطاقة العالية من الماء، ويبرد الماء المتبقي. وكلما نقص الضغط أكثر يحدث المزيد والمزيد من الغليان للجزيئات المتحركة بسرعة حتى يصل السّائل المتبقي إلى درجة 0°س. إنّ استمرار التبريد في الغليان يؤدي إلى تشكّل الجليد فوق سطح فقاقيع الهواء. كما أنّ الغليان والتبريد يحدثان في الوقت نفسه؛ إنّ منظر الفقاقيع المجمّدة للماء الذي يغلي رائع.

إذا نثرت بعض قطرات القهوة في حجرة مفرغة، فإنها تغلي حتى تتجمد. وتستمر جزيئات الماء في التبخّر إلى الفراغ حتى بعد تجمدها وحتى لا يتبقى غير البلّورات الصغيرة من القهوة الصّلبة.



الشّكل 30.7
جهاز لتوضيح أنّ الماء يتجمد ويغلي في الوقت نفسه في الفراغ. يوضع 1 جم أو 2 جم من الماء في طبق يتم عزله من القاعدة بكأس بوليسترين.



الشّكل 31.7
يزيل رون Ron قطعة من الجليد الطازج من "الماء المتجمد" في المعرض. كما تم عرضه في الحجرة المفرغة، كما في الشّكل 30.7.

وبهذه الطريقة تصنع القهوة الجافة المجمدة. إنّ انخفاض درجة الحرارة لهذه العملية يحفظ التركيب الكيميائي للقهوة الصّلبة من التّغيّر. وعند إضافة الماء السّاخن، يُستعاد كثير من النكهة الأصلية للقهوة.

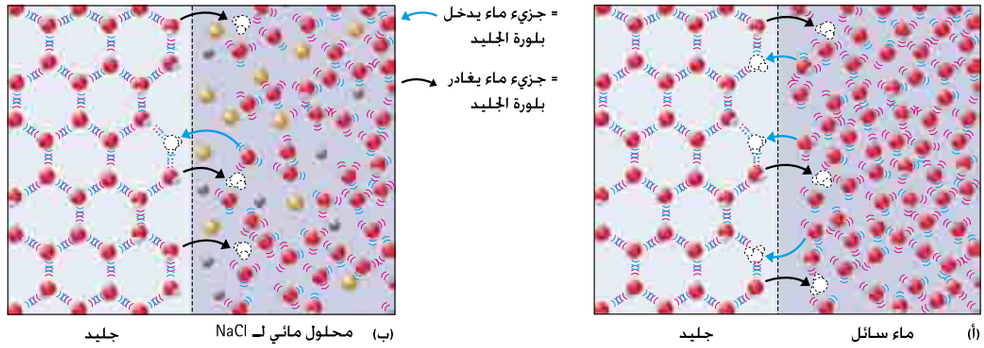
لمعلوماتك

■ لم يكن لمتسلقي الجبال في القرن التاسع عشر أدوات لقياس الارتفاع. ولهذا استخدموا درجات غليان الماء لتحديد ارتفاعهم.

■ 8.7 الانصهار والتّجمد

يحدث **الانصهار** عندما يتغير طور المادة من الصّلابة إلى السّيولة. ولفهم ما يحدث: تخيّل مجموعة من الناس متشابكي الأيدي، يقفزون هنا وهناك. وكلما كان قفزهم شديدًا، صعب أن تبقى أياديهم متشابكة. أما إذا كان القفز شديدًا بما فيه الكفاية، فيستحيل عندئذ بقاء الأيادي متشابكة. والشيء نفسه يحدث لجزيئات الجامد عندما يسخن. عند امتصاص الجامد للحرارة تهتز جزيئاته بشدة أكثر فأكثر. وإذا كانت كمية الحرارة الممتصة كافية فإنّ قوى التجاذب بين الجزيئات لا تستطيع الإمساك بها معًا. ومن هنا ينصهر هذا الجامد.

يحدث **التّجمد** عندما يتغيّر طور المادة من السّيولة إلى الصّلابة، أي عكس عملية الانصهار. عندما تأخذ الطّاقة من السّائل، تتباطأ الحركة الجزيئية، وتتحرك الجزيئات ببطء، بحيث إن قوى التجاذب بين الجزيئات تربطهم معًا. ويتجمد السّائل عندما تهتز جزيئاته حول نقطة معينة ويتشكل الجامد.



الشّكل 32.7
(أ) في مزيج من الجليد والماء على درجة 0°س. تكسب بلورات الجليد جزيئات الماء وتفقدها في الوقت نفسه. يكون الجليد والماء في حالة اتزان حراري. (ب) عند إضافة الملح إلى الماء، يدخل القليل من جزيئات الماء إلى الجليد؛ بسبب توافر القليل منها عند الحاجز الفاصل.

يتشكّل الجليد عند درجة 0° س، تحت ضغط جويّ عاديّ. وتنخفض نقطة تجمد الماء عند وجود شوائب فيه. تعترض الجزيئات "الغريبة" الطريق، وتتدخل في تشكيل البلّورة. وعمومًا ، فإنّ إضافة أيّ شيء إلى الماء يخفض درجة تجمده. ويعدّ الماءُ المقاوم للتجمد أحدَ التطبيقات العملية لهذه الظاهرة.

9.7 الطّاقة وتغيّر الطّور

إذا سخّنت الجامد إلى درجة كافي، فسينصهر ويصبح سائلا. وإذا سخّنت السّائل، فسيتبخر ويصبح غازًا. يجب إضافة طاقة للمادة لتغير طورها من الصّلابة إلى السّيولة إلى الغاز. وبالمقابل، يجب استخلاص طاقه من المادة لتغيّر طورها من الغاز إلى السّائل إلى الصّلب. (الشّكل 33.7).

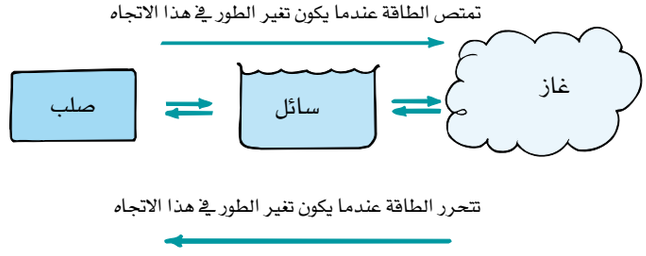
إنّ دورة الثّلاجة توضّح هذه المفاهيم. يضُخّ محرّك الثّلاجة سائلًا خاصًّا عبر النظام؛ حيث يتعرض لدورة من التبخير والتكثيف. عند تبخر السّائل، تُنتزع الطّاقة الدّاخليّة من الأجسام المخزّنة في الثّلاجة. يوجه الغاز المتشكّل، وطاقته المتحررة، نحوه ويتكثف ليصبح سائلًا في الأسلاك اللولبية في الخلف، والتي تسمى ملفات التّكثيف. في المرة القادمة عندما تكون بالقرب من الثّلاجة، ضع يدك بالقرب من ملفات التكثيف في الخلف، لتشعر بالحرارة الصادرة من الدّاخل.

تستخدم مكيفات الهواء المبدأ نفسه؛ فهي ببساطة تمتصّ الطّاقة الحراريّة من جزء من الوحدة إلى وحدةٍ أخرى. وإذا عكست أدوار التبخير والتكثيف فسيصبح مكيف الهواء مدفأة.

تسمّى كميةُ الطّاقة اللازمة لتغيير أيّ مادة من حالة الصّلابة إلى حالة السّيولة (والعكس) **حرارة الانصهار (Heat of Fusion)** للمادة. وهي للماء 334 جول/جم. في حين تسمّى كميةُ الطّاقة اللازمة لتغيير أيّ مادة من حالة السّيولة إلى الغازيّة (والعكس) **حرارة التّبخير (Heat of Vaporization)** للمادة. وتبلغ للماء كمية هائلة 2256 جول/جم.

لمعلوماتك

لماذا ينثر الصّخر الملحيّ على الطرقات المغطاة بالجليد في الشّتاء؟ الجواب: لأنّ الملح يصهر الجليد. إنّ الملح في الماء ينفصل إلى أيونات صوديوم وأيونات كلور. وعندما توجد هذه الأيونات في الماء، فإنّها تعطي الطاقة التي تذيب الطّبقات السّطحيّة دون المجهرية من الجليد، وتزداد عملية الإذابة عن طريق ضغط عجلات السيارات التي تدور على السّطح المغطّى بالجليد، والذي بدوره يجبر الملح على الدخول في هذا الجليد. ومن الجدير بالذكر أنّ حجم البلّورات هو الذي يميّز بين الملح الصّخريّ الذي يُرشُّ على الطرقات في الشتاء من جهة، والمادة التي تنثرها على الذرة(البوشار) من جهة أخرى.



الشّكل 33.7
تتغيّر الطّاقة بتغيّر الطّور.

في عصور ما قبل الحداثة، حال المزارعون في المناخات الباردة دون تجمد جِرار الغذاء بالاستفادة من ميزة أنّ حرارة الانصهار - للماء عالية. ببساطة، لقد احتفظوا بأنابيب ضخمة من الماء في أقبيتهم. يمكن لدرجة الحرارة أن تهبط إلى ما دون التّجمّد، ولكن ليس في الأقبية، حيث يحرر الماء طاقة داخلية في أثناء تجمده. وتتطلب الأغذية المعلبة درجات حرارة دون الصفر لتتجمد؛ وذلك لاحتوائها على الملح أو السكر. وما كان على المزارعين سوى استبدال أحواض الماء المتجمد بالأحواض غير المتجمدة، وهكذا لا تهبط درجات حرارة القبو إلى ما دون الصفر.

الشّكل 34.7
يتم حصاد ضوء الشّمس ببساطة ولطف.

إنّ حرارة التبخير هي الطّاقة اللازمة لفصل جزيئات من طور السّائل إلى الطّور الغازيّ، أو أنّها الطّاقة المتحرّرة عندما تتكثف الغازات إلى طور السّائل.

■ **نقطة فحص**

في عملية تكثيف بخار الماء في الهواء، فإنّ الجزيئات الأبطأ في الحركة هي التي تتكثّف. هل التكثيف يسخّن الهواء المحيط أم يبرّده؟

هل كانت هذه اجابتك؟

عند إبعاد الجزيئات الأبطأ من الهواء، يصبح معدّل الطّاقة الحركيّة للجزيئات المتبقيّة في الهواء أكبر. لذا يسخن الهواء. وتغير الطّور هو من الغاز إلى السّائل، وهذا يحرّر طاقة (الشّكل 33.7).

إنّ حرارة الانصهار هي الطّاقة اللازمة لفصل الجزيئات من طور الصّلابة إلى طور السّيولة، أو أنّها الطاقة المتحرّرة عندما تتشكّل الرّابطة في السّائل لتغيّره إلى طور الصّلابة.

تسمح حرارة التبخير العالية للماء أن تلمس بإصبعك المبلل لفترة قصيرة مقلاة حارة على الفرن دون أن تتأذّى. ويمكنك ملامستها عدة مرات بالتعاقب ما دام إصبعك مبلّلا. فالطّاقة التي عادة ما تنتقل إليك لتحرق إصبعك، تذهب إلى تغيير طور الرّطوبة عليه. وبالطريقة نفسها تستطيع الحكم على سخونة مكواة الملابس.

قام بول ريان (Paul Ryan)- مراقب في قسم الأشغال العامة في مدينة مولدن / مساشوسيتس في الولايات المتحدة- لسنين باستخدام الرّصاص المصهور للحام المواسير في عمليات سباكة معينة. وكان يروّع المشاهدين بغمس أصابعه في الرصاص المصهور للحكم على سخونته (الشّكل 35.7). لقد كان متأكدا من أنّ الرّصاص ساخن جدًّا، ولكن إصبعه كانت مبللة بالكامل قبل القيام بهذا العمل. (تحذير: لا تجرب ذلك؛ إذا لم يكن الرّصاص ساخنًا بما فيه الكفاية، فسوف يلتصق بإصبعك). سوف نناقش دور الطّاقة الحراريّة في التّسخين الكونيّ في الفصل الخامس والعشرين.

الشّكل 35.7
يفحص بول ريان Paul Ryan سخونة الرّصاص المذاب بغمس إصبعه المبللة فيه.

ملخّص المصطلحات

التّوصيل Conduction: انتقال الطّاقة الدّاخليّة عن طريق اصطدام الجزيئات والإلكترونات ضمن المادة (خصوصًا في الجامد).

الحمل Convection: انتقال الطّاقة الدّاخليّة في الغاز أو السّائل عن طريق التّيارات في المائع المسخّن، ينساب المائع حاملًا الطّاقة معه.

الإشعاع Radiation: انتقال الطّاقة بالموجات الكهرومغناطيسيّة.

الإشعاع الأرضيّ Terrestrial radiation: الطّاقة الإشعاعيّة التي تبثّها الأرض.

قانون نيوتن للتّبريد Newton's law of cooling: يتناسب معدّل فقدان الطّاقة الدّاخليّة من الجسم مع الفرق في درجة الحرارة بين الجسم ومحيطه. كما يتناسب معدّل التبريد مع ΔT.

التّبخير Evaporation: تغيّر الطّور عند سطح السّائل لدى مروره بالطّور الغازيّ.

التّسامي Sublimation: تغيّر الطّور من الصّلب إلى الغاز مباشرة، متخطّيا طور السّائل.

التّكثيف Condensation: تغيّر الطّور من الغاز إلى السّائل، عكس التّبخير، وهو تسخين السّائل يحدث الغليان.

الغليان Boiling: تحدث حالة من التبخير السريع ضمن السّائل، وفي الهواء المحيط. وكما هو الحال في التّبخير يحدث التّبريد.

الانصهار Melting: عملية تحوّل الطّور من الصّلابة إلى السّيولة كما هو الحال من الجليد إلى الماء.

التّجمُّد Freezing: عملية تحوّل في الطّور من السّيولة إلى الصّلابة، كما هو الحال من الماء إلى الجليد.

حرارة الانصهار Heat of fusion: كمية الطّاقة اللازمة لتحويل أيّ مادة من الصّلابة إلى السّيولة (والعكس) وهي للماء 334 جول/جم (أو 80 سعر/جم).

حرارة التّبخير Heat of vaporization: كمية الطّاقة اللازمة لتحويل أيّ مادة من السّيولة إلى الغازيّة (والعكس) وهي للماء 2256 جول/جم (أو 540 سعر /جم).

أسئلة مراجعة

1. ما الطرائق الثلاث المألوفة التي يتمّ بها انتقال الحرارة؟

1.7 التّوصيل

2. ما دور الإلكترونات "الحرّة" في موصلات الحرارة؟
3. ما تفسير المشي على النار بالأقدام العارية. المشي بأمان فوق الفحم الخشبيّ الأحمر الحارّ أيضًا؟
4. هل يمنع العازل الجيد الحرارة من الدخول إليه أنه يبطئ مرورها؟

2.7 الحمل

5. بأيّ وسيلة تنتقل الحرارة بالحمل؟
6. ماذا يحدث لدرجة حرارة الهواء عندما يتمدد؟
7. لماذا لا تحترق يد الطّاهي عندما يضعها فوق صمام الأمان في وعاء الضّغط (الشكل 8.7)؟
8. لماذا يتغيّر اتجاه رياح السّاحل بين النهار والليل؟

3.7 الاشعاع

9. كيف يرتبط تردّد الطّاقة الإشعاعيّة لجسم مع درجة الحرارة المطلقة لمصدر الإشعاع؟
10. ما الإشعاعات الأرضيّة؟ فيم تختلف عن إشعاعات الشّمس؟
11. بما أنّ الأجسام جميعها تبثّ طاقة إلى محيطها. فلِمَ لا تستمر درجة حرارة هذه الأجسام في الانخفاض؟
12. لماذا يبدو بؤبؤ العين أسود اللون؟

4.7 قانون نيوتن للتّبريد

13. أيهما يتعرض لمعدل تبريد أكبر: مسمار أحمر- ساخن في فرن دافئ أم مسمار أحمر- ساخن في غرفه باردة. أم أنّ كليهما يبرد بالمعدل نفسه؟
14. هل ينطبق قانون نيوتن للتّبريد على التّسخين. كما ينطبق على التّبريد؟

5.7 التّسخين الكونيّ وأثر الدّفيئة (البيوت الزّجاجيّة)

15. ما التبعات على درجة حرارة الأرض لو انعدم أثر الدّفيئة بالكامل؟
16. .ماذا نعني بالتّعبير الآتي: "لا تستطيع أبدًا تغيير شيء واحد فقط"؟

6.7 انتقال الحرارة وتغيّر الطّور

17. ما الأطوار الأربعة المألوفة للمادة؟
18. هل للجزيئات جميعها في السّائل السرعة نفسها تقريبًا. أم أنّ سرعات الجزيئات مختلفة ومتباعدة؟
19. ما التبخير. ولِمَ يُعَدّ عملية تبريد؟ وما الذي يبرد؟
20. ما التّسامي؟
21. ما التّكثيف؟ ولِمَ يعدّ عملية تسخين؟ وما الذي يسخن؟
22. لماذا يكون الإيذاء الناجم عن حرق البخار أكبر من الإيذاء الناجم عن الحرق بالماء المغلي. مع أنّ لكليهما درجة الحرارة نفسها؟

7.7 الغليان

23. ميّز بين التّبخر والغليان؟
24. لماذا لا يغلي الماء على درجة حرارة 100°س عند تعرضه لضغط أكبر من الضّغط الجوّيّ الطّبيعيّ؟
25. ما الذي يُسّرع إنضاج الطّعام في وعاء الضّغط: غليان الماء أم درجة حرارته العالية؟

8.7 الانصهار والتّجمد

26. لماذا ينصهر الجامد عند زيادة درجة حرارته؟
27. لماذا يتجمّد السّائل عند نقصان درجة حرارته؟
28. لماذا لا يتجمّد الماء عند درجة حرارة 5°س عند وجود أيونات غريبة فيه؟

9.7 الطّاقة وتغيّر الطّور

29. هل يعطي السّائل طاقة أم يمتصّها عند تحوّله إلى: غاز. صلب؟
30. هل يعطي الغاز طاقة أم يمتصّها عند تحوّله إلى سائل؟ ماذا عن الجامد الصّلب عند تحوّله إلى سائل؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● لُفّ فرو معطف حول ميزان حرارة. هل ترتفع درجة الحرارة؟
2. ● ما تفسير أنّ (غطاء) الرّيش يكون دافئًا في ليل الشّتاء البارد؟
3. ● ما دور طبقة النحاس أو الألومنيوم الموجودة في أسفل أدوات الطّبخ الفولاذيّة؟
4. ● بلغة الفيزياء. لماذا تُقدم البطاطس المشويّة ملفوفة برقائق الألومنيوم؟
5. ● تأذت العديد من الألسُن من لعق قطعه فلزّية في يوم بارد. لماذا؟ في حين لا يكون هناك أذى إذا استعملنا قطعة خشبيّة بدلًا من القطعة الفلزية في اليوم نفسه؟
6. ● الخشب عازل أفضل من الزّجاج. ومع ذلك تُستخدم الألياف الزّجاجيّة للعزل في المباني الخشبيّة. لِمَ ذلك؟
7. ■ قم بزيارة أيّ مقبرة مغطاة بالثّلج. ولاحظ أنّ الثلج لا يرتفع

إلى الأعلى مقابل حجر الشّاهد. ولكن يشكل انخفاضات حوله كما في الشكل. ما تفسيرك لذلك؟

8. ■ موصلية الخشب منخفضة جدًّا. هل تبقى موصليته ضعيفة حتى عندما يكون حارًّا جدًّا؛ أي في مرحلة يصبح فيها فحمًا ساخنًا أحمر اللون؟ هل تستطيع المشي على الفحم الأحمر السّاخن وأنت حافي القدمين؟ مع أنّ الفحم ساخن، هل تصل كمية كبيرة من حرارة الفحم إلى قدميك إذا كنت سريع الخطوة؟ هل تستطيع عمل الشيء نفسه على قطعة حديد حمراء ساخنة ؟ فسّر. (تحذير: لا تجرب ذلك؛ فقد يلتصق الفحم بقدميك) .

9. ● يقول صديق: يكون للجزيئات في خليط من الغازات المتزنة حراريًّا معدّلُ الطّاقة الحركيّة نفسه. هل توافق على ذلك؟ دافع عن إجابتك.

10. ● يقول صديق: يكون للجزيئات في خليط من الغازات المتزنة حراريًّا معدّلُ السرعة نفسه. هل توافق على ذلك؟ دافع عن إجابتك.

11. ● ما علاقة ارتفاع الحرارة النوعية للماء مع تيارات الحمل في الهواء عند شاطئ البحر؟

12. ■ كيف تقارن معدّل الطّاقات الحراريّة لكلّ جزيء في خليط من غازي الهيدروجين والأكسجين عند درجة الحرارة نفسها ؟

13. ■ في خليط من غازي الهيدروجين والأكسجين عند درجة الحرارة نفسها، أيّ الجزيئات يتحرك بسرعة أكبر؟ ولماذا؟

14. ■ أيّ الـذرات لها معـدّل سرعة أكبر في خليـط من 238 -U- و235-U-؟ كيف يؤثر ذلك في غشاء مساميّ، والذي لولاه لكان الخليط مكونًا من غازات متماثلة من هذه النّظائر؟

15. ■ تدفع آلات صنع الثّلج في المناطق الزلقة بخليط من الهواء المضغوط والماء خلال نافورة. يمكن أن تكون درجة حرارة الخليط الابتدائية أعلى من درجة تجمد الماء، ومع ذلك تتكون بلّورات الثّلج عند قذف الخليط من النافورة. فسّر كيفية حدوث ذلك.

16. ● إذا شغّلت مصباحًا متوهجًا وأطفأته بسرعة كبيرة وأنت واقف بجانبه فستشعر بحرارته، ولكن حين تمسك به ستجده غير ساخن. فسر لِمَ أحسست بحرارة المصباح؟

17. ● عند وضع عدد من الأجسام على درجات حرارة مختلفة في غرفة مغلقة، فإنها تتشارك في الطّاقة الإشعاعيّة، وتصل أخيرًا إلى درجة الحرارة نفسها. هل يحدث هذا الاتّزان الحراريّ لو كان الماصّ الجيّد باهتًا ضعيفًا، وكان الباهت الجيّد ماصًّا ضعيفًا؟ دافع عن إجابتك.

18. ■ من القواعد أنّ الماصّ الجيّد للإشعاع هو مشعّ جيّد، وأنّ العاكس الجيّد هو ماصٌّ ضعيف. اذكر قاعدة تربط بين خصائص الانعكاس والإشعاع للسّطح.

19. ● تأتي حرارة البراكين والينابيع الطّبيعية الحارّة من كميات قليلة من المعادن المشعة في الصّخور داخل الأرض. لماذا لا تسخّن هذه الصّخور نفسها عند السّطح بمجرد اللمس؟

20. ♦ افترض أنّ مطعمًا يقدم القهوة قبل أن تكون جاهزةً لاحتسائها. حتى تكون أسخن ما يمكن حين تبدأ احتساءها، هل من الحكمة أن تضيف مبيض القهوة بمجرد تقديمها لك أم قبيل ذلك؟

21. ■ هل من المهم تحويل درجات الحرارة إلى مقياس كلفن عند تطبيق قانون نيوتن في التبريد؟ لماذا؟

22. ♦ إذا رغبت في توفير الوقود، وإبقاء بيتك دافئًا مدة نصف ساعة أو أكثر في يوم بارد جدًّا، فهل تلجأ إلى إدارة منظم درجة الحرارة عدة درجات حرارة إلى الأقل، أم بإطفائه بالكامل، أم أنّك ستبقيه عند درجة حرارة الغرفة التي تريد؟

23. ♦ إذا رغبت في توفير وقود، وإبقاء بيتك باردًا مدة نصف ساعة أطول في يوم حارّ جدًّا، فهل تدير منظم حرارة مكيف الهواء أعلى قليلًا، أم ستقوم بإطفائه، أم تتركه عند درجة الحرارة التي تريدها؟

24. ● لماذا تُطلى جدران البيوت الزجاجية المزروعة بالأزهار باللون الأبيض؟ هل تتوقع أنّ هذه الممارسة تكون أكثر انتشارًا في أشهر الصيف أم في أشهر الشتاء؟

25. ● إذا تغيرت تركيبة الغلاف الجوي في الطبقات العليا بحيث تسمح لكمية أكبر من الإشعاعات الأرضية بالنفاذ، فما أثر ذلك في مُناخ الأرض؟

26. ● يمكنك تحديد اتجاه الريح ببلّ إبهامك ورفعه في الهواء. فسّر.

27. ■ إذا كانت الجزيئات جميعها في السائل لها السرعة نفسها، وبعضها كان قادرًا على التبخر، فهل تبرد البقية؟ فسّر.

28. ■ من أين تأتي الطاقة التي تُبقي الطائر الغاطس يعمل في الشكل 26.7؟

29. ■ لماذا تغلّف مطرة الماء بقطعة قماش مبللة لكي تبقى باردة أكثر من وضعها في ماء بارد؟

30. ■ لماذا تنقص درجة حرارة غليان الماء عندما يكون الضغط منخفضًا، كما هو الحال في المناطق المرتفعة؟

31. ■ ضع كأسًا من الماء فوق حامل داخل قدر من الماء بحيث يكون أسفل الكأس فوق قاع القدر. عند وضع القدر في الفرن يغلي الماء في القدر، ولكن الماء في الكأس لا يغلي. لماذا؟

32. ● يغلي الماء آنيًّا على درجة حرارة الغرفة في الفراغ - على القمر مثلا. هل تستطيع سلق بيضة في هذا الماء؟ فسّر.

33. ● اقترح صديقك المخترع تصميمًا لأداة طهو تجعل حدوث الغليان عند درجة حرارة أقلّ من 100° س، بحيث يمكن الطهو بأقلّ استهلاك من الطاقة. علّق على هذه الفكرة.

34. ● عندما تسلق البطاطس، هل يقلّ وقت الطهو إذا استخدمت ماء يغلي بنار حامية أم بنار هادئة.

35. ■ لماذا يقلّل تغطية وعاء الماء زمن الغليان عند وضعه في الفرن، ولكن بعد الغليان، فإنّ وضع الغطاء يقلل من وقت الطهو نوعا ما؟

36. ■ في محطة الطاقة النووية للغواصة، تكون درجة حرارة الماء في المفاعل أعلى من 100° س. كيف يمكن ذلك؟

37. ■ أُخرجت قطعة من معدن وقطعة أخرى من خشب لهما الكتلة نفسها من فرن ساخن، وكلتاهما عند درجة الحرارة نفسها، وأسقطتا على قطع من الجليد. إذا علمت أنّ الحرارة النوعية للمعدن أقلّ مما لقطعة الخشب. فأيهما يذيب جليدًا أكثر قبل أن يصلا إلى درجة الصفر السيليزي؟

38. ■ لماذا يمنع وجود حوض من الماء في قبو المزارع الأطعمة المعلبة من التجمد؟

39. ■ لماذا يحمي رشُّ أشجار الفاكهة بالماء قبل الصقيع الفواكهَ من التجمد؟

40. ● لماذا يلهث الكلب؟

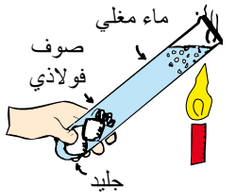
مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا علمت أنّ السّعة الحرارية النوعية للجليد هي 0.5 سعر/جم . °س. افترض أنها تبقى ثابتة إلى درجة الصفر المطلق. فأثبت أنّ الحرارة اللازمة لتحويل مكعب جليد كتلته 1 جم على درجة الصفر المطلق (-273°س) إلى 1 جم من الماء المغلي هو 320 سعرًا.
2. ● تعرضت قطعة من الجليد عند درجة 0° س لـ 10 جم من البخار عند درجة 100° س فذابت بالكامل. أثبت أنّ كتلة الجليد لا تزيد على 80 جم .
3. ■ أسقطت كرة من الجليد كتلتها 10 كجم على بلاط من ارتفاع 100° س. افترض أنّ نصف الحرارة المتولدة يستنفد في تسخين الكرة. أثبت أنّ درجة حرارة الكرة ترتفع بمقدار 1.1°س. بالوحدات الدولية (SI) السعة الحرارية النوعية للحديد هي 450 جول /كجم. °س. لماذا يكون الجواب واحدًا لأيّ كرة حديدية مهما كانت كتلتها.
4. ■ أسقطت قطعة من الجليد على درجة 0° س من ارتفاع ما بحيث ذابت بالكامل عند ارتطامها. افترض أنّ المقاومة معدومة. وأنّ الطاقة استنفدت جميعها لإذابة الجليد. برهن أنّ الارتفاع اللازم ليحدث ذلك هو 34 كم على الأقل. (مساعدة: ساوِ طاقة الوضع للجاذبية بالجول مع حاصل ضرب كتلة الجليد في حرارة انصهاره (بوحدات (SI) هي 335,000 جول/كجم). هل استنتجت لِمَ لا تعتمد الإجابة على الكتلة.
5. ■ صبّ 50 جم من الماء السّاخن عند درجة حرارة 80° س في وعاء يحتوي على قطعة جليد كبيرة على درجة 0° س. فأصبحت درجة الحرارة النهائية في الوعاء 0° س . أثبت أنّ كتلة الجليد التي انصهرت هي 50 جم .
6. ■ أسقطت قطعة من الحديد كتلتها 50 جم عند درجة حرارة 80° س على وعاء يحتوي قطعة كبيرة من الجليد على درجة 0° س. بين أنّ كتلة الجليد الذائبة هي 5.5 جم (سعة الحرارة النوعية للحديد هي 0.11 سعر/جم . س°).
7. ■ حرارة التبخير لإيثيل الكحول تبلغ نحو 200 سعر/جم. بيّن أنه إذا سمح لـ 2 كجم من هذه المادة المبرَّدة بالتبخير في الثلاجة. فإنها تحوّل 5 كجم من الماء إلى جليد على درجة 0° س.

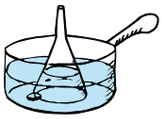
أنشطة استكشافية

1. إذا كنت تسكن في منطقة بها ثلج. فافعل مثلما فعل بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin) قبل 200 عام: ضع عينة من قطعة قماش سوداء خفيفة فوق الثلج. ولاحظ الفرق بين معدل انصهار الجليد تحت قطعة القماش.
2. أمسك أنبوب اختبار معبأ بماء بارد بيديك من أسفله. سخّن الطّرف العلوي بلهب حتى يغلي الماء. حقيقة أنك ما زلت تمسك بالأنبوب من أسفله يدلّ على أنّ الماء ضعيف التوصيل للحرارة. ويصبح الأمر أكثر تشويقًا عند استخدامك لسلك المواعين (الصوف الفولاذي) كإسفين لقطع الجليد في القاع. وحينها سيغلي الماء دون انصهار الجليد. جرِّب وانظر.

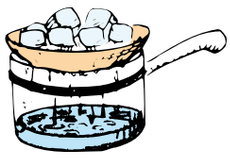


3. لفّ قطعة ورق حول قضيب حديد وضعه فوق لهب. لاحظ أنّ الورق لا يحترق. هل تستطيع تفسير السبب؟ (الورق لا يشتعل حتى تصل درجة حرارته إلى 235°س).

4. ضع قمعًا من البايركس بشكل مقلوب في وعاء مليء بالماء بحيث يبقى أنبوب القمع المستقيم فوق الماء. ضع أسفل القمع مسمارًا أو قطعة نقود بحيث يمكن للماء أن يدخل إلى القمع. ضع الوعاء في فرن. وراقب الماء حين يبدأ الغليان. من أين تبدأ الفقاقيع أوّلًا؟ لماذا؟ عندما ترتفع الفقاقيع. تتمدد بسرعة وتدفع الماء الموجود أمامها. يحصر القمع الماء. والذي يدفع من خلال الأنبوب ويطرد من الأعلى. والآن. هل تعلم كيف تعمل آلة صنع القهوة؟



5. راقب فوهة إبريق الشاي الأمامية عندما يغلي. لاحظ أنه لا يمكنك رؤية البخار من خلالها. إنّ الغيمة التي تراها بعيدًا عنها ليست بخارًا. ولكنها قطرات ماء مكثفة. والآن. ضع لهب شمعة في غيمة البخار المتكثف. هل يمكنك تفسير ملاحظاتك؟
6. يمكنك عمل مطر داخل مطبخك. ضع كأسًا من الماء في وعاء زجاجيّ مقاوم للحرارة. وسخنه ببطء فوق نار هادئة. عندما يسخن الماء. ضعه في طبق مليء بمكعبات جليد فوق وعاء. عندما يسخن الماء من تحتها تتكون القطرات في أسفل الطبق البارد وتتمدد حتى تصبح كبيرة وتسقط. منتجةً "مطرًا" منتظمًا حين يسخن الماء من أسفلها. ما أوجه الشبه والاختلاف بين هذا والمطر الطبيعيّ ؟



7. قِسْ درجة حرارة ماء يغلي. وكذلك درجة حرارة محلول من ماء وملح يغلي. كيف تقارن بين درجتي حرارتهما؟
8. إذا وضعت وعاءً غير مغطى من الماء في حوض مسطح من الماء المغلي. ويكون أعلاه فوق الماء المغلي. فإنّ الماء في الوعاء الداخلي يصل إلى درجة حرارة 100° س ولكنه لا يغلي. فسّر.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة على الأقل من 10 في هذا الامتحان. أما إن لم تتمكن من ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الجواب الأفضل لكلّ ما يلي:

1. يعتمد الشّخص الذي يمشي على الفحم الخشبي الحارّ حافيًا على أنّ الخشب
أ. موصل جيد.
ب. ضعيف التوصيل.
ج. ذو سعة حرارية نوعية قليلة.
د. ذو إشعاع منخفض.
2. يرتبط الحمل الحراري غالبا بـ:
أ. الطاقة الإشعاعية.
ب. الموائع.
ج. العوازل.
د. جميع ما ذكر.
3. عادة، عندما يتمدد الهواء بسرعة فإنّ درجة حرارته:
أ. تزداد.
ب. تنقص.
ج. تبقى ثابتة.
د. لا تتأثر ولكن ليس دائمًا.
4. المصدر الذي درجة حرارته عالية يشعّ نسبيًّا:
أ. أمواجًا قصيرة.
ب. أمواجًا طويلة.
ج. إشعاعات منخفضة التردد.
د. لا شيء مما ذكر.
5. النجم الذي له درجة حرارة أعلى هو:
أ. الأحمر السّاخن.
ب. الأبيض السّاخن.
ج. الأزرق السّاخن.
د. لا توجد معلومات كافية.
6. بالمقارنة بالإشعاعات من الشّمس فإنّ للإشعاعات الأرضية:
أ. أمواجًا أطول.
ب. ترددات أقلّ.
ج. (أ+ب)
د. لا شيء مما ذكر.
7. إنّ أصلَ أغلب الطاقة الحرارية في داخل الأرض هو:
أ. الضغوط العالية.
ب. الموصلية الحرارية المنخفضة للصخور.
ج. الطاقة الإشعاعية المحبوسة.
د. الانحلال الإشعاعيّ.
8. في المحصلة، تعدّ البيتزا السّاخنة الموضوعة على الثّلج:
أ. ماصَّة.
ب. باعثة.
ج. (أ+ب).
د. لا شيء مما ذكر.
9. عندما يغير السّائل طوره للغاز فهو:
أ. يمتص طاقة.
ب. يبث طاقة.
ج. لا يمتص طاقة ولا يبثها.
د. يصبح أكثر موصلية.
10. عندما يقترب السّائل من الغليان فإنّ هذه العملية تعمل على:
أ. مقاومة التغير الزائد للطّور.
ب. تسخين السّائل.
ج. تبريد السّائل.
د. إشعاع طاقة من النّظام.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1ب، 2ج، 3ج، 4أ، 5ج، 6ج، 7ب، 8ج، 9أ، 10ج

الفصل 7 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 7.13

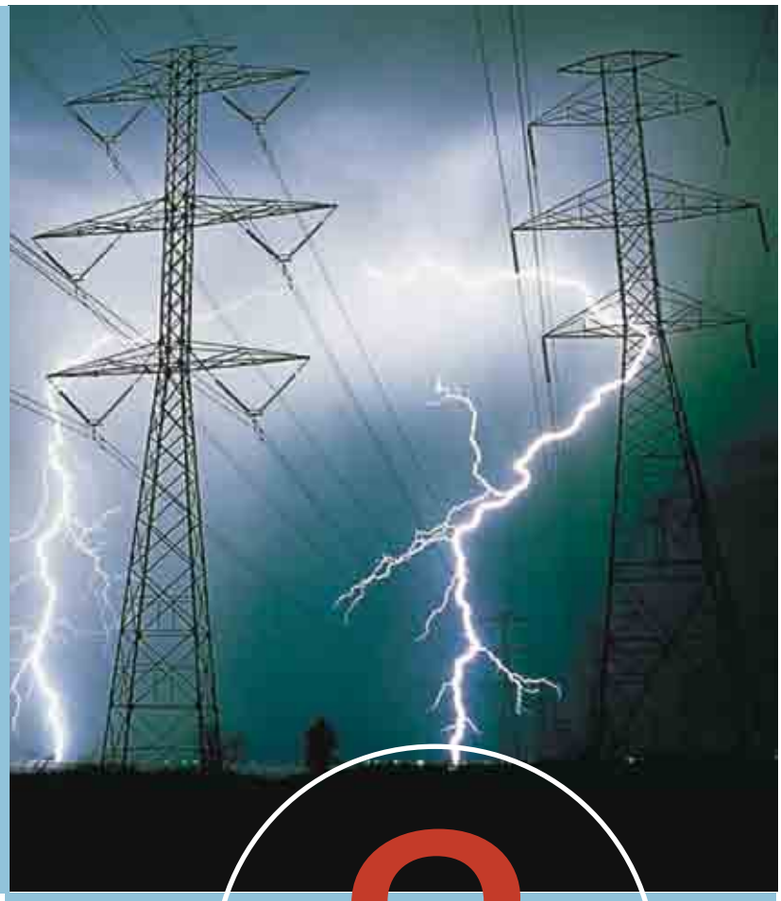
أشرطة فيديو

- سر المشي فوق الفحم الساخن
- الهواء موصل ضعيف
- التكثيف عملية تدفئة وتسخين
- الغليان عملية تبريد
- طنجرة الضغط: غليان وتجمد في ذات الوقت

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



الكهرباء السّاكنة والتّيّار الكهربائيّ

8

■ توجد الكهرباء في كلّ مكان، بما في ذلك البرق في السّماء، والبطاريات التي تشغّل جهازك الموسيقي. تتطلب دراسة الكهرباء وفهمها نهجًا تدريجيًّا؛ لأنّ المفاهيم المتضمّنة فيها تراكميةٌ ينبني بعضها على بعض. لقد كان هذا حالنا في دراسة الفيزياء الآن، وهناك المزيد لاحقًا. لذا، عليك أن تكون حريصًا في دراسة هذه المادة. وقد تكون المهمة صعبًة، ومربكة، ومحبطة إذا كانت متسرّعة. ولكن بجهد واعٍ، يمكن أن تكون مفهومة ومفيدة. وسنبدأ بالكهرباء السّاكنة، أي الكهرباء عند السّكون، وننهي الفصل بالتّيّار الكهربائيّ.

1.8 الشّحنة الكهربائيّة

2.8 قانون كولوم

3.8 المجال الكهربائيّ

4.8 الجهد الكهربائيّ

5.8 مصادر الجهد

6.8 التّيّار الكهربائيّ

7.8 المقاومة الكهربائيّة

8.8 قانون أوم

9.8 الدّارات الكهربائيّة

10.8 القدرة الكهربائيّة

1.8 الشّحنة الكهربائيّة

جرّب ما يلي: اربط خيطًا حول منتصف قشّة بلاستيكية. ثم علّق القشّة بالخيط. ادلك نصف القشّة بقطعة صوف. إذا دلكت قشّة أخرى بالصّوف ثم قرّبت نهايتي القشتين المدلوكتين إحداهما من الأخرى، فسوف تتنافران.

وإذا دلكت بدلًا من ذلك أنبوب اختبار زجاجيًّا بالحرير، وقرّبت الزّجاج المدلوك من القشّة المعلقة، فإنّ أطرافهما تتجاذب. وإذا استبدلت القشّة المعلقة بأنبوب الاختبار الزّجاجيّ، ثم دلكت أنبوب اختبار زجاجيّ آخر بالحرير، فإنّ طرفي الأنبوبين تتنافران.

إنّ مقدرة القشتين البلاستيكيتين المدلوكتين، وكذلك أنبوبا الاختبار المدلوكين على التأثر بقوة عبر الفضاء يعود إلى خاصية تسمّى *الشّحنة* الكهربائيّة. ويبدو هذا كسحر، ولكنه ليس أكثر (أو أقلّ!) سحرًا من قدرة الكتل على التأثير بقوى جاذبية بعضها في بعض خلال الفضاء.

أجرى عالم أميركا العظيم الأول، بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin)، قبل 200 سنة، تجارب مشابهة لما سبق، ووضع الفرضيات التّالية:

1. لكلّ مادة متعادلة (غير مشحونة) مستوى مناسب من المائع الكهربائيّ.
2. يؤدي دلك مادتين إحداهما بالأخرى إلى انتقال "المائع الكهربائيّ" من إحداهما إلى الأخرى.
3. إذا كسب جسم ما مائعًا كهربائيًّا، يصبح موجب الشّحنة من المائع الكهربائيّ. وبالمثل، إذا فقد جسم ما مائعًا كهربائيًا، يصبح سالب الشّحنة من المائع الكهربائيّ.

لم يستطع فرانكلين رؤية المائع المنتقل عند دلك الزّجاج بالحرير. وقرّر تسمية الزّجاج موجب الشّحنة، وهذا يعني أنّ الحرير سالب الشّحنة لأنه فقد مائعًا كهربائيًّا إلى الزجاج. وعليه فإنّ الصوف موجب الشّحنة، أما البلاستيك فسالب الشّحنة، في المثال المذكور.

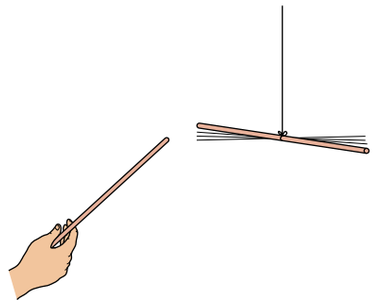
حين يتم تعيين هذه الشّحنات، يمكننا رؤية أعظم قاعدة أساسية في السّلوك الكهربائيّ:

الشّحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

تنشأ القوى الكهربائيّة عن جسيمات في الذرّة. في النموذج البسيط المقترح في أوائل عام 1900م على يد إرنست رذرفورد (Ernest Rutherford) ونيلز بور (Niels Bohr)، تحاط النواة الموجبة الشّحنة بإلكترونات سالبة الشّحنة (الشّكل 2.8). تجذب النواة الإلكترونات وتمسكها في مدار، كإمساك الشّمس بالكواكب في المدار. ولكن الفارق أنّ الإلكترونات تتنافر مع الإلكترونات الأخرى (أما قوى الجاذبية فتجذب فقط).

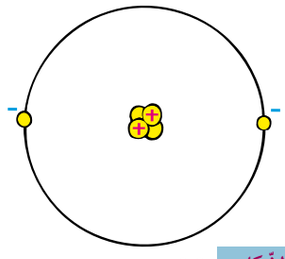
نورد هنا بعض الحقائق المهمة حول الذرات:

1. لكلّ ذرة نواة موجبة الشّحنة محاطة بإلكترونات سالبة الشّحنة.
2. الإلكترونات جميعها متماثلة، أي أنّ كل واحد له الكتلة نفسها، أي كمية الشّحنة السّالبة نفسها مثل أيّ إلكترون آخر.
3. تتكون النواة من بروتونات ونيوترونات. (نواة الهيدروجين العادية هي الاستثناء الوحيد لأنّها لا تحتوي على نيوترونات). البروتونات جميعها متماثلة وهي موجبة الشّحنة، وبالمثل، فإنّ النيوترونات جميعها متماثلة أيضًا. وتبلغ كتلة البروتون 2000 مرة كتلة الإلكترون تقريبًا، ولكن شحنته الموجبة تساوي مقدار الشّحنة السّالبة للإلكترون نفسها. وللنيوترون كتلة أكبر قليلًا من كتلة البروتون، وليس له شحنة.



الشّكل 1.8
قشة بلاستيكية مدلوكة بالصّوف معلقة بخيط.، عند تقريب قشّة صوف أخرى مدلوكة منها فإنّ القشتين تتنافران.

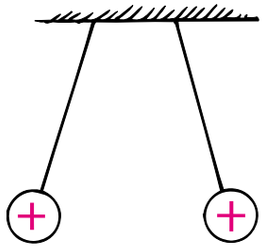
الشّحنة كعصاة المارشال في سباق الأفراس؛ قد تنتقل من جسم إلى آخر ولكنها لا تضيع.



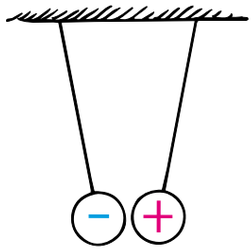
الشّكل 2.8
نموذج ذرة الهيليوم. تتكون النواة الذرية من بروتونين ونيوترونين. يجذب البروتونان الموجبا الشّحنة الإلكترونين السالبي الشّحنة. ما الشّحنة الصافية لهذه الذرة؟

4. في العادة، يكون عدد الإلكترونات مساويًا لعدد البروتونات في الذرات. لذا، فإنّ الشّحنة الصافية للذرة تساوي صفرًا.

لماذا تتنافر الإلكترونات معًا، وتتجاذب مع البروتونات؟ وهذا أعلى من مستوى هذا الكتاب. ولكن في حدود فهمنا الحالي، نقول: ببساطة هكذا وجدنا الطبيعة - إنّ هذا السلوك الكهربائيّ أساسيّ، أو جوهري.



(أ)



(ب)

الشّكل 3.8

(أ) الشّحنات المتشابهة تتنافر. (ب) الشّحنات المختلفة تتجاذب.

■ **نقطة فحص**

1. خلف تعقيدات الظاهرة الكهربائيّة، هناك قاعدة أساسية تنشأ منها الآثار الكهربائيّة جميعها . ما هذه القاعدة الأساسية؟
2. كيف تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

1. الشّحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.
2. شحنات هذه الجسيمات متساوية في المقدار، ومختلفة في النوع.

حفظ الشّحنة

للإلكترونات والبروتونات شحنة كهربائية. في الذرة المتعادلة، يكون عدد الإلكترونات مساويًا لعدد البروتونات، لذا ليس لها شحنة صافية. تتعادل الشّحنة الكلية الموجبة تمامًا مع الشّحنة الكلية السّالبة. وإذا تم انتزاع إلكترون من الذرة، فلا تعود الذرة متعادلة، ويصبح للذرة شحنة موجبة إضافية (بروتون) أكثر من الشّحنة السّالبة (بمقدار الإلكترون). لذا فهي موجبة الشّحنة.

تسمى الذّرة المشحونة *أيونًا*. ويكون للأيون *الموجب* شحنة كهربائية صافية موجبة لأنها فقدت واحدًا أو أكثر من الإلكترونات. أما الأيون *السالب*، فيكون له شحنة سالبة صافية لأنه كسب واحدًا أو أكثر من الإلكترونات الإضافية.

تتكون المادة من ذرات، وتتكون الذرات من إلكترونات وبروتونات (ونيوترونات أيضًا). أي جسم له العدد نفسه من الإلكترونات والبروتونات ليس له شحنة كهربائية صافية. ولكن إذا لم تكن الأعداد متساوية، فسيكون الجسم مشحونًا كهربائيًّا. ويعزى عدم التساوي إلى إضافة إلكترونات أو انتزاعها.

وعلى الرّغم من أنّ الإلكترونات الأعمق في الذرة مقيدة بشده بالشّحنات الموجبة في النواة الذرية، فإنّ الإلكترونات الأبعد للعديد من الذرات تكون غير مقيدة تمامًا، ويمكن نزعها بسهولة. ما الطّاقة اللازمة لفصل إلكترون بعيدًا عن الذرة؟ تختلف هذه الحسابات باختلاف المواد. فمثلا، الإلكترونات مقيدة بشدة في المطاط أو البلاستيك أكثر منها في الصوف أو الحرير. وعليه، فعند دلْك قشّة بلاستيكية بقطعه من الصوف تنتقل الإلكترونات من الصوف إلى القشّة البلاستيكية، ويصبح لدى البلاستيك إلكترونات إضافية، ويصبح سالب الشّحنة. وفي المقابل، يصبح هناك نقص عند الصوف في الإلكترونات، ويكون موجب الشّحنة. وإذا دلكت قضيبًا من البلاستيك أو الزجاج بالحرير فستجد أنّ القضيب أصبح موجب الشّحنة؛ فالحرير يتمسك بالإلكترونات أكثر من تمسك الزجاج أو البلاستيك. وتنزع الإلكترونات من القضيب إلى الحرير. ومما سبق نخلص إلى أنّ:

الجسم الذي لديه أعداد غير متساوية من الإلكترونات والبروتونات يكون مشحونًا كهربائيًّا. وإذا كان لديه إلكترونات أكثر من البروتونات، كان سالب الشّحنة. أما إذا كان لديه إلكترونات أقلّ من البروتونات، فيكون موجب الشّحنة.

الشّكل 4.8

عند دلك قضيب مطاطي بالفرو، تنتقل الإلكترونات من الفرو إلى القضيب. ويصبح القضيب سالب الشّحنة. هل الفرو مشحون؟ ما مقدار الشّحنة مقارنة بشحنة القضيب؟ هل هي موجبة أم سالبة؟

لم يفسر فرانكلين انتقال الشّحنات بدلالة انتقال الإلكترونات؛ لأن الإلكترونات لم تكن معروفة آنذاك. وقد ثبت لاحقًا، وجد أنه لا يمكن إفناء الإلكترونات أو استحداثها، وإنما تنتقل من مادة إلى أخرى؛ الشّحنة محفوظة. وينطبق مبدأ حفظ الشّحنة هذا على كلّ حدث سواء كان على مستوى كبير، أم على المستوى الذري، أم على المستوى النووي. ولا توجد حالة حتى الآن تم فيها استحداث شحنة كهربائية صافية أو إفناؤها.

إنّ مبدأ حفظ الشّحنة هو حجر زاوية في الفيزياء، بالمستوى نفسه لحفظ الطّاقة والزخم.

يكون لأيّ جسم مشحون كهربائيًّا زيادة أو نقص بعدد صحيح معين من الإلكترونات؛ لا يمكن تقسيم الإلكترون إلى أجزاء من الإلكترونات. وهذا يعني أنّ شحنة الجسم هي عدد صحيح من مضاعفات شحنة الإلكترون. ولا يمكن أن يكون لجسم شحنة 1.5 أو 1000.5 إلكترون مثلا. حتى هذا التاريخ، تدل القياسات جميعها على أنّ للأجسام شحنة، هي عدد صحيح مضاعف لشحنة الإلكترون المفرد.

يعدّ حفظ الشّحنة مبدأ آخر من مبادئ الحفظ. تذكر من الفصول السابقة حفظ كلّ من الزخم والطّاقة.

■ **نقطة فحص**

إذا سحبت إلكترونًا واحدًا إلى حذائك عندما كنت تمشي على سجادة، فما شحنتك: سالبة أم موجبة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما يزحف حذاؤك المطاطيّ أو البلاستيكي على السّجادة فإنه يلتقط الإلكترونات منها بالطريقة نفسها التي تشحن قضيب المطاط عند دلكه بالقماش. فيصبح عندك مزيد من الإلكترونات وانت تسحب حذاءك، لذا تكون مشحونًا بشحنة سالبة (السّجاد موجب الشّحنة).

الشّكل 5.8

لماذا تصيبك صدمة خفيفة من مقبض الباب بعد أن تمشي فوق السجاد؟

تكنولوجيا الإلكترونيات والشرر

يمكن أن تكون الشّحنة الكهربائيّة خطرة. في مئتي سنة الماضية، كان الشّباب الذين يسمون قردة المسحوق يركضون حفاة القدمين تحت سطح السفينة الحربية ليجلبوا أكياس البارود إلى المدافع في الأعلى. لقد كانت تعليمات السفن أن يتم هذا العمل بأقدام حافية. لماذا؟ بسبب أهمية عدم تراكم الشّحنات السّاكنة على المسحوق الذي على أجسامهم عندما يركضون ذهابًا وإيابًا. يدلك الحافي القدمين سطح السفينة على نحو أقلّ من الآخرين. وهذا بدوره يضمن عدم تراكم الشّحنة التي يمكن أن تنتج شعلة شرارة تؤدي إلى انفجار. وهذا بدوره يضمن عدم تراكم الشّحنة التي قد تنتج شعلة شرارة تؤدي إلى انفجار. سطح السفينة على نحو أقلّ من الآخرين. وهذا بدوره يضمن عدم تراكم الشّحنة التي قد تنتج شعلة شرارة تؤدي إلى انفجار. وتعدّ الشّحنة السّاكنة خطرًا في العديد من المصانع اليوم، ليس بسبب الانفجارات، ولكن بسبب احتمال تدمير الدوائر الإلكترونية الدقيقة بالشّحنات السّاكنة. بعض مكونات الدائرة تكون حسّاسة بما يكفي "لتشوى" بالشرر من الكهرباء السّاكنة. يلبس فنيّو الإلكترونيات غالبًا ملابس خاصة مع أسلاك موصولة بالأرض بين الأكمام والأحذية. كما أنّ بعضهم كان يلبس معاصم قمصان خاصة، تتصل بسطح الارض لكي لا تتجمع الشّحنات السّاكنة؛ كأن يتحرك كرسيّ، مثلا. وكلما صغرت الدائرة الكهربائيّة زاد خطر الشرر الذي يمكن أن يقصر دائرة عناصر الدائرة.

لمعلوماتك

■ تعدّ الكهرباء السّاكنة مشكلة عند مضخات الجازولين. حتى أصغر الشرر يمكن أن يشعل البخار القادم من الجازولين، ويتسبب في حريق مميت غالبًا. لذا، فإنّ الإجراء المناسب لتفادي الخطر هو لمس فلزّ، وتفريغ الشّحنة السّاكنة من الجسم قبل تعبئة الوقود. إضافة إلى عدم استخدام جهاز الهاتف المحمول عند التعبئة.

■ 2.8 قانون كولوم

إنّ القوة الكهربائيّة كقوة الجاذبية؛ تتناقص عكسيًا مع مربع البعد بين الشّحنات. وتسمى هذه العلاقة التي اكتشفت في القرن الثامن عشر، على يد شارلز كولوم (Charles Coulomb) **قانون كولوم**. ينصّ هذا القانون على أنّ أيّ جسمين مشحونين، واللذين تكون أبعادهما أصغر كثيرًا من البعد بينهما، تتغير القوة بينهما مباشرة مع حاصل ضرب شحنتيهما، وعكسيًا مع مربع البعد بينهما. تؤثر هذه القوة في خطوط مستقيمة من إحدى الشحنتين إلى الأخرى. ويمكن التعبير عن قانون كولوم كالآتي:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

حيث d هي المسافة بين الجسيمات المشحونة، أما q_1 فكمية الشّحنة على الجسيم الأول، في حين تشير q_2 إلى كمية الشّحنة على الجسيم الثاني، و k هو ثابت التناسب.

تحتوي قطعة نقدية عادية على 10^{24} إلكترون تقريبًا، وجميعها تتنافر معًا. لماذا لا تنبعث هذه الإلكترونات من القطعة النقدية الفلزّيّة؟

الأساور المؤينة؛ علم أم ادعاء كاذب؟

تدل الاستطلاعات أن معظم الأميركيين يعتقدون أن الأساور المؤينة يمكن أن تخفف آلام العضلات والمفاصل. يدعي المصنعون أن الأساور المؤينة تخفف من الآلام. هل هم على حق؟ لقد تم فحص هذا الادعاء في عام 2002م، من قبل باحثين في مايوكلينك Mayo Clinic في جاكسون فيل، بفلوريدا/ الولايات المتحدة، حيث طلب إلى 305 مرضى عشوائيًّا أن يلبسوا الأساور المؤينة لمدة 28 يومًا وطلب إلى 305 مرضى آخرين أن يلبسوا أساور مشابهة وهمية للمدة نفسها. كان المتطوعون للدراسة من الذكور والإناث تتراوح أعمارهم بين 18 عامًا وآخرين كبار كانوا يشكون من ألم في بداية الدراسة.

لم يعلم الباحثون وكذلك المشتركون أي المتطوعين لبس الأساور المؤينة وأيهم لبس الأساور المقلدة. كان النوعين متماثلين في المظهر، ومن المصنع نفسه، وتم ارتداؤها بحسب توصيات المصنع. من المدهش أن كلتا المجموعتين أبدت راحة كبيرة من الألم، ولم يوجد أي فرق في المجموعتين في مقدار الراحة من الألم بين المجموعتين. من الواضح أن الاعتقاد بأن الأساور تزيل الألم تفعل فعلها!

من المهم معرفة أنه عندما يتوقع الشخص الخلاص من الألم فإن الدماغ يبدأ في إنتاج الإندروفينان (endorphins) (وهذه ترتبط بمواقع مستقبلات المسكنات (التحذير). إن أثر الدواء الوهمي حقيقي، ويمكن قياسه عن طريق فحص الدم. وبهذا يصدق القول المأثور بأنه حينما تتمنى شيئًا بهوس يجعلك تؤمن بأنه حقيقة. ولكن هذا لا صلة له بالفيزياء أو الكيمياء أو التفاعلات الحيوية مع السوار. وهكذا يمكن تصنيف الأساور المؤينة إلى أجهزة العلم الوهمي (الكاذب)؟ في أي مجتمع تنتشر فيه الشعوذة أكثر من اعتماده على العلم، يصبح العلم الكاذب تجارة رائجة.

تسمى وحدة الشّحنات **الكولوم**، ويرمز إليها بـ C. وتبين أنّ شحنة مقدارها 1 كولوم تساوي 6.25 بليون بليون إلكترون. ويبدو هذا عددًا ضخمًا من الإلكترونات. ولكنه يمثل كمية الشّحنة التي تنساب عبر مصباح كهربائي 100- واط في أقلّ من ثانية.

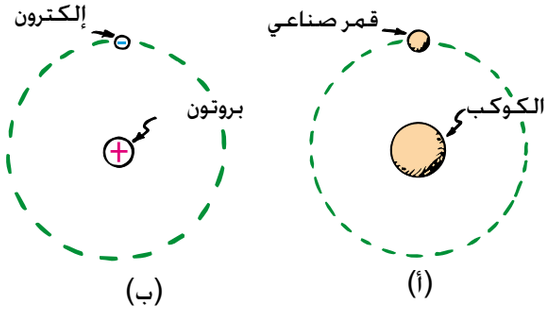
يشبه ثابتُ التناسبِ (k) في قانون كولوم ثابتَ التناسبِ (G) في قانون نيوتن للجاذبية. وبدل أن يكون رقمًا صغيرًا مثل G، فإنّ k عدد كبير، تقريبًا

$$k = 9{,}000{,}000{,}000\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

وبالرموز العلمية، $k=9.0\times10^9\text{N.m}^2/\text{C}^2$. إنّ الوحدة $\text{N.m}^2/\text{C}^2$ ليست مركزية في اهتمامنا هنا. إنها ببساطة تحويل الجانب الأيمن من المعادلة إلى وحدة القوة، النيوتن (N). المهم هو كبر مقدار k. مثلًا، إذا كان زوج من الشّحنات المتشابهة بمقدار 1 كولوم لكلّ منهما، وعلى بعد 1م إحداهما من الأخرى، فإنّ قوة التنافر بينهما تكون 9 بلايين نيوتن.*

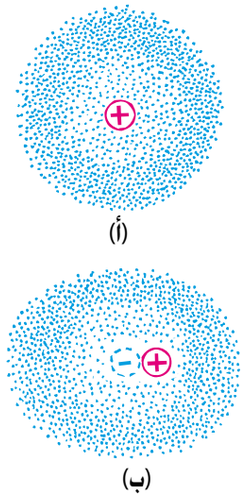
ويعادل هذا الرقم 10 أضعاف وزن سفينة حربية! لذا من الواضح أنّ شحنة صافية مقدارها 1 كولوم لا وجود لها في بيئتنا اليومية.

وهكذا، فإنّ قانون نيوتن للجاذبية بين الكتل يشبه قانون كولوم للأجسام المشحونة كهربائيًّا. إنّ الفرق المهم بينهما هو أنّ القوى الكهربائيّة تكون جاذبًا أو تنافرًا، أما قوى الجاذبية فهي جاذب دائمًا. إنّ قانون كولوم هو الأساس في قوى الربط بين الجزيئات والتي تعدّ أساسية في الكيمياء.



الشّكل 6.8
(أ) تمسك قوة الجاذبية القمر الصناعي في المدار حول الكوكب. (ب) تمسك القوة الكهربائيّة الإلكترون في مدار حول البروتون. لا يوجد تماس بين الأجسام في كلتا الحالتين. نقول إنّ الأجسام الدائرة تتفاعل مع مجالات القوة في الكوكب والبروتون وهي في كلّ مكان في تماس مع هذه المجالات. وهكذا، فإنّ القوة التي تؤثر بها شحنة كهربائية في شحنة أخرى يمكن وصفها بأنها تفاعل بين الشّحنة والمجال الناتج عن الشّحنة الأخرى.

* في المقابل، فإنّ قوة الجاذبية بين كتلتين مقدار كلّ منهما 1 كجم تفصلهما مسافة 1م هي 6.67×10^{-11} نيوتن. وهذه قوة متناهية في الصغر. تصبح القوة 1 نيوتن، بين كتلتين متساويتين مقدار كلّ منها 123,000 كجم، وتفصلهما مسافة 1م! تكون قوى الجاذبية بين الأجسام العادية متناهية في الصغر، والفروق في القوى الكهربائيّة بين الأجسام العادية يمكن أن تكون ضخمة للغاية. ونحن لا نحس بوجودها؛ لأنّ كلًّا من الشّحنات الموجبة والسّالبة متعادلة. وحتى الأجسام العالية الشّحنة، فانّ الفرق بين شحنات الإلكترونات والبروتونات يكون أقلّ من تريليون تريليون من الكولوم.



الشّكل 7.8

(أ) يتطابق المركز السالب «لغيمة» الإلكترونات مع مركز النواة الموجبة في الذرة. (ب) عند تقريب شحنة خارجية سالبة إلى اليمين، كما هي على البالون المشحون، تتشوه غيمة الإلكترونات بحيث لا تصبح مراكز الشّحنة الموجبة والسّالبة متطابقة. وتصبح الذرة مستقطبة كهربائيًا.

■ **نقطة فحص**

1. البروتون هو نواة ذرة الهيدروجين، وهو يجذب الإلكترون الذي يدور حوله. هل يجذب الإلكترونُ البروتونَ بقوة أقلّ، أم بقوة أكبر، أم بالمقدار نفسه التي يجذب البروتون الإلكترون؟
2. إذا تنافر بروتون على مسافة معينة مع جسم مشحون بقوة معينة، فكم تنقص هذه القوة عند إبعاد البروتون إلى: 1- ثلاثة أضعاف المسافة الأصلية من الجسم؟ 2- خمسة أضعاف المسافة؟
3. ما إشارة شحنة الجسم في هذه الحالة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كمية القوة نفسها، بحسب قانون نيوتن الثالث – الميكانيكا الأساسية! تذكر أنّ القوةَ تفاعلٌ بين شيئين؛ في هذه الحالة بين البروتون والإلكترون. حيث يجذب أحدهما الآخر بالقوة نفسها.
2. بحسب قانون التربيع العكسي، عند ثلاثة أضعاف البعد، تنقص القوة إلى $\left(\frac{1}{9}\right)$ قيمتها الأصلية. وعند خمسة أضعاف البعد الأصلي، تتناقص القوة إلى $\left(\frac{1}{25}\right)$ من قيمتها الأصلية.
3. موجبة.

استقطاب الشّحنة

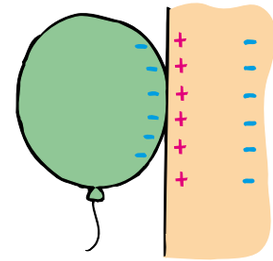
إذا شحنت بالونًا منفوخًا بدلكه بشعر رأسك، ثم وضعته ملامسًا لجدار، فإنه سيلتصق. يحدث هذا بسبب أنّ الشّحنة على البالون تغير توزيع الشّحنة للذرات أو الجزيئات في الجدار. وتُستحث بفاعلية شحنة معاكسة على الجدار. لا تستطيع الجزيئات الحركة من مواقعها المستقرة، ولكن "مراكز الشّحنة" فيها هي التي تتحرك. ينجذب الجزء الموجب من الذرة أو الجزيء (الشّكل 7.8). ويقال إنّ الذرة أو الجزيء **مستقطب كهربائيًا (Electrically Polarized)**. وسنرى في الجزء الثاني أنّ الاستقطاب يقوم بدور مهم في الكيمياء

■ **نقطة فحص**

تعلم أنّ البالون المدلوك في شعرك يلتصق بالجدار. للمداعبة؛ هل يلتصق رأسك المشحون بشحنة معاكسة بالجدار؟

هل كان هذا جوابك؟

لا، إلا إذا كان معبأ بالهواء (رأس كتلته نحو كتلة البالون المنفوخ بالهواء). إنّ القوة التي تجذب البالون إلى الجدار لا يمكنها أن تتحمل رأسك لأنه ثقيل.



الشّكل 8.8

يستقطب البالون المشحون سلبيًّا الجزيئات في الجدار الخشبي، ويجعل سطحه موجب الشّحنة، ويلتصق البالون بالجدار.

■ 3.8 المجال الكهربائيّ

تشبه القوى الكهربائيّة، قوى الجاذبية، في أنها تؤثر بين الأشياء التي لا تكون على تماس معًا، لأنّ كلًّا من الكهرباء والجاذبية تتشابه في وجود مجال قوه يؤثر في الشّحنات والكتل البعيدة. وتتغير خصائص الفضاء المحيط لأيّ كتلة بطريقة ما بحيث إنّ إدخال كتلة أخرى للمنطقة يجعلها تتأثر بقوة. يسمى هذا «التغير في الفضاء» *بالمجال الجاذبيّ*. ويمكننا التفكير في أيّ كتلة أخرى وكأنها تتفاعل مع المجال وليس مباشرة مع الكتلة التي أنتجته. مثلًا، عندما تسقط تفاحة عن الشجرة، نقول إنها تتفاعل مع كتلة الأرض. ولكن يمكننا التفكير أيضًا في أنها تتفاعل مع المجال الجاذبي للأرض. من المعتاد أن نفكر في الصواريخ والأشياء المشابهة على أنها متفاعلة مع المجالات الجاذبية.

فرن الأمواج الدقيقة (الميكروويف)

تخيل محتوىً مليئًا بكرات تنس الطاولة بين عدة مضارب في حالة سكون. والآن تخيّل أنّ المضارب دارت فجأة إلى الأمام وإلى الخلف، ضاربة كرات التنس المجاورة. غالبًا ما تزود الكرات في الحال بالطّاقة، وتبدأ في الاهتزاز في الاتجاهات جميعها. إنّ فرن الأمواج الدقيقة يعمل بطريقة مشابهة. المضارب هنا هي جزيئات الماء التي تدور في الاتجاهات جميعها بإيقاع مع الموجات الدقيقة في المحتوى. وكرات التنس هي الجزيئات الأخرى التي تشكل جسم المادة التي تُطبخ.

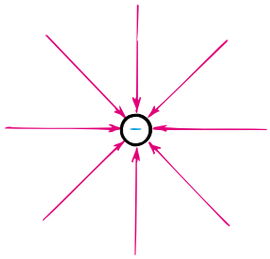
جزيئات الماء مستقطبة كهربائيًّا بشحنات متعاكسة على الجوانب المتقابلة. وعند تسليط مجال كهربائيّ عليها، تصطف مع المجال كما تصطف إبرة البوصلة في المجال المغناطيسيّ. عندما يجعل المجال يهتز، تهتز جزيئات الماء أيضًا — وتكون طاقتها عالية عندما يتساوى تردد الموجات مع تردد الدوران الطبيعي للماء. لذا، يُطهى الطعام بتحويل جزيئات الماء إلى مصادر طاقة قافزة، تنقل الحركة الحرارية إلى جزيئات الطعام المحيط. ومن دون الجزيئات القطبية في الطعام، فإنّ فرن الموجات الدقيقة لا يقوم بعمله. ولهذا السبب تمرّ الأمواج الدقيقة من خلال الزّغوة، أو الورق، أو صفائح السّيراميك، وتنعكس عن الفلزات دون أيّ أثر. ولكنها تزود جزيئات الماء بالطّاقة.

ملحوظة: يجب الحذر من غلي الماء في فرن الأمواج الدقيقة. أحيانًا، يسخن الماء أسرع من تكوُّن الفقاعات. لذا يسخن الماء أكثر من درجة غليانه؛ يصبح شديد السّخونة. إذا ضخّ الماء أو صبّ قليلًا، فسيؤدي هذا إلى تشكّل الفقاعات بسرعة، حيث تطرد الماء الحار بعنف من الوعاء الذي يحتويها. هناك أكثر من شخص أصيب وجهه بسبب اندفاع الماء.

بدلًا من أجسام مولِّدة للمجالات. يقوم المجال بدور الوسيط في القوى بين الأجسام. والأهم من ذلك، هو أنّ المجال يختزن الطّاقة. وبالتشابه مع مجال الجاذبية، فإنّ الفضاء حول الشّحنة الكهربائيّة يزود بالطّاقة من **المجال الكهربائيّ** - هالة من الطّاقة تنتشر في الفضاء.*

إذا وضعت جسيمًا مشحونًا في مجال كهربائيّ، فإنه يتأثر بقوة. يكون اتجاه القوة المؤثرة في شحنة موجبة هو اتجاه المجال نفسه. يمتد المجال الكهربائيّ حول البروتون قطريًّا من البرتون. ويكون المجال الكهربائيّ للإلكترون في الاتجاه المعاكس (الشّكل 9.8). كما هو الحال للقوة الكهربائيّة، يخضع المجال الكهربائيّ حول جسيم لقانون التربيع العكسيّ. ويبين الشّكل 10.8 بعض هيئات المجال الكهربائيّ. ويظهر الشّكل 11.8 صورًا فوتوغرافية لأنماط المجال. وبالمثل، فسوف نرى في الفصل اللاحق كيفية اصطفاف حبيبات الحديد مع المجال المغناطيسيّ.

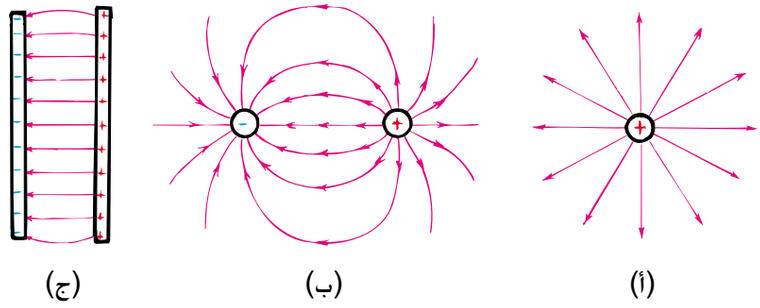
ربما يوضح لك المدرس آثار المجال الكهربائيّ المحيط بالقبة المشحونة لمولّد فان دي جراف. (الشّكل 12.8). الأجسام المشحونة في مجال القبة إما أن تتجاذب أو تتنافر، ويعتمد هذا على إشارة الشّحنة.



الشّكل 9.8

تمثيل المجال الكهربائيّ حول شحنة سالبة.

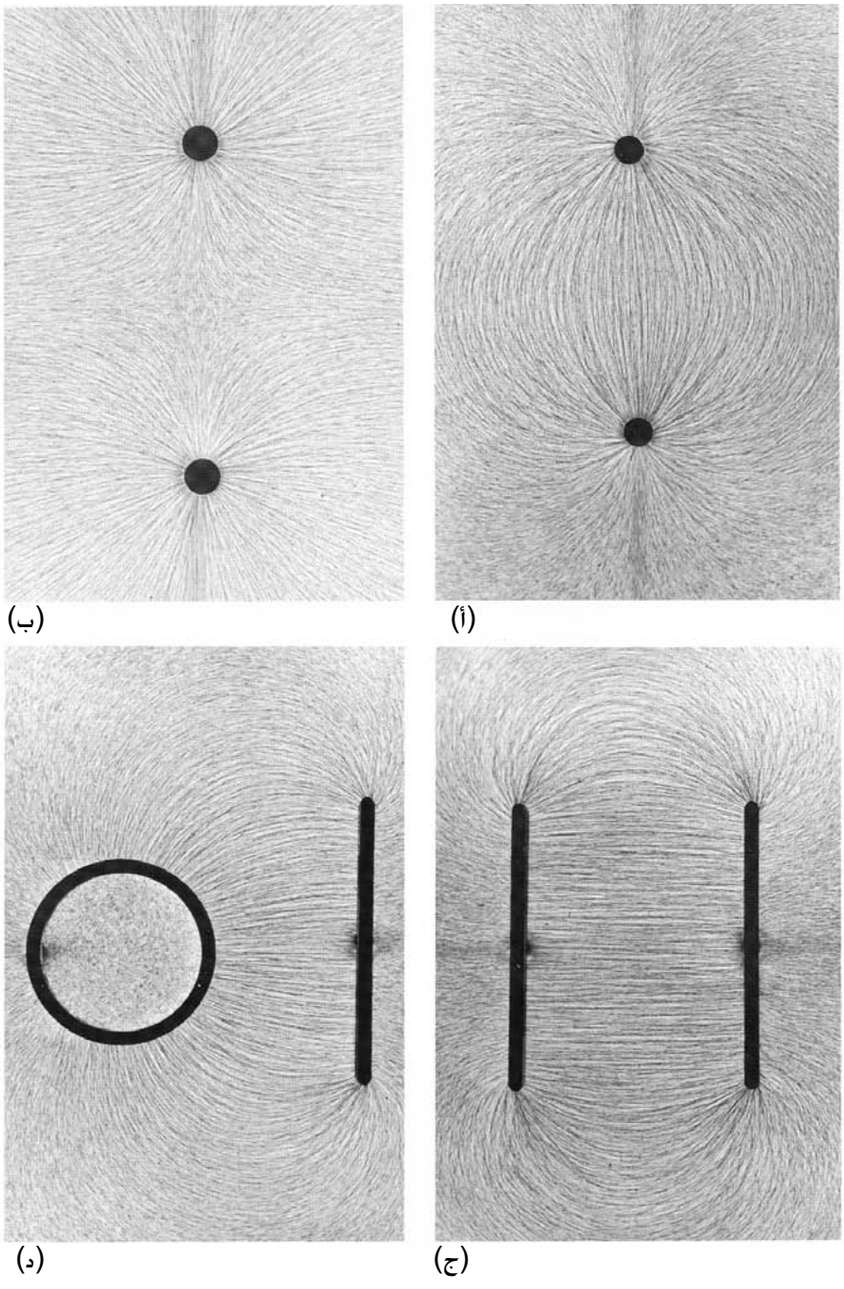
المجال الكهربائيّ هو الخزان الطبيعي للطاقة الكهربائيّة.



الشّكل 10.8

بعض هيئات المجال الكهربائيّ. (أ) خطوط القوة حول شحنة موجبة مفردة. (ب) خطوط القوة حول زوج من الشّحنات المتساوية ولكنها مختلفة. لاحظ أنّ الخطوط تنطلق من الشّحنة الموجبة وتنتهي في الشّحنة السّالبة. (ج) خطوط منتظمة للقوة بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين.

* المجال الكهربائيّ كمية متجهة، له مقدار واتجاه. مقدار المجال عند أيّ نقطة هو القوة لكلّ وحدة شحنة. إذا تأثرت شحنة، q، بقوة، F، عند نقطة ما في الفضاء فإنّ المجال الكهربائيّ، E، عند تلك النقطة هو $E = F/q$.



الشّكل 11.8

تصطف أجزاء من خيط معلق في مغطس زيت من النهاية إلى النهاية في اتجاه المجال. (أ) شحنات متساوية ومختلفة. (ب) شحنات متساوية متشابهة. (ج) صفيحتان مشحونتان مختلفتان. (د) أسطوانة وصفيحة مشحونتان بشحنتين مختلفتين.

ترتب الشّحنات السّاكنة نفسها على أيّ سطح موصل كهربائيّ بحيث ينعدم المجال الكهربائيّ داخل الموصل. لاحظ عشوائية الخطوط داخل الأسطوانة في الشّكل 11.8د، حيث لا يوجد مجال.

لمعلوماتك

■ مهما كانت شدة المجال الكهربائيّ حول مولّد فان دي جراف مشحون، فإنّ المجال الكهربائيّ داخل القبة يكون صفرًا. وهذا صحيح داخل السّطوح الفلزّيّة التي تحمل شحنات ساكنة.

الشّكل 12.8

كلّ من لوري Lori والقبة الكروية لمولّد فان دي جراف مشحونان كهربائيًا.

■ **نقطة فحص**

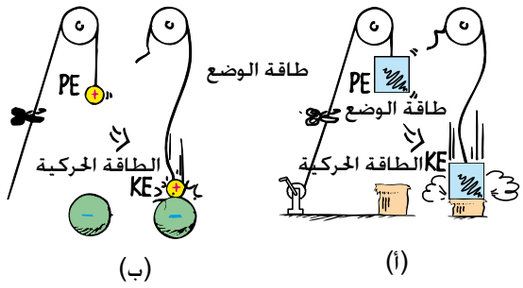
كلّ من لوري وقبة مولّد فان دي جراف في الشّكل 12.8 مشحونان. لِمَ لا يقف شعر لوري؟

هل كان هذا جوابك؟

كلّ من لوري وشعرها مشحونان. وتتنافر كلّ شعرة مع الشعرة المجاورة؛ وهذا دليل على أنّ الشّحنات المتشابهة تتنافر. حتى لو كانت الشّحنة صغيرة فإنها تنتج قوة كهربائية أكبر من وزن حزمة من الشعرات. ولحسن الحظ فإنّ القوة الكهربائيّة لا تكون قوية بما فيها الكفاية لتجعل ذراعها مرفوعة!

4.8 الجهد الكهربائيّ

عندما درسنا الطّاقة في الفصل الثالث، تعلمنا أنّ للجسم طاقة وضع جاذبية بسبب موقعه في المجال الجاذبي. وبالمثل، توجد طاقة وضع للجسيم المشحون بسبب وجوده في مجال كهربائي. وكما أنه يلزم شغل لرفع جسيم له كتلة ضد مجال الجاذبية للأرض، فإنه يتطلب شغلًا لدفع جسيم مشحون ضد المجال الكهربائيّ لجسيم مشحون. يغير هذا الشغل طاقة الوضع الكهربائيّ للجسيم المشحون.* وبالمثل، يزيد الشغل المبذول في ضغط الزنبرك من طاقة الوضع له (الشّكل 14.8أ). وبالمثل أيضا، فإنّ الشغل المبذول لدفع جسيم مشحون قريبًا من كرة مشحونة في (الشّكل 14.8ب) يزيد من طاقة الوضع للجسيم المشحون. ونسمي طاقةَ الوضع التي يمتلكها الجسيم المشحون بسبب موقعه **طاقةَ الوضع الكهربائيّة (Electric Potential Energy)**. وإذا أطلق الجسيم فإنه يتسارع مبتعدًا عن الكرة، وتتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركية.



الشّكل 13.8
(أ) طاقة الوضع الجاذبي (PE) لكتلة مثبتة في مجال جاذبي. (ب) طاقة الوضع لجسيم مشحون مثبت في مجال كهربائي. عند إطلاق الكتلة والجسيم، كيف يستحوذ على الطّاقة الحركية (KE) من كلّ منهما بالمقارنة مع النقص في طاقة الوضع؟

إذا دفعنا جسيمًا له ضعف الشّحنة فإننا نبذل شغلًا مضاعفًا؛ لأنّ ضعفَ طاقة الوضع تكون للجسيم الذي له ضعف الشّحنة في الموقع نفسه. وللجسيم الذي له ثلاثة أضعاف الشّحنة، سيكون له ثلاثة أضعاف طاقة الوضع. وهكذا عندما ندرس الكهرباء، فمن الأفضل دراسة طاقة الوضع الكهربائيّة لكلّ شحنة بدلًا من التعامل مع طاقة الوضع الكلية لجسيم مشحون. ببساطة، تقسم كمية الطّاقة في كلّ حالة على كمية الشّحنة. ويسمى مفهومُ طاقة الوضع لكلّ شحنة الوضعَ الكهربائيّ، أي أنّ

الجهد الكهربائيّ = طاقة الوضع الكهربائيّة / كمية الشّحنة

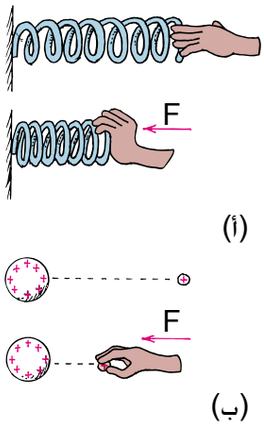
إنّ وحدة قياس الجهد الكهربائيّ هي الفولت، وغالبًا ما يسمى الوضع الكهربائيّ الجهدَ. ويساوي جهد مقداره 1 فولت كمية من الطّاقة مقدارها 1 جول لكلّ واحد كولوم من الشّحنة.

1 فولت = 1 جول / 1 كولوم

وهكذا، فإنّ بطارية بـ 1.5 فولت تعطي 1.5 جول لكلّ 1 كولوم من الشّحنة التي تنساب خلال البطارية. وللعلم، فإنّ *الجهد الكهربائيّ* و*الجهد* هما الشيء نفسه، وعادة ما يستخدم أحدهما بدلا من الآخر.

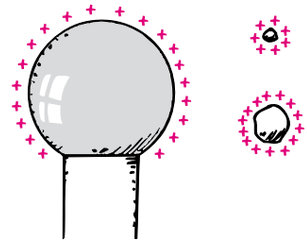
الجهد الكهربائيّ والجهد يعنيان الشيء نفسه- طاقة الوضع الكهربائيّة لكلّ وحدة شحنة – بوحدات الفولت. وفي المقابل، فإنّ فرق الجهد هو الجهد نفسه – الفرق في الجهد الكهربائيّ بين نقطتين – بوحدات الفولت أيضا.

تأتي أهمية الجهد من أنه يمكن تعيين قيمة محددة له وفق الموقع. ويمكننا أن نتحدث عن الجهود لمواقع مختلفة في المجال الكهربائيّ سواء أكانت هناك شحنات في هذه المواقع أم لا. والشيء نفسه يمكن قوله عن الجهود في المواقع المختلفة من الدائرة الكهربائيّة. ولاحقًا في هذا الفصل، سنرى أنّ موقع الطرف الموجب في بطارية 12 فولت يبقى عند جهد 12 فولت أعلى من موقع الطرف السالب. عند وصل وسط موصل إلى فرق الجهد هذا، ستتحرك أيّ من الشّحنات في الوسط بين الطرفين.



الشّكل 14.8
(أ) للزنبرك طاقة مرونة (PE) عندما ينضغط. (ب) وكذلك للشحنة الصغيرة طاقة وضع أكثر عند دفعها قريبًا من شحنة كروية. في كلتا الحالتين، تزيد طاقة الوضع نتيجة بذل جهد.

* يكون هذا الشغل موجبًا إذا زادت طاقة الوضع الكهربائيّة للجسيم المشحون. أما إذا نقصت فسيكون سالبًا.



الشّكل 15.8
لشحنة الاختبار الكبرى طاقة وضع أكبر في مجال القبة المشحونة، ولكن الجهد الكهربائيّ لأيّ مقدار من الشّحنة عند الموقع نفسه هو ذاته.

■ **نقطة فحص**

1. إذا احتوت شحنة الاختبار الموضوعة بالقرب من الكرة المشحونة على ضعفي الشّحنة كما في الشّكل 15.8، فهل تكون *طاقة الوضع الكهربائيّ* في شحنة الاختبار بالنسبة إلى الكرة المشحونة هي نفسها، أم تصبح ضعف ما كانت عليه؟ هل يكون الوضع الكهربائيّ لشحنة الاختبار هو نفسه، أم يكون ضعف ما كان عليه؟
2. ماذا نعني بقولنا إنّ البطارية في سيارتك هي من فئة 12 فولت؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. النتيجة لمضاعفة عدد الكولومات تعني مضاعفة *طاقة الوضع الكهربائيّة*؛ لأنّ هذا يتطلب ضعف كمية الشغل لوضع الشّحنة هناك. ولكن *الجهد الكهربائيّ* يبقى هو نفسه. إنّ ضعف طاقة الوضع مقسومًا على ضعف الشّحنة يعطي الجهد الكهربائيّ نفسه، لا يماثل طاقة الوضع الكهربائيّة. تأكد من فهمك لهذه الأشياء قبل المضيّ في دراستك.
2. هذا يعني أنّ بعض أطراف البطارية أعلى بمقدار 12 فولت من الطرف الآخر. وسنرى لاحقًا عند وصل دائرة بين هذين الطرفين، بأنّ كلّ كولوم يمرّ بين هذين الطرفين سيعطي 12 جول من الطّاقة (و12 جول "تستهلك" في الدائرة).

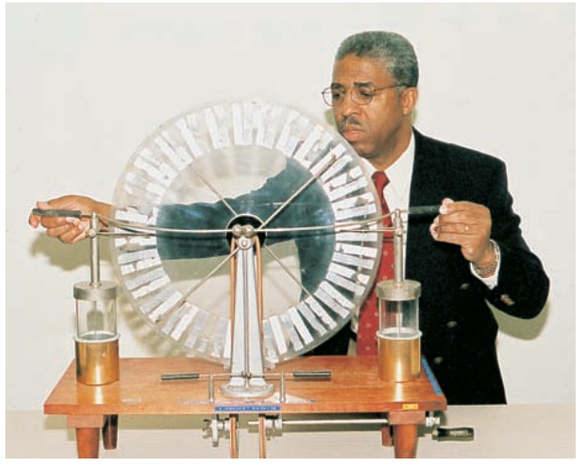
الشّكل 16.8
على الرغم من أنّ جهد البالون المشحون عالٍ، إلا أنّ طاقة الوضع الكهربائيّة منخفضة بسبب صغر مقدار الشّحنة.

إذا دلكت بالونًا برأسك فسيصبح البالون سالب الشّحنة - ربما بعدة آلاف من الفولتات! وهذا يعني عدة آلاف من جولات الطّاقة، إذا كانت الشّحنة 1 كولوم. ولكن، 1 كولوم يعدّ كمية كبيرة من الشّحنة. تبلغ الشّحنة على البالون المدلوك في العادة أقلّ من 1 في المليون من الكولوم. وهكذا، فإنّ كمية الطّاقة المرتبطة بالبالون المشحون صغيرة جدًّا. يعني الجهدُ العالي طاقةً عالية إذا كانت مرتبطة بشحنة كبيرة. وتختلف طاقة الوضع الكهربائيّة عن الجهد الكهربائيّ (أو الفولتية).

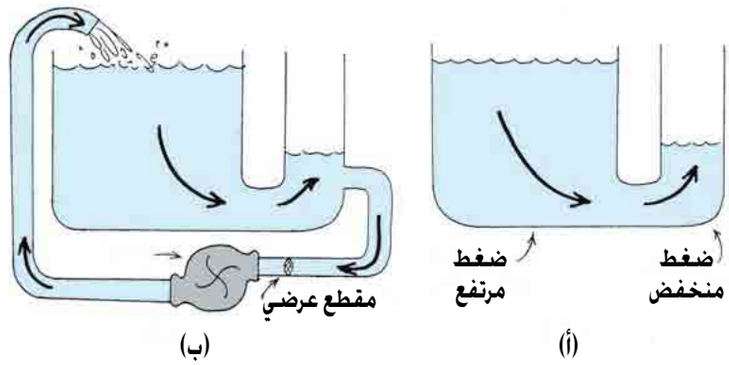
■ 5.8 مصادر الجهد

عندما يكون طرفا موصل حراري عند درجتي حرارة مختلفتين، ستنساب الطّاقة الحرارية من الطرف الذي درجة حرارته أعلى إلى الطرف الذي درجة حرارته أقلّ. وينتهي الانسياب عندما تصل النهايتان إلى درجة الحرارة نفسها. تُسمى أيُّ مادة تحتوي على جسيمات مشحونة، والتي يمكنها الانسياب بسهولة من خلالها عندما تتعرض لقوة كهربائية **الموصلَ الكهربائيّ (Electric Conductor)**. ويتميز كلّ من الموصل الحراريّ والكهربائيّ بوجود شحنات كهربائية حرة الحركة. وبصورة مشابهة لانسياب الحرارة، عندما تكون نهايتا الموصل الكهربائيّ على جهدين مختلفين - أي عندما يكون هناك فرق في الجهد (Potential Difference) - تنساب الشّحنات في الموصل من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقلّ. ويستمر انتقال الشّحنات حتى يصل طرفا الموصل إلى طاقة الوضع نفسها. ودون فرق في الجهد، لا يحدث انسياب في الشّحنة.

الجهد العالي ذو الطّاقة المنخفضة مشابه للشرر غير الضار ذي درجات الحرارة العالية التي ينبعث من شرر الألعاب النّاريّة. تذكر أنّ درجة الحرارة هي معدل الطّاقة الحركية لكلّ جزيء، وهذا يعني أنّ الطّاقة الكلية كبيرة عندما تكون الجزيئات كثيرة. وبالمثل، فإنّ الجهد العالي يعني طاقة عالية عندما تكون الشّحنات كبيرة.



الشّكل 17.8
على الرّغم من أنّ آلة وِمزهيرست يمكن أن تولّد آلاف الفولتات، إلا أنّها لا تنتج طاقة أكثر من تلك التي يضعها فيها جيم Jim بإدائرة ذراع التدوير.

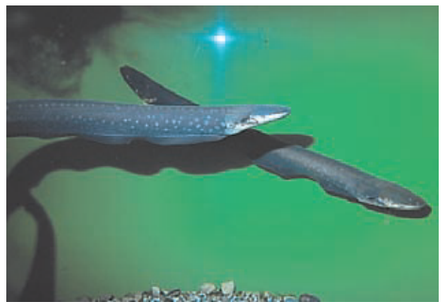


الشّكل 18.8
(أ) ينساب الماء من الخزان ذي الضغط العالي إلى الخزان ذي الضغط المنخفض. ويتوقف الانسياب عندما ينتهي الفرق في الضغط. (ب) يستمر الماء في الانسياب بسبب استدامة الفرق في الضغط بواسطة المضخة.

لضمان استمرار انسياب الشّحنة في موصل، يلزم التزود ببعض الترتيبات لإدامة فرق الجهد عند انسياب الشّحنة من طرف موصل إلى طرفه الآخر. ويشبه هذا انسياب الماء من خزان عالٍ إلى خزانٍ أقلّ ارتفاعًا (الشّكل 18.8أ). ينساب الماء في الأنابيب التي تصل بين الخزانين ما دام هناك فرق في مستوى الماء. يتوقف انسياب الماء مثل انسياب الشّحنات في الأسلاك، عندما تتساوى الضغوط عند النهايات. (نحن نعني هذه الظاهرة ضمنيًّا عندما نقول إنّ الماء يبحث عن مستواه). يكون الانسياب المستمر ممكنًا إذا كان هناك فرق في مستويات الماء -فرق في ضغوط الماء- ويستمر الفرق باستخدام مضخة مناسبة (الشّكل 18.8ب).

يتطلب استدامة التّيّار الكهربائيّ جهاز ضخّ لاستمرار فرق في الوضع الكهربائيّ - لاستمرار الجهد .

إنّ البطاريات الكيميائية أو المولدات هي مضخات كهربائية تقوم بجعل انسياب الشّحنة على نحو مستمر. تبذل هذه الأجهزة شغلًا لسحب الشّحنات السّالبة بعيدًا عن الأيونات الموجبة. وتبذل هذه البطاريات الكيميائية بالانحلال الكيميائي للخارصين أو الرّصاص في الحامض، وتحوّل الطّاقة المختزنة في الروابط الكيميائية إلى طاقة وضع كهربائية.



تفصل المولدات الشّحنة بالحثّ الكهرومغناطيسي الذي سوف نناقشه في الفصل القادم. إنّ الشغل المبذول (بأيّ طريقة كانت) لفصل الشّحنات المتعاكسة موجود عند طرفي البطارية أو المولد. تزود هذه الطّاقة لكلّ شحنة بفرق الوضع (الفولتية) والتي تزود بدورها "بالضغط الكهربائيّ" لتحريك الإلكترونات عبر الدائرة الموصلة إلى طرفيها.

6.8 التّيّار الكهربائيّ

كما أنّ التّيّار المائيّ هو انسياب جزيئات H_2O، فإنّ **التّيّار الكهربائيّ** هو انسياب الجسيمات المشحونة. في دوائر من الأسلاك الفلزية، تشكل الإلكترونات الشّحنة المنسابة. وهناك إلكترون أو أكثر من الإلكترونات من كل ذرة فلز تكون حرة الحركة خلال الشبيكة الذرية. تسمى حاملات الشّحنة هذه إلكترونات التوصيل. وفي المقابل، لا تتحرك البروتونات في المواد الصلبة؛ لأنها مقيدة ضمن أنوية الذرات وهي، بطريقة ما، مرتبطة بمواقع ثابتة. ولكن في الموائع، تشكل الأيوناتُ الموجبة الشّحنةَ الكهربائيّة المنسابة كما الإلكترونات.

لمعلوماتك

■ إنّ البطاريات الكيميائية لا تستجيب بشكل جيد للاندفاع المفاجئ للشحنة. والبديل الذي لا يستجيب جيدًا لدفق الطّاقة هو دولاب الغزل. تصنع الدواليب الحديثة - على العكس من ذلك الذي يستخدم من قبل الخزافين لغزل الطّاقة - من مواد مركبة قوية، ويمكن غزلها بسرعات عالية دون أن تتكسر. لذا يمكن تحويل الطّاقة الحركية الدورانية إلى أشكال أخرى من الطّاقة. انتظر دواليب كأجهزة تخزين للطاقة.

الشّكل 19.8
إنه مصدر جهد غير عادي. تبلغ طاقة الوضع الكهربائيّة بين رأس ثعبان الماء الكهربائيّ وذيله إلى حدّ 650 فولت.

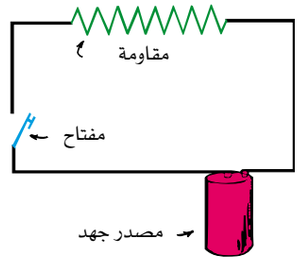
لا تزود البطارية الدائرة بالإلكترونات، إنها تزود الإلكترونات الموجودة أصلا في الدائرة بالطّاقة.

لمعلوماتك

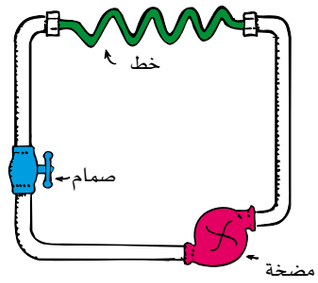
■ عندما تُزود بطارية سيارة عادية بضغط كهربائي مقداره 12 فولت إلى دائرة موصولة عبر طرفي توصيل، فإنها تزود 12 جول من الطّاقة لكلّ كولوم من الشّحنة التي تسري في الدائرة.

الشّكل 20.8
كلّ كولوم من الشّحنة يجبر على الانسياب في الدائرة التي تصل النهايتين بـ 1.5 فولت لخلية الضوء الومضي يزود بطاقة مقدارها 1.5 جول.

يعود الفرق المهم بين انسياب كلّ من الماء والإلكترونات إلى موصلاتهما. إذا اشتريت أنبوب ماء من متجر، فإنّ البائع لا يبيعك الماء الذي ينساب فيه. لذا عليك أنت تزويده بالماء. وفي المقابل، عندما تشتري "أنبوب إلكترونات"، سلكًا كهربائيًّا، فأنت تحصل أيضًا على الإلكترونات. فكلّ جزء من المادة، بما فيها الأسلاك، يحتوي على عدد هائل من الإلكترونات التي تحتشد في اتجاهات عشوائية. وعندما يجعلها مصدر جهد تتحرك، نحصل حينها على تيار كهربائيّ.



(ب)



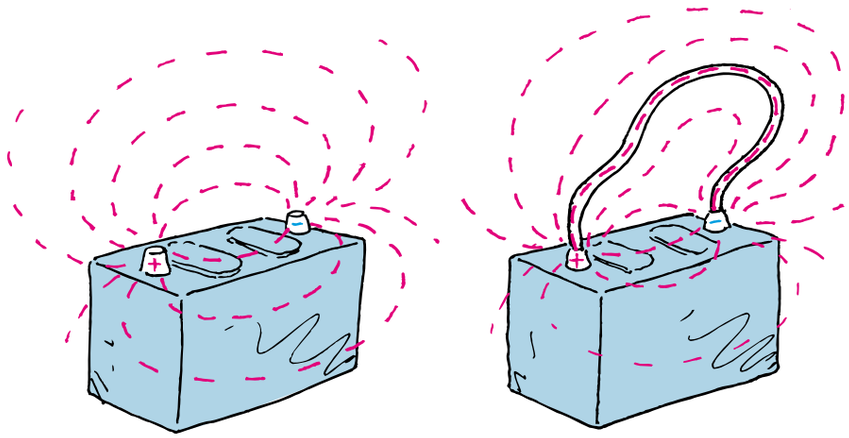
(أ)

الشّكل 21.8
التناظر بين (أ) دائرة هيدروليكية بسيطة و(ب) دائرة كهربائية. يبذل جهد كبير في بناء مسارعات ضخمة للجسيم، تسارع الإلكترونات حتى تقترب سرعتها من سرعة الضوء. إذا انتقلت الإلكترونات في الدائرة العادية بهذه السرعة، فعلى المرء أن يثني السّلك بزاوية حادة لجعل هذه الإلكترونات ذات الزخم العالي تفشل في الرجوع وتنبعث في الهواء. لا حاجة إلى المسارعات! في الحقيقة، تتحرك الإلكترونات في الدوائر ببطء شديد.

يقاس *معدل* الانسياب الكهربائيّ بالأمبير (*Ampere*). **فالأمبير** هو معدل انسياب 1 كولوم من الشّحنة في الثانية. (أي انسياب 6.25 بليون بليون إلكترون في الثانية). إنّ السّلك الذي يحمل تيار 4 أمبير إلى مصباح سيارة أمامي مثلًا، ينقل 4 كولوم من الشّحنة يمر عبر أيّ مقطع عرضي في السّلك في الثانية. في السّلك الذي يحمل تيار 8 أمبير، يمر ضعف عدد الكولومات في أيّ مقطع عرضي في الثانية. إنّ سرعة انسياق الإلكترونات عبر السّلك بطيئة بشكل مدهش. ويعزى هذا إلى استمرار ضخّ الإلكترونات في ذرات السّلك. إنّ صافي السرعة، و سرعة الانسياق، للإلكترونات في دائرة نموذجية هي أقلّ من 1 سم/ث. في حين تنتقل الإشارة الكهربائيّة بسرعة قريبة من سرعة الضوء. وهذه هي السرعة التي ينشأ فيها المجال الكهربائيّ في السّلك.

أوهناك نقطة مثيرة أخرى، وهي أنّ السّلك الذي يحمل التّيار الكهربائيّ غير مشحون كهربائيًّا. وتحت الظروف العادية، هناك العدد الكبير نفسه من الإلكترونات المحتشدة خلال شبيكة الذرة مساوٍ للشحنات الموجبة في الأنوية الذرية. كما أنّ هناك تساويًا بين عدد كلّ من الإلكترونات والبروتونات. لذا، فبغض النظر عن أنّ السّلك يحمل تيارًا أم لا، فإنّ الشّحنة الصافية للسلك في العادة "صفر" في أيّ لحظة.

هناك بعض الالتباس بين الشّحنة التي تسري *خلال* الدائرة والجهد المسلط عبرها. ويمكننا التمييز بين هذه الأفكار بدراسة أنبوب طويل فيه ماء - ينساب الماء خلال الأنبوب إذا كان هناك فرق في الضغط بين طرفيه، حيث ينساب الماء من الطرف ذي الضغط العالي إلى الطرف ذي الضغط المنخفض. الماء فقط هو الذي ينساب، وليس الضغط. وبالمثل، تنساب الشّحنة الكهربائيّة بسبب الفرق في الضغط الكهربائيّ (الجهد). يمكنك القول إنّ *الشّحنات* تنساب خلال الدائرة بسبب *الجهد* المسلط عبر الدائرة، ولكن لا يمكنك القول إنّ الجهد ينساب خلالها.



الشّكل 22.8
تتجه خطوط المجال الكهربائيّ بين طرفي البطارية خلال الموصل الذي يصل بين الطرفين. سلك سميك مبين هنا، ولكن المسار من طرف إلى آخر هو في العادة دائرة كهربائية. (إذا لمست هذا السّلك الموصل، فلن تتعرض لصدمة، ولكن السّلك سوف يسخن بسرعة وقد يحرق يدك!)

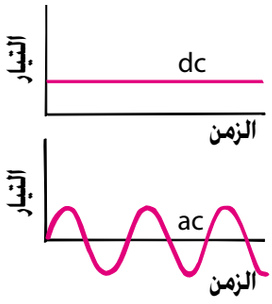
تاريخ الـ 110 فولت

في الأيام الأولى للإنارة بالكهرباء، كانت الجهود العالية تحرق فتائل مصابيح الضوء الكهربائيّ. لذا كان الجهد المنخفض عمليًا أكثر. وتبنت مئات محطات توليد الكهرباء في الولايات المتحدة قبل 1900م الـ 110 فولت (أو 115 أو 120 فولت) جهدًا معياريًّا لها. لقد تقرر اعتماد الجهد 110 فولت لأنه جعل المصابيح في ذلك العصر تتوهج بسطوع كمصابيح الغاز. وفي الوقت الذي شاعت الإنارة الكهربائيّة في أوربا، وتمكن المهندسون من صنع مصابيح لا تحترق بسرعة عند الجهود العالية. تكون ناقلات الطّاقة أكثر كفاءة عند الجهود العالية. وعليه، فقد تبنت أوربا 220 فولت جهدًا معياريًّا لها. في حين بقيت الولايات المتحدة على الـ 110 فولت (اليوم هي 120 فولت رسميًّا) بسبب المبالغ الطائلة في المنشآت في أجهزة الـ 110 فولت. ومن المثير في الدوائر المتناوبة، أنّ 120 فولت هي معدل الجذر التربيعي للجهد. إنّ الجهد الفعلي في 120 فولت متناوب، يتغير بين 170+ فولت و 170- فولت، مولدًا طاقة للمكواة أو المِحمصة مثل 120 فولت في دائرة مباشرة.

إنّ الجهد لا يذهب إلى أيّ مكان؛ لأنّ الشّحنة هي التي تتحرك. وينتج الجهد تيارًا (إذا كانت هناك دائرة كاملة).

التّيّاران؛ المستمر (Direct Current) والمتناوب (Alternating Current)

قد يكون التّيّار مستمرًّا أو متناوبًا؛ **فالتّيّار المستمر** (*dc*) يشير إلى انسياب الشّحنات في اتجاه واحد. تنتج البطارية تيارًا مستمرًّا في الدائرة؛ لأنّ طرفي البطارية لهما دائمًا الإشارات نفسها. وتتحرك الإلكترونات من الطرف المُنفر السالب إلى الطرف الجاذب الموجب، وهي تتحرك عبر البطارية في الاتجاه نفسه دائمًا.



الشّكل 23.8
التّيّاران؛ المستمر (dc)، والمتناوب (ac) بدلالة الزمن.

وفي **التّيّار المتناوب** (*ac*)، تتحرك الإلكترونات أولًا في أحد الاتجاهات، ثمّ في الاتجاه المعاكس، متناوبة حول موقع ثابت نسبيًّا. وهذا ما يحدث في المولد أو المتناوب بتغيير الإشارة دوريًّا عند الطرفين. وعلى نحو تقريبي، فإنّ الدوائر التجارية المتناوبة جميعها تتعلق بتيارات تتناوب إلى الأمام وإلى الخلف بتردد 60 دورة في الثانية. هذا تيار بـ 60 هرتز (تسمى الدورة الواحدة في الثانية (*هرتز*).

في بعض البلدان، يستعمل تيار 25، أو 30، أو 50 هرتز. وفي أنحاء العالم كلّه، نجد أنّ معظم الدوائر السكنية والتجارية متناوبة (*ac*)؛ لأنّ الطّاقة الكهربائيّة المتناوبة يمكن رفعها بسهولة إلى جهد عالٍ لنقلها إلى أماكن بعيدة بفقدان كمية حرارة صغيرة، ثم تخفض إلى جهود مناسبة حيث يتم استهلاكُ الطّاقة. إنّ حدوث ذلك أمر مدهش، وسوف نعود إليه في الفصل اللاحق. وتنطبق قواعد الكهرباء في هذا الفصل على كلّ من التّيّارين المستمر والمتناوب.

لمعلوماتك

■ لا يوجد خطر كهربائي في بطاريات السيارات، ولكن الخطورة في انفجارها. إذا لمست طرفي التوصيل بمفك فلزي مباشرة، فقد تنشأ شرارة تشعل غاز الهيدروجين في البطارية، وتعمل على تطاير أجزائها والحامض معًا!

لمعلوماتك

■ ينجز التحويل من المتناوب إلى المباشر بجهاز إلكتروني يسمح بانسياب الإلكترون في اتجاه واحد فقط، هو الصمام. أما نوع الصمام الأكثر ألفة فهو الصمام الباعث للضوء (LED). تنطلق الفوتونات عندما تعبر الإلكترونات فجوة "الطّاقة" في الجهاز. وفي الغالب تناظر طاقة الفوتون تردد الضوء الأحمر. ونرى هذه الصمامات في العديد من الأجهزة المتنوعة، بما في ذلك أجهزة الفيديو (VCRs)، ومشغّل أقراص الفيديو المدمجة (DVD). ومن المثير أنه عند عكس نقاط الوصل الكهربائيّ (المدخلات) مع مخرجات الضوء، يصبح الجهاز خلية شمسية!

■ 7.8 المقاومة الكهربائيّة

يعتمد مقدار التّيّار في الدائرة على المقاومة الكهربائيّة فيها، وليس على مقدار الجهد فقط. وكما أنّ الأنابيب الضيقة تقاوم سريان التّيّار أكثر من الأنابيب الواسعة، فإن الأسلاك الرفيعة تقاوم التّيّار أكثر من السميكة. إضافة إلى أنّ الطول يساهم في المقاومة أيضًا. وكما أنّ الأنابيب الطويلة لها مقاومة أكثر من الأنابيب القصيرة، فإنّ الأسلاك الطويلة تعني مقاومة أكبر. والأهم من ذلك هو المادة المصنوعة منها الأسلاك؛ فالمقاومة الكهربائيّة للنحاس منخفضة، في حين يكون لشريط من المطاط مقاومة هائلة. إلى جانب أنّ درجة الحرارة تؤثر في المقاومة الكهربائيّة. وكلما زاد اهتزاز الذرات في الموصل (أي ارتفعت درجة الحرارة)، زادت المقاومة.

وتصل مقاومة بعض المواد إلى الصفر عند درجات حرارة منخفضة، حيث تسمّى هذه المواد فائقةَ الموصلية. تقاس المقاومة الكهربائيّة بوحدة تسمى الأوم. وعادة ما يستخدم الحرف اليوناني أوميجا (Omega)، Ω، كرمز لهذه الوحدة. وقد سميت هذه الوحدة تكريمًا للفيزيائي الألماني جورج سيمون أوم (George Simon Ohm)، الذي اكتشف في عام 1826م علاقة بسيطة ومهمة جدًّا بين كلّ من الجهد، والتّيّار، والمقاومة.

الموصلات الفائقة (SuperConductors)

تصطدم الإلكترونات المنسابة في أسلاك المنازل العادية بالأنوية الذرية في السّلك، وتحول طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية فيه. ولقد اكتشف الباحثون في بداية القرن العشرين أنّ وضع فلزات معينة في سائل الهيليوم عند درجة حرارة 4 كلفن يفقدها كلّ مقاومتها الكهربائيّة. إنّ الإلكترونات في هذه الموصلات تنتقل بمسارات بحيث تتجنب التصادمات الذرية، سامحة للإلكترونات بالانتقال إلى ما لا نهاية. وقد سميت هذه المواد **الموصلات الفائقة**، ومقاومتها الكهربائيّة "صفر" لانسياب الشّحنة. وفي هذه الموصلات الفائقة، لا يفقد تيار ولا تتولد حرارة. ولعدة عقود، كان التفكير على العموم أنّ مقاومة صفرية تحدث فقط في فلزات معينة بالقرب من درجة الحرارة المطلقة الصفرية. ولكن في عام 1986م، تمّ الحصول على موصلات فائقة عند درجة حرارة 30 كلفن، حيث أنعشت الآمال بإيجاد موصلات فائقة على درجة حرارة أعلى من 77 كلفن، وهي درجة الحرارة التي يصبح عندها النيتروجين سائلا. إنّ التعامل مع النيتروجين أسهل من التعامل مع الهيليوم، لأنه يلزم لتسييله ظروف باردة جدًّا. إنّ القفزة العملاقة حدثت في السنوات التالية، وذلك عند اكتشاف مركب فلزي فقد مقاومته عند درجة حرارة 90 كلفن.

لقد وجد العديد من الأكاسيد الخزفية التي تصبح موصلات فائقة عند درجة حرارة أعلى من 100 كلفن. تصبح المواد الخزفية موصلات فائقة عند "درجات حرارة عالية". وفي هذه الأيام تستخدم أسلاك من الموصلات الفائقة ذات درجات حرارة عالية (*HTS*)، وتحمل تيارًا أعلى بجهد أقلّ، وهذا يعني أنه يمكن وضع محولات الطّاقة الكبيرة بعيدًا عن المراكز الحضرية - سامحة بتطوير مناطق خضراء. انتظر توسعًا إضافيًا في استعمال كابلات HTS لإيصال الطّاقة الكهربائيّة.

8.8 قانون أوم

تُلخّص العلاقة بين كلّ من الجهد، والتّيّار، والمقاومة بالعبارة التي تسمى **قانون أوم**. اكتشف أوم أنّ مقدار التّيّار في دائرة يتناسب مباشرة مع الجهد المسلط عبر الدائرة، ويتناسب عكسيًّا مع المقاومة:

التّيّار = الجهد / المقاومة

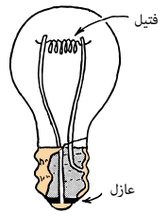
أو في صورة وحدات كما يلي:

الأمبير = الفولت / الأوم

لذا، لدائرة معينة لها مقاومة ثابتة، يتناسب التّيّار والجهد تناسبًا طرديًّا أحدهما مع الآخر*. وهذا يعني أنك تحصل على ضعف التّيّار إذا ضاعفت الجهد. وكلما زاد الجهد زاد التّيّار. ولكن إذا تضاعفت المقاومة لدائرة ما يُصبح التّيّار عندئذٍ نصف ما كان عليه. فكلما زادت المقاومة، نقص التّيّار. إذن فقانون أوم يعدّ منطقيًّا.

لمعلوماتك

■ يمكن أن تصنع بعض المواد من الجرمانيوم والسليكون بالتناوب لأنهما موصلات وعوازل. هذه أشباه موصلات. إنّ انتقال الإلكترون عبر وصلة بين أزواج منها يسبب انبعاث الضوء، كما هو الحال في الصمام الباعث للضوء (LED). وبالعكس، فإنّ امتصاص الضوء يؤدي إلى تيار كهربائي، كما في الخلية الشّمسيّة.



الشّكل 24.8
لا تتأثر إلكترونات التوصيل التي تندفع جيئة وذهابًا في فتيلة المصباح من مصدر الجهد. إنها موجودة أصلًا في الفتيلة. ببساطة، يزود مصدر الجهد الإلكترونات بطاقة الاندفاع. وعند إغلاق المفتاح، تسخن مقاومة فتيل التنجستن الرفيعة إلى درجة 3000°س وتتضاعف مقاومته تقريبًا.

التّيّار هو انسياب شحنة مدفوعة للحركة بتأثير الجهد، ومكبوحة بالمقاومة.

إنّ وحدة المقاومة الكهربائيّة هي الأوم، Ω.

* تستخدم العديد من المقررات V رمزًا للجهد، و I للتيار، و R للمقاومة، ويعبر عن قانون أوم بـ $V = IR$. لذا، فإنّ $I = V / R$، أو $R = V / I$، وعليه، فإنّ معرفة أيّ متغيّرين يساعد على معرفة الثالث. (غالبًا ما ترمز V للجهد، و A، للتيار، و Ω للمقاومة (الحرف اليوناني الكبير أوميجا).

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ حلّ المسألة

مسألة 1

ما مقدار التّيّار الذي يمر عبر مصباح مقاومته 60 أوم عندما يكون الجهد المسلّط عبر المصباح 12 فولت؟

الحلّ:

من قانون أوم:

التّيّار = الجهد / المقاومة

= 12 فولت / 60 Ω = 0.2 أمبير

مسألة 2

ما مقاومة محمصة تسحب تيارًا مقداره 12 أمبير عند وصلها في دائرة بمصدر جهد مقداره 120 – فولت؟

الحلّ:

بإعادة ترتيب قانون أوم:

المقاومة = الجهد / التّيّار

= 120 فولت / 12 أمبير = 10 أوم

مسألة 3

إذا كانت مقاومتك 100,000 أوم، فما مقدار التّيّار الذي يمر في جسدك إذا لمست قطبي بطارية – 12 فولت؟

الحلّ:

التّيّار = الجهد / المقاومة

= 12 فولت / 100,000 Ω =

0.00012 أمبير

مسألة 4

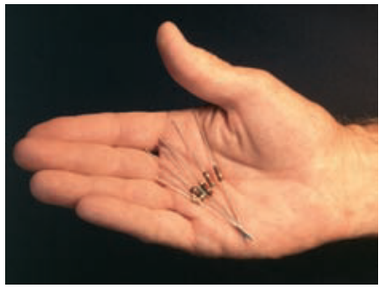
إذا كان جلدك رطبًا، بحيث أصبحت مقاومتك 1000 أوم فقط، ولمست قطبي بطارية بجهد 12 فولت، فما مقدار التّيّار الذي يسري فيك؟

الحلّ:

التّيّار = الجهد / المقاومة

= 12 فولت / 1000 Ω = 0.012 أمبير.

إنّ المقاومة النموذجية لسلك مصباح تبلغ أقلّ من أوم، ومصباح إضاءة نموذجي تكون مقاومته Ω100. ومكواة أو محمصة كهربائية لها مقاومة بين 15 و20 Ω. يُنظم التّيّار داخل هذه الأجهزة الكهربائيّة بعناصر دائرة تسمى المقاومات (الشّكل 25.8)، والتي تتراوح مقاومتها بين عدة وحدات من الأوم إلى 1 من المليون من الأوم. تسخن المقاومات عند انسياب التّيّار خلالها، ولكن إذا كان التّيّار قليلًا فستكون السّخونة قليلة أيضًا.



الشّكل 25.8
المقاومات، رمز المقاومة في الدائرة الكهربائيّة هو

الصدمة الكهربائيّة

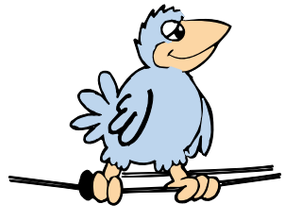
إن الآثار الضارة للصدمة هي نتيجة مرور التّيّار خلال الجسم البشري. ما الذي يسبب الصدمة الكهربائيّة في الجسم: التّيّار أم الجهد؟ من قانون أوم، نرى أنّ هذا التّيّار يعتمد على الجهد المسلّط، كما أنه يعتمد على المقاومة الكهربائيّة للجسم البشري. وتعتمد مقاومة جسم ما على ظروفه، حيث تتراوح بين نحو 100 Ω، إذا غمس الجسم في ماء مالح، إلى نحو 500,000 Ω، إذا كان الجسم جافًّا. وإذا لمسنا قطبي البطارية بأصابع جافة، مغلقين الدائرة من يد إلى اليد الأخرى، فنحن نقدم مقاومة تقدّر بنحو 100,000 Ω. في العادة لا نشعر بجهد 12 فولت، وحتى 24 فولت، وبالكاد نشعر بوخزة. ولكن إذا كان جلدنا رطبا، فمن الممكن أن تكون 24 فولت مؤذية. والجدول 1.8 يصف الآثار المختلفة من التّيّار في الجسم البشري.

الجدول 1.8 أثر التّيّارات الكهربائيّة في الجسم

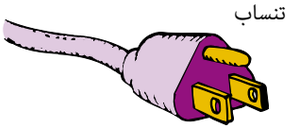
التّيّار (بالأمبير)	الأثر
0.001	يمكن الإحساس به.
0.005	مؤلم.
0.010	يسبب الانقباض غير الإراديّ (التّشنّج).
0.015	يسبب فقدان السّيطرة على المفصل.
0.070	يذهب خلال القلب، ويؤدي إلى تمزق خطير قد يكون قاتلًا إذا استمر التّيّار أكثر من ثانية واحدة.

لمعلوماتك

■ إنّ الهواءَ داخل مصباح الضوء التقليدي مزيجٌ من النيتروجين والأرجون. عند تسخين فتيلة التنجستن، تتبخر جسيمات متناهية في الصغر من التنجستن، كالبخار الذي ينبعث من الماء المغلي. ومع مرور الزمن، تترسب هذه الجسيمات على السطح الداخلي للزجاج، متسببة في اسوداد المصباح. وبفقدان التنجستن، تتحطم الفتيلة أخيرًا ويحترق المصباح. ولتفادي هذا، يمكن أن يحل غاز الهالوجين محل الهواء داخل المصباح، مثل اليود أو البروم. يتحد التنجستن المتبخر مع الهالوجين بدلًا من التّرسّب على الزّجاج، والذي يبقى صافيًا. والأكثر من ذلك، هو أنّ اتحاد الهالوجين مع التنجستن ينفصل عندما يلمس الفتيل السّاخن، فيعود الهالوجين غازًا، في حين تصلح الفتيلة بإعادة ترسيب التنجستن على نفسه. ولهذا السبب، تدوم مصابيح الهالوجين طويلا.



الشّكل 26.8
يمكن أن يقف الطير دون أذى على سلك واحد من الجهد العالي، ولكن من الأفضل عدم لمس السّلك المجاور. لماذا؟



الشّكل 27.8
الشعبة الثالثة موصولة بجسم الأداة مباشرة مع الأرض، أي أنّ الشّحنة التي تتراكم في الأداة تنساب إلى الأرض.

الشّكل 28.8
مصباح الطاولة لجسم عازل. لذا، فإنّه لا يحتاج إلى سلك ثالث (أرضي).

ولكي تتلقى صدمة: يجب أن يكون فرق في الجهد الكهربائيّ بين جزء من جسمك وجزء آخر منه. إنّ معظم التّيّار يمر عبر المسار الذي له مقاومة كهربائية أقلّ، والتي تصل بين هاتين النقطتين. افترض أنك سقطت عن جسر، وتمكنت من الإمساك بخط قوي للجهد - العالي، مانعًا سقوطك. ما دمت أنك لا تلمس أيّ شيء بجهد مخالف، فلن تتلقى أيّ صدمة على الإطلاق. وحتى لو كان السّلك بعدة آلاف من الفولت أكبر من جهد الأرض، وأنت تمسك به بيدك، فلا تنساب أيّ كمية شحنة ملموسة من يد إلى الأخرى، ويعزى هذا إلى عدم وجود فرق جهد كهربائيّ ملموس بين يديك. ولكن، إذا وصلت بإحدى يديك، وأمسكت السّلك الذي له جهد مختلف باليد الأخرى، عندئذ ستصعق! وقد رأينا جميعًا طيورًا تجثم على أسلاك الجهد العالي. كلّ جزء من أجسامها على الجهد العالي نفسه مثل جهد السّلك، ولهذا لا تحسّ بآثار ضارة.

من المثير أنّ مصدر الإلكترونات في التّيّار التي تصدمك مصدرها جسمك. كما هو الحال في الموصلات جميعها، فإنّ الإلكترونات موجودة فيها. وعليك الحذر من الطّاقة المعطاة للإلكترونات. إنها تزود بالطّاقة عند وجود فرق في الجهد عبر الأجزاء المختلفة من جسمك.

إنّ معظم القوابس والمقابس الكهربائيّة اليوم يكون لها ثلاث وصلات بدلا من وصلتين. الشعبتان المسطحتان الرئيستان في المقابس الكهربائيّة هما لحمل التّيّار بالسّلك الثنائي، جزء "حيّ" والآخر متعادل، أما الشعبة الثالثة فهي أرضية - متصلة مباشرة بالأرض (الشّكل 27.8). توصل الأدوات كالمكاوي، والأفران، والغسالات، والنشافات بهذه الأسلاك الثلاثة. إذا اتصل السّلك الحيّ صدفة بالسّطح الفلزيّ للأداة، ولمست الأداة، فمن الممكن أن تتلقى صدمة خطيرة. وهذا لا يحدث إذا كان غطاء الأداة موصولًا بالأرض عبر السّلك الأرضي، والذي يضمن أنّ غطاء الأداة على جهد أرضي مقداره صفر.

الضّرر النّاجم عن الصدمة الكهربائيّة

يموت العديد من الناس سنويًّا من تيارات الدوائر الكهربائيّة العادية ذات الـ 120 فولت. إذا لمست يدك بالخطأ مثبت مصباح 120 فولت، في حين كانت قدماك على الأرض، فعلى الأغلب سيكون هناك "ضغط كهربائي" بمقدار 120 فولت بين يديك والأرض. إنّ أكبر مقاومة للتيار تكون بين قدميك والأرض، لذا يكون التّيّار عادة غير كافٍ لإحداث أذى خطير. ولكن إذا كانت قدماك على أرض مبلولة، فسيكون هناك مسار مقاومة كهربائية صغيرة بينك وبين الأرض. ويتسبب جهد الـ 120 فولت عبر المقاومة الصغيرة بتيار مؤذٍ في جسمك.

يعدّ الماء النقي موصلًا غير جيّد. ولكن الأيونات الموجودة فيه تجعله موصلًا مقبولا. إنّ المواد الذائبة فيه، وخاصة الكميات القليلة من الملح، تقلل من المقاومة بشكل كبير. عادة، هناك طبقة من الملح تبقى على جلدك نتيجة التنفس، وعندما تكون مبلولة، تقلل من مقاومة الجلد حتى تصبح مقاومته عدة مئات من الأوم أو أقلّ من ذلك. ولهذا، يجب عدم استخدام الأجهزة الكهربائيّة عند الاستحمام؛ فهذا خطر جدًّا.

يحدث الأذى من الصدمة الكهربائيّة بثلاثة أشكال هي: 1- حرق الأنسجة بالحرارة. 2- التقلص العضلي. 3- عدم انتظام نبضات القلب. هذه الحالات تحدث بسبب التزود بطاقة فائضة لفترة طويلة في مناطق حساسة من الجسم.

ويمكن للصدمة الكهربائيّة أن تعمل على اضطراب العصب المركزي الذي يتحكم في التنفس. ولإنقاذ ضحايا الصدمة، فإنّ أول شيء يجب فعله هو إزالة مصدر الكهرباء. استخدم عصا خشبية جافة، أو أيّ شيء غير موصل حتى لا تؤذي نفسك بالكهرباء. ثم قم بعملية التنفس الصّناعيّ. ومن المهم الاستمرار في هذه العملية، لأنّ هناك حالات لضحايا البرق الذين لا يستطيعون التنفس دون مساعدة لعدة ساعات، ولكنهم استعادوا صحتهم وحيويتهم بالكامل أخيرًا.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يسبب الصدمة الكهربائيّة: التّيّار أم الجهد؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

تحدث الصدمة الكهربائيّة عند مرور التّيّار في الجسم، ولكن تسليط الجهد يسبب التّيّار.

■ 9.8 الدوائر الكهربائيّة

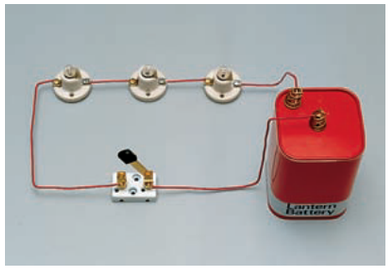
الدائرة هي أيّ مسار تنساب الإلكترونات خلاله. ولانسياب الإلكترونات المستمر يجب أن تكون هناك دائرة مغلقة دون فجوات. تعطى الفجوة عادة بمفتاح كهربائي، يمكن فتحه أو إغلاقه إما لقطع الطّاقة، أو السماح لها بالانسياب. ويكون لمعظم الدوائر أكثر من جهاز لاستقبال الطّاقة الكهربائيّة. وفي العادة، تكون الأجهزة موصولة في الدائرة بطريقتين هما: التوالي والتوازي. فعند التوصيل على التوالي، يكون هناك مسار أحادي لانسياب الإلكترونات بين طرفي البطارية أو المحول، أو مخرج الكهرباء (هو ببساطة امتداد لهذه الأطراف). أما عند التوصيل على التوازي، فهناك عدة فروع، ولكلّ منها مسار منفصل لسريان الإلكترونات. ولكلّ من التوصيلات على التوالي وعلى التوازي خصائص مميزة. سنناقش باختصار الدوائر التي تستخدم هذين النوعين من التوصيلات في البنود الآتية:

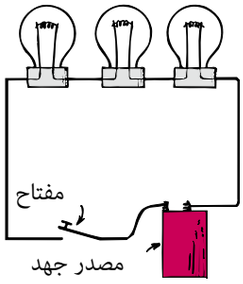
لمعلوماتك

■ خرافة: مستحيل أن يضرب البرق المكان نفسه مرتين.
حقيقة: يفضل البرق بعض النقاط، بشكل رئيس المواقع المرتفعة. تتعرض بناية أمبيرستيت Empire state والولايات المتحدة إلى 25 ضربة برق في كلّ عام تقريبًا.

غالبًا ما نفكر في التّيّار المنساب خلال دائرة، ولكننا لا نقول هذا أمام شخص متمكن، فمصطلح "يسري التّيّار" لا لزوم له. والأنسب القول: الشّحنة تسري وهي التيار.

دوائر التوالي (Series Circuts)





الشّكل 29.8
دائرة متتالية بسيطة. تزود البطارية ذات الـ 6 فولت كلّ مصباح بـ 2 فولت.

دائرة **التوالي البسيطة** مبينة في الشّكل 29.8. ثلاثة مصابيح موصولة على التوالي مع بطارية. يوجد التّيّار نفسه في المصابيح الثلاثة فورًا لحظة إغلاق المفتاح. التّيّار لا "يتراكم" أو يتجمع في أيّ مصباح، ولكنه يسري خلال كلّ واحد منها. تغادر الإلكترونات التي تشكل التّيّار الطرف السّالب من البطارية، مارة من خلال كلّ عنصر مقاومة، ومن ثمَّ تعود إلى الطرف الموجب لها. (مقدار التّيّار نفسه الذي يمر خلال البطارية). إنّ هذا هو المسار الوحيد للإلكترونات خلال الدائرة. وأنّ أيّ قطع في المسار في أيّ مكان يجعل الدائرة مفتوحة، وينقطع سريان الإلكترونات. مثل هذا القطع يحدث عند فتح المفتاح، أو عند قطع السّلك بحادث، أو عند حرق فتيلة أحد المصابيح. توضح الدائرة المبينة في الشّكل 29.8 الخصائص الآتية عن التوصيل على التوالي:

1. للتيار الكهربائيّ مسار واحد فقط خلال الدائرة. وهذا يعني أنّ التّيّار المار خلال مقاومة أيّ جهاز كهربائيّ عبر المسار هو نفسه.
2. يقاوم هذا التّيّار بمقاومة الجهاز الأول، وبمقاومة الثاني، وكذلك بمقاومة الثالث، وهكذا، فإنّ المقاومة الكلية للتيار في الدائرة هي مجموع المقاومات المفردة عبر مسار الدائرة.
3. يساوي التّيّار في الدائرة، عدديًّا، الجهد المزود من المصدر مقسومًا على المقاومة الكلية للدائرة، وفقًا لقانون أوم.
4. يُقسَم الجهد الكلي المسلط عبر دائرة التوالي بين الأجهزة الكهربائيّة المفردة في الدائرة، لذا يكون

لمعلوماتك

■ تنفد البطاريات جميعها. تنفد خلايا أيون – الليثيوم المستخدمة بكثرة في الحواسيب الشخصية المحمولة، والكاميرات، وأجهزة الهاتف المحمولة بشكل أسرع عند زيادة شحنها أو تسخينها. لذا احتفظ بأجهزتك بنصف الشّحنة في محيط بارد لتطيل فترة صلاحيتها للعمل.

مجموع الجهد في الدائرة "نزول جهد" عبر كلّ مقاومة لكلّ جهاز يساوي مجموع الجهود التي يزودها المصدر. وتعود هذه الخاصية إلى حقيقة أنّ كمية الطّاقة التي تعطى للتيار الكلي تساوي مجموع الطاقات التي تعطى لكلّ جهاز.

5. يتناسب انخفاض الجهد عبر كلّ جهاز مع مقاومته. ويعود ذلك إلى حقيقة أنّ مزيدًا من الطّاقة يتبدد عند مرور تيار خلال مقاومة كبيرة أكثر من مرور التّيّار نفسه خلال مقاومة صغيرة.

■ **نقطة فحص**

1 . إذا احترق أحد المصابيح في دائرة توالٍ، فماذا يحدث للتيار في المصابيح الأخرى؟
2 . ماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح في دائرة توالٍ عند إضافة مزيد من المصابيح للدائرة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح، فإن المسار الذي يصل أقطاب مصدر الجهد ينقطع وينعدم التّيّار. وتنطفئ المصابيح جميعها.
2 . إنّ إضافة مزيد من المصابيح في دائرة التوالي ينتج مقاومة أكبر للدائرة. وهذا ينقص التّيّار فيها، ومن ثم في كلّ مصباح، والذي يسبب سطوعًا أقلّ فيها. تقسم الطّاقة بين المصابيح. وعليه، يقلّ انخفاض الجهد عبر كلّ مصباح.

تنطبق القواعد أعلاه للدوائر المباشرة أو المتناوبة. ومن السهل رؤية سلبيات دوائر التّوالي: إذا تعطل جهاز، فسينعدم التّيّار في الدائرة جميعها. بعض إنارة شجر أعياد الميلاد الرخيصة موصولة على التّوالي. وعند احتراق أحد المصابيح تصبح عملية العثور على هذا المصباح أو تبديله لعبة مسلية (أو محبطة).

من الممكن تشغيل عدة أجهزة كهربائية في الوقت نفسه لمعظم الدوائر، وكلّ دائرة مستقلة عن الأخرى. ففي بيوتنا مثلًا، يمكن تشغيل مصباح أو إطفاؤه دون التأثير في عمل الأجهزة الأخرى. ويحدث هذا لأنّ توصيل هذه الأجهزة معًا على التّوازي لا على التّوالي.

دوائر التوازي (Parallel Circuits)

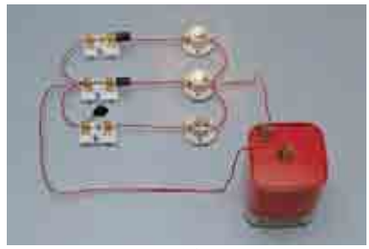
يبين الشّكل 30.8 **دائرة توازٍ** بسيطة. ثلاثة مصابيح موصولة إلى النقطتين *A* و*B*، نفسيهما في الدائرة. يقال للأجهزة الكهربائيّة الموصولة إلى النقطتين نفسيهما من الدائرة الكهربائيّة إنها موصولة على التوازي. تنتقل الإلكترونات المنبعثة للطرف السالب من البطارية عبر فتيلة مصباح واحد فقط قبل أن تعود إلى الطرف الموجب لها. في هذه الحالة، يتفرع التّيّار إلى ثلاثة مسارات من *A* إلى *B*. إنّ القطع في أيّ مسار لا يعطل انسياب الشّحنة في المسارات الأخرى. كما أنّ كلّ جهاز يعمل باستقلالية عن الأجهزة الأخرى (بغض النظر عن كون الدائرة *ac* أو *dc*).

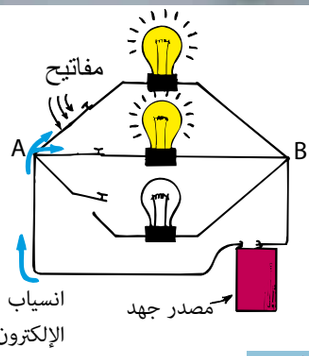
توضّح الدائرة المبينة في الشّكل 30.8 الخصائص الرئيسة لتوصيلات التوازي:

1. كلّ جهاز موصول بين النقطتين *A* و*B* نفسيهما في الدائرة. لذا يكون الجهد نفسه عبر أيّ جهاز.
2. ينقسم التّيّار الكليّ في الدائرة بين الأفرع المتوازية. وبسبب تساوي الجهد عبر أيّ مسار، فانّ مقدار التّيّار في كلّ فرع يتناسب عكسيًّا مع مقاومة الفرع.

لمعلوماتك

■ تعطي البطاريات طاقة للأجهزة المزروعة في جسم الإنسان. لقد تم اقتراح عدد من المقاربات الجاهزة للاستعمال في الطّاقة أو كمصادر للوقود في الجسم. انتظر تنفيذها في المستقبل القريب.





الشّكل 30.8
دائرة توازٍ بسيطة. تزود البطارية ذات الـ 6 فولت بـ 6 فولت لكلّ من المصباحين العلويّين.

لمعلوماتك

■ صرح توماس أديسون (Thomas Edison) بعد فشله أكثر من 6000 مرة قبل نجاحه في صنع أول مصباح كهربائيّ، أن تجاربه ليست فشلًا، لأنه نجح في اكتشاف 6000 طريقة غير صالحة للعمل.

3 . يساوي التّيار الكلي في الدائرة مجموع التّيارات في الفروع المتوازية.
4 . عند زيادة عدد الأفرع المتوازية، فانّ المقاومة المكافئة للدائرة تنقص. وتنقص هذه المقاومة المكافئة مع إضافة كلّ فرع بين نقطتين في الدائرة. وهذا يعني أنّ المقاومة المكافئة للدائرة هي أقلّ من مقاومة أيّ فرع مفرد.

■ نقطة فحص

1. ماذا يحدث للتيار في المصابيح الأخرى إذا احترق أحد المصابيح في الدائرة؟
2. ماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح في الدائرة المتوازية عند إضافة مصباح آخر موازٍ في الدائرة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . إذا احترق أحد المصابيح فإنّ المصابيح الأخرى لا تتأثر. فالتّيار في كلّ فرع يساوي الفولتية (فرق الجهد) مقسومةً على المقاومة وفق قانون أوم. وبسبب عدم تأثر الجهد أو المقاومة في الفروع الأخرى، فإنّ التّيار في هذه الفروع لا يتأثر أيضًا. وبتناقص التّيار الكليّ في الدائرة (التّيار خلال البطارية)، بكمية تساوي التّيار المسحوب من المصباح في السؤال قبل احتراقه. ولكن التّيار في أيّ فرع مفرد لا يتغير.
2 . لا يتغير سطوع أيّ مصباح عند إضافة مصابيح أخرى (أو إزالتها). ولكن ما يتغير فقط هو المقاومة الكلية، والتّيار الإجمالي في الدائرة الكلية، أي أنّ التّيار في البطارية هو الذي يتغير. (البطارية لها مقاومة أيضًا، ونفترض أنها مهملة هنا.) عند إدخال مصباح، يتوافر مسار جديد بين طرفي البطارية، وهو يقلل فعليًّا المقاومة الكلية للدائرة. ويصاحب تناقص المقاومة هذا زيادة في التّيار، وهي الزيادة نفسها التي تغذي طاقة المصابيح عند إدخالها. وعلى الرغم من أنّ التغيير في المقاومة والتّيار يحدث للدائرة كلّها، فإنّه لا يحدث تغيير في أيّ فرع مفرد في الدائرة.

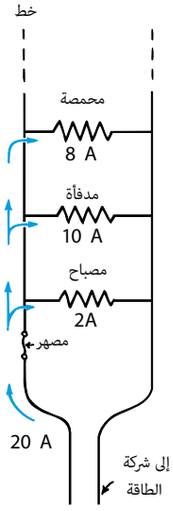
الشّكل 31.8
مدرس الفيزياء دافيد David من نيوزلندا، يدرس الدائرة المتوازية بربط المصابيح لأطراف ممتدة عبر البطارية المشتركة. طلب إلى تلاميذه التنبؤ بالسّطوع النسبيّ لمصباحين متماثلين في سلك واحد على وشك أن يوصلهما على التوازي.

ينتقل التّيّار في الدوائر الموازية في المسار الأقلّ مقاومة – ولكن ليس بالكامل. ينتقل جزء منه في كلّ مسار.

الحمل الزّائد ودوائر التوازي

تزود المنازل بالكهرباء عادة عن طريق سلكين يسميان *الخطّين*. وتكون مقاومة هذين الخطين منخفضة، وتتصل مع المخارج في الجدران في كلّ غرفة، وأحيانًا من خلال دارتين أو أكثر من الدوائر المنفصلة. ويطبق عليهما جهد كهربائي نحو 110 إلى 120 فولت متناوبًا (ac) عبر هذه الخطوط من محول في الجوار. (المحول كما سنرى في الفصل القادم، هو جهاز يخفض الجهد العالي الذي يصلنا من محطة القوى). عند توصيل أجهزة أكثر إلى الدائرة، تنتج مسارات جديدة للتيار. وهذا يخفض المقاومة الكلية للدائرة. لذا يزيد التّيار الساري فيها، والتي تسبب مشكلة أحيانًا. ويقال للدوائر التي يسري فيها تيار أعلى من الكمية الآمنة إنّها ذات *حمولة زائدة*.

يمكننا رؤية الحمولة الزائدة تحصل في الشّكل 32.8. خط التزويد موصول بمحمصة تسحب 8 أمبير، ومصباح يسحب 2 أمبير، ومدفأة تسحب 10 أمبير، ومصباح آخر يسحب 2 أمبير. عند تشغيل المحمصة فقط والتي تسحب 8 أمبير، فإنّ التّيار الكلي للخط هو 8 أمبير. ولكن عند تشغيل المدفأة أيضًا، فسيكون التّيار الكلي للخط 18 أمبير (8 أمبير للمحمصة و10 أمبير للمدفأة). إذا أنرت المصباح، ازداد تيار الخط ليصبح 20 أمبير. وعند إضافة جهاز آخر، فإنّ التّيار يزيد أكثر. كما أنّ توصيل أجهزة أخرى للدائرة نفسها ينتج تسخينًا زائدًا في الأسلاك، مما قد يسبب حريقًا.



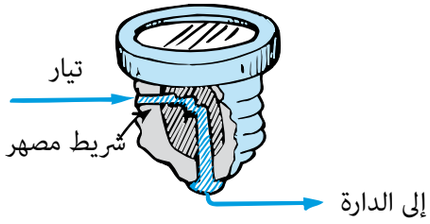
الشّكل 32.8
مخطط دائرة للأدوات المنزلية.

الطّاقة الكهربائيّة والتكنولوجيا

حاول أن تتخيل الحياة اليومية في منزل قبل اختراع الطّاقة الكهربائيّة. فكّر في منزل من دون إنارة كهربائية، وثلاجات، وتدفئة، وأنظمة تبريد، وهواتف، ومذياع، وجهاز تلفاز. وقد نكون أكثر رومانسية دون هذه الأشياء، ولكن إذا أغفلنا العديد من ساعات النهار الشاقة المخصصة للغسل، والطهو، وتدفئة المنازل. وعلينا أن نتغاضى أيضًا عن صعوبة الوصول إلى طبيب في أوقات الطوارئ قبل اختراع الهاتف. حينما كان كلّ ما في حقيبة الطبيب الأسبرين، وحبوب السكر، والمسهلات. وعندما كان معدل موت الأطفال مذهلا.

لقد ألفنا فوائد التكنولوجيا حتى أصبحنا غير منتبهين لاعتمادنا في وجودنا على السّدود، ومحطات الطّاقة، والمواصلات العامة، والكهرباء، والطب الحديث، والعلوم الزراعية الحديثة. وعندما نستمتع بوجبة جيدة، فإننا لا نفكر كثيرا في التكنولوجيا التي بذلت في نموها، وحصادها، وتجهيز الطعام على المائدة. كما أننا عندما نشغل الضّوء، فإننا لا نجهد تفكيرنا كثيرًا في السّيطرة المركزية لشبكة القوى التي توصل محطات القوى البعيدة بخطوط نقل طويلة. فهذه الخطوط تعمل كقوة إنتاج للصناعة، والنقل، وكهربة الحضارة. إنّ أيّ فرد يفكر في العلم والتكنولوجيا دون أخذ الأبعاد الإنسانية في الحسبان يكون قد فشل في التقاط الطرق التي جعلت حياتنا أكثر إنسانية.

منصهرات الأمان



الشّكل 33.8
مصهر أمان.

لمنع حدوث حمولة زائدة في الدوائر؛ توصل المنصهرات على التوالي على امتداد خط التزويد. وبهذه الطريقة، فإنّ التّيّار الكلّيّ للخطّ يجب أن يمرّ من خلال المنصهر. يبنى المنصهر المبين في الشّكل 33.8 من سلك شريطيّ يسخن وينصهر عند تيار معين. إذا صنّف المنصهر عند 20 أمبير، فإنه يمرر 20 أمبير فقط. ولكن إذا زاد التّيّار على ذلك، فإنه يذيب المنصهر، "ويحرقه" ويقطع الدائرة. قبل تبديل المنصهر المحروق، يجب معرفة السّبب في الحمولة الزائدة ومعالجته. أحيانًا، تتلف العازلات التي تفصل الأسلاك في الدائرة وتسمح للأسلاك بالتماس. وتقلّل بشكل كبير من المقاومة في الدائرة، وهذا ما يسمى *قصر الدائرة*.

وفي المباني الحديثة، حلّت الآن كاسرات الدائرة التي تستخدم مغانط وأشرطة ثنائية الفلز لفتح الدائرة عندما يكون التّيّار أعلى مما يجب، بدلا من المنصهرات. وتستخدم شركات التزويد كاسرات الدائرة لحماية خطوطها حتى تصل إلى المولدات.

يمكن أن تبرهن أنّ شيئا ما غير آمن، ولكن لا يمكنك أبدًا إثبات أنّ شيئًا ما آمن تمامًا.

10.8 القدرة الكهربائيّة

إنّ الشّحنات المتحركة في التّيّار الكهربائيّ تبذل شغلًا، قد يُسخِّن دائرة، أو يُدير محركًا على سبيل المثال لا الحصر. إنّ معدّلَ بذل الشّغل – أي معدل تحويل الطّاقة الكهربائيّة إلى أشكال أخرى، مثل الطّاقة الميكانيكية، والحرارة، أو الضوء – يسمى القدرةَ الكهربائيّة. وهذه القدرة الكهربائيّة تساوي حاصل ضرب التّيّار في الجهد.*

القدرة = التّيّار × الجهد

إذا عُبِّر عن الجهد بالفولت والتّيّار بالأمبير، فإنه يُعبَّر عن القدرة بالواط. وهكذا، يعبّر على صورة وحدات كما يلي:

الواط = الأمبير × الفولت

إذا كان مصباح من فئة 120 واط يشتغل على خط 120 فولت، فيمكن حساب أنه يسحب تيارًا مقداره 1 أمبير (120 واط = 1 أمبير × 120 فولت). إنّ مصباح 60 واط يسحب 0.5 أمبير على خط 120 فولت.

الشّكل 34.8
الكهربائيّ ديف هيويت Dave Hewitt مع منصهر أمان وكاسر دائرة. إنه يفضل المنصهرات القديمة، والتي يجدها أكثر وثوقًا.

* تذكر من الفصل الرابع أنّ القدرة = الشغل / الزمن. 1 واط = 1 جول/ ثانية. لاحظ أنّ وحدات القدرة الميكانيكية تتطابق مع القدرة الكهربائيّة (بقاس الشغل والطّاقة بوحدات الجول):
القدرة = الشّحنة / الزمن × الطّاقة / الشّحنة = الطّاقة / الزمن

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ حلّ المسألة

مسألة 1

إذا حدّد خط 120 فولت إلى مقبس بـ 15 أمبير لمنصهر أمان، فهل يمكن تشغيل مجفّف شعر بـ 1200 واط؟

الحلّ:

نعم. من التعبير: الواط = الأمبير × الفولت، يمكننا حساب التّيّار = (1200 واط / 120 فولت) = 10 أمبير. لذا يمكن أن يعمل مجفف الشعر عند وصله في الدائرة. ولكن إذا شُغّل مجففان للشعر فسوف يحترق المنصهر.

مسألة 2

بسعر 30 قرشًا / للكيلو واط – ساعة، ما تكلفة تشغيل مجفف شعر 1200 واط لمدة ساعة؟

الحلّ:

1200 واط = 1.2 كيلو واط. 1.2 كيلو واط × 1 ساعة × 30 قرشًا/ 1 كيلو واط ساعة = 36 قرشا.

ويمكن أن تصبح العلاقة عملية أكثر إذا رغبت في معرفة تكلفة الطّاقة الكهربائيّة، والتي غالبًا ما تكون جزءًا من الدولار لكلّ كيلو واط – ساعة. ويعتمد ذلك على الدولة. الكيلو واط هو 1000 واط. ويمثل الكيلو واط – ساعة مقدار الطّاقة المستهلكة في ساعة بمعدل 1 كيلو واط.* وهكذا، في بلد حيث تكون تكلفة الطّاقة الكهربائيّة 25 قرشًا/كيلو واط – ساعة، فإنّ مصباحا كهربائيًّا 100 واط يمكن تشغيله لمدة عشر ساعات بتكلفة 25 قرشًا.

والمحمصة أو المكواة، التي تسحب تيارًا أكثر، ومن ثم طاقة أكثر، تكلّف 10 أضعاف لتشغيل أيّ منهما.

الشّكل 35.8

تقرأ القدرة والجهد على مصباح الإنارة "100 واط، 120 فولت". هل له 100 واط، أم هل يستخدم 100 واط عند إضاءته؟ كم عدد وحدات الأمبير التي تسري خلاله عند إضاءته؟

الشّكل 36.8

يحصد روي Roy الطّاقة الشّمسيّة لإنتاج الكهرباء، والتي بدورها تشغل عربات تجريب.

لمعلوماتك

■ يعتمد سطوع المصباح على مقدار الطّاقة التي يستخدمها، أي على كمية الكهرباء المتحولة إلى حرارة في الثانية. فمصباح التنجستن الذي يستهلك 100 واط هو أشدّ سطوعًا من ذلك الذي يستهلك 60 واط. ولهذا السبب، يعتقد الكثير من الناس خطأً، أنّ الواط هو وحدة السطوع، ولكنه ليس كذلك. فـ 13-واط لمصباح فلوري هو لامع بمقدار المصباح التقليدي ذي 60- واط. هل هذا يعني أنّ المصباح التقليدي يفقد الكهرباء؟ نعم. تستخدم الطّاقة الكهربائيّة الإضافية المستخدمة في تسخين المصباح. ولهذا، فإنّ مصابيح التنجستن هي أسخن عند لمسها من المصابيح الفلورية التي تساويها في السّطوع.

لمعلوماتك

■ يستعمل قلبك أكثر من 1 واط بقليل لضخّ الدم خلال جسمك.

* لأنّ القدرة = الطّاقة / الزمن. وبترتيب بسيط، فإنّ الطّاقة = القدرة × الزمن. وهكذا يمكن التعبير عن الطّاقة بوحدات كيلو واط – ساعة.

العلاج المغناطيسيّ*

بالعودة إلى القرن الثّامن عشر، جلب المغنط الشهير فرانز مسمر (Franz Mesmer) مغانطه إلى باريس، وعين نفسه طبيبًا في المجتمع الباريسي. لقد كان يعالج المرضى بالتّلويح بالعصا المغناطيسية فوق رؤوسهم.

في تلك الفترة، كان بنيامين فرانكلين، المرجع الأول عالميًّا في الكهرباء، وكان يزور باريس بصفته سفيرًا للولايات المتحدة. لقد شك بنيامين أنّ مرضى مسمر استفادوا من طقوسه، ولكنه جنَّبهم العمليات الجراحية المميتة للأطباء الآخرين. وبإلحاح من المؤسسة الطبية، عين الملك لويس السّادس عشر لجنة ملكية لفحص مزاعم مسمر. وضمت اللجنة فرانكلين وأنتوني لافويسير (Lavoisier) مؤسس الكيمياء الحديثة. صمّم أعضاء اللجنة سلسلة من الاختبارات لدراسة استجابة بعض الأشخاص الذين يعتقدون أنهم يتلقون معالجة مسمر، وهم لا يتلقونها حقيقة، وآخرون يتلقون العلاج، ولكنهم أعطوا انطباعًا بأنهم لا يتلقونه. لقد أثبتت نتائج هذه التجارب الزائفة دون أدنى شك أنّ نجاح مسمر راجع إلى قوة الإيحاء فقط. وحتى اليوم، فإنّ هذا التقرير هو نموذج للوضوح والمنطق. لقد تلاشت سمعة مسمر وانتقصت، وتقاعد في النمسا.

والآن، وبعد مرور مئتي سنة، ومع تزايد المعرفة في المغناطيسية وعلم التشريح، فإنّ المدافعين عن المغناطيسية لديهم أتباع كثر، ولكن دون وجود لجنة حكومية من فرانكلين ولا فويسير تتحدى مزاعمهم.

إنّ العلاج المغناطيسي بديل غير مجرب، ولا ضوابط له. ولكن صرّح لهم رسميًّا بذلك من قبل الكونجرس في عام 1992.

وعلى الرغم من تعدّد الشهادات حول فوائد المغانط، فليس هناك أيّ دليل علميّ مهم كان يؤكد أنّ المغانط تعزز طاقة الجسم في مقاومة الأوجاع والآلام. ومع ذلك تباع ملايين المغانط العلاجية في المخازن أو بالكتالوجات (البيانات المصورة)، حيث يشتري الزبائن الأساور المغناطيسية، والضّبّانات، ومرابط الرسغ، وأحزمة الظهر، والرقبة والوسائد، والفرشات، وأحمر الشفاه، وحتى الماء، ويقال لهم إنّ للمغانط تأثيرًا قويًّا في الأجسام، وخصوصًا أنّها تزيد من تدفق الدم إلى مناطق الألم. إنّ فكرة انجذاب الدم للمغناطيس هي هراء؛ لأنّ نوع الحديد الموجود في الدم لا يستجيب للمجال المغناطيسي. والأكثر من ذلك أنّ معظم المغانط العلاجية هي من نوع مغانط الثلاجة، ذات المدى المحدود جدًّا. لتأخذ فكرة عن سرعة انحلال مجال هذه المغانط، انظر إلى عدد الأوراق التي يستطيع أحد هذه المغانط تثبيتها على الثلاجة أو على سطح حديدي. يسقط المغناطيس بعد وضع عدة صفحات من الورق تفصله عن السطح الحديدي؛ لأنّ المجال لا يمتد إلى أكثر من مسافة ملمتر واحد، ولا يستطيع اختراق الجلد، دعك عن العضلات. وحتى لو استطاع ذلك، فليس هناك دليل علمي أنّ للمغناطيس أيّ آثار مفيدة في الجسم. ومرة أخرى، فإنّ الشهادات العلمية هي موضوع آخر.

بعض الادعاء الخيالي يحمل أحيانًا بعض الحقيقة فيه. فمثلًا، عملية الفصد في القرون الماضية كان لها بعض الفوائد بنسبة مئوية بسيطة للرجال. حيث إنّ هؤلاء الرجال يعانون من مرض وراثي (hemochromatosis)، وهو الزّيادة في حديد الدم. أما النساء، فهنّ أقلّ عرضة لهذا المرض بسبب الطّمث. وعلى الرّغم من أنّ عدد الرجال الذين استفادوا من عملية الفصد قليل، إلا أنّ الشهادات بنجاحها أدت إلى انتشار ممارستها، ولكنها أودت بحياة الكثير منهم.

لا يوجد هناك ادعاء مهمّ مهما كان خياليًّا لا يوجد إثباتات لدعمه. فالادعاءات بأنّ الأرض مسطحة، والادعاءات بوجود الصّحون الطائرة هي غير ضارة، ويمكن أن تدهشنا. وبالمثل، فإنّ العلاج المغناطيسي لا يضر بالعديد من المعتلين جسديًّا، ولكنه ليس لعلاج التشوهات الخطيرة، كما أنّه ليس بديلا للطب الحديث. يمكن أن يشجع العلم الزائف بقصد الخداع، أو نتيجة نقص ما، أو مجرد أمانيّ. ومع ذلك، فإنّ العلم الزائف يشكل تجارة رائجة؛ فسوق المعالجة المغناطيسية وغيرها من الأشياء غير المنطقية واسع الانتشار.

وعلى العلماء أن يبقوا منفتحي العقل، وأن يكونوا مستعدين لتقبل الاكتشافات الجديدة، مع استعدادهم للتحدي بالأدلة الجديدة. ولكن على العلماء أيضًا مسؤولية لإعلام المجتمع عندما يخدع، وفي الواقع، حين يسلبون من قبل الدّجالين الذين يدعون دون إثبات.

---

* بتصرف من: علم الودونية: "الطريق من الحماقة إلى الاحتيال" لروبرت بارك، مطبوعات جامعة أكسفورد 2000
Voodoo Science: the Road From Foolishness To Fraud, by Robert L. Park, Oxford University Press, 2000.

ملخّص المصطلحات

قانون كولوم Coulomb's law: العلاقة بين كلّ من القوة الكهربائيّة والشّحنة والمسافة: إذا كانت الشّحنات متشابهة في النوع، فالقوة تنافر، أما إذا كانت الشّحنات مختلفة فتكون القوة جاذبًا.

كولوم Coulomb: الوحدة العالمية (SI) للشحنة الكهربائيّة. كولوم واحد (الرمز C) يساوي في القيمة مجموع شحنات 6.25×10^{18} إلكترون.

مستقطب كهربائيًا Electrically polarized: يطلق على الذرة (أو الجزيء) التي تترتب الشّحنات فيها بحيث يكون أحد الجوانب مشحونًا بشحنة فائضة موجبة، في حين يكون الجانب الآخر ذا شحنة إضافية سالبة.

المجال الكهربائيّ Electric field: هو القوة لوحدة الشّحنة، ويمكن اعتباره هالة نشطة محيطة بالأجسام المشحونة. يتناقص المجال مع المسافة حول نقطة مشحونة بحسب قانون التربيع العكسيّ، مثل المجال الجذبي. يكون المجال الكهربائيّ منتظمًا بين الصفائح المتوازية المشحونة بشحنتين متعاكستين.

طاقة الوضع الكهربائيّة Electric potential energy: الطّاقة التي تمتلكها الشّحنة نتيجة موقعها في المجال الكهربائيّ.

الجهد الكهربائيّ Electric potential: طاقة الوضع الكهربائيّة لكلّ كمية الشّحنة، وتقاس بالفولت، وتسمّى، غالبًا، الجهدَ.

الموصل Conductor: أيّ مادة لها جسيمات حرّة مشحونة تنساب من خلالها بسهولة عندما تؤثر فيها قوة كهربائيّة.

فرق الجهد Potential difference: الفرق في الجهد بين نقطتين. يقاس بالفولت ويسمّى، عادة، فرقَ الجهد.

التّيّار الكهربائيّ Electric current: انسياب الشّحنة الكهربائيّة التي تنقل الطّاقة من موقع إلى آخر.

الأمبير Ampere: وحدة التّيّار الكهربائيّ، معدل سريان شحنة كهربائية بمقدار 1 كولوم في الثّانية.

التّيّار المستمر Direct current (dc): التّيّار الكهربائيّ الذي يسري في اتّجاه واحد فقط.

التّيّار المتناوب Alternating current (ac): التّيّار الكهربائيّ الذي يعيد تغيير اتّجاهه، تهتز الشّحنات الكهربائيّة حول نقاط ثابتة. معدل الاهتزاز في الولايات المتحدة هو 60 هرتز.

المقاومة الكهربائيّة Electrical resistance: صفة المادة التي تقاوم سريان التّيّار الكهربائيّ من خلالها، وتقاس بالأوم (Ω).

الموصل الفائق Superconductor: أيّ مادة تنعدم فيها المقاومة الكهربائيّة، حيث تسري الإلكترونات فيها دون فقدان طاقة، ودون توليد حرارة.

قانون أوم Ohm's law: يتغير التّيّار في الدائرة الكهربائيّة بتناسب مباشر مع فرق الجهد وعكسيًّا مع المقاومة:

التّيّار = الجهد / المقاومة

ينتج تيار مقداره 1 أمبير عندما يؤثّر فرق جهد مقداره 1 فولت عبر مقاومة مقدارها 1 أوم.

دائرة التّوالي Series circuit: دائرة كهربائيّة بأجهزة موصلة بطريقة يسري فيها التّيّار الكهربائيّ نفسه خلال كلّ جهاز.

دائرة التّوازي Parallel circuit: دائرة كهربائيّة تتكوّن من جهازين أو أكثر، موصولين بطريقة يتساوى فيها فرق الجهد المؤثر في أيّ منهما، أو على أيّ جهاز يكمل الدائرة باستقلالية.

القدرة الكهربائيّة Electric power: معدل انتقال الطّاقة، أو معدل بذل الشّغل، كمية الطّاقة لوحدة الزمن، والتي يمكن قياسها بحاصل ضرب التّيّار × الجهد:

القدرة = التّيّار × الجهد

وتقاس بالواط (أو الكيلو واط)، حيث 1 أمبير × 1 فولت = 1 واط.

أسئلة مراجعة

1.8 الشّحنة الكهربائيّة

1. أي أجزاء الذّرة موجب الشّحنة، وأيها سالب الشّحنة؟
2. كيف تقارن شحنة إلكترون بشحنة إلكترون آخر؟
3. كيف تقارن كتل الإلكترونات بكتل البروتونات؟
4. عادة، كيف تقارن عدد البروتونات في النواة الذرية بعدد الإلكترونات التي تدور حول النواة؟
5. ما نوع الشّحنة التي يمتلكها جسم عندما تنزع إلكترونات منه؟
6. ما المقصود بقولنا: إنّ الشّحنة محفوظة؟

2.8 قانون كولوم

7. ما أوجه الشبه والاختلاف بين قانوني كولوم ونيوتن في الجاذبية؟
8. كيف تقارن شحنة مقدارها 1 كولوم بشحنة إلكترون مفرد؟
9. كيف تتغير مقدار القوة الكهربائيّة بين زوج من الجسيمات المشحونة عندما تبتعد الجسيمات بعضها عن بعضها بمقدار الضعف، وبمقدار ثلاثة أضعاف المسافة التي كانت بينهما؟
10. كيف يختلف جسم مستقطب كهربائيًّا عن جسم مشحون كهربائيًّا؟

3.8 المجال الكهربائيّ

11. أعط مثالين على مجالات القوى المألوفة.
12. كيف تعرف اتّجاه المجال الكهربائيّ؟

4.8 الجهد الكهربائيّ

13. ميز بين طاقة الوضع الكهربائيّ وفرق الجهد من خلال الوحدات التي تقاس بها كلّ منهما.

14. يمكن شحن بالون بسهولة بعدة آلاف من وحدات الفولت. هل هذا يعني أنه يحتوي على طاقة بعدة آلاف من وحدات الجول؟ فسِّر.

5.8 مصادر الجهد

15. ما الشّرط اللازم لإدامة انسياب الشّحنة الكهربائيّة خلال وسط موصل؟
16. ما كمية الطّاقة التي تعطى لكلّ شحنة مقدارها كولوم عند مرورها خلال بطارية فرق الجهد بين طرفيها -6 فولت؟

6.8 التّيار الكهربائيّ

17. هل تنساب الشّحنة الكهربائيّة عبر الدائرة أم من خلالها؟ هل ينساب الجهد عبر الدائرة أم يؤثر (يُسلط) عبر الدائرة؟ فسِّر.
18. ميِّز بين الـ dc والـ ac: المستمر والمتناوب.
19. ما الذي تنتجه البطارية: dc أم ac؟ وما الذي ينتجه المولد في محطة القوى: dc أم ac؟

7.8 المقاومة الكهربائيّة

20. أيّ السّلكين له مقاومة أكبر: السميك أم الرفيع. علمًا بأنّ لهما الطول نفسه؟
21. ما وحدة المقاومة الكهربائيّة؟

8.8 قانون أوم

22. ما الأثر في التّيار خلال دائرة لها مقاومة ثابتة عند مضاعفة الجهد؟ ماذا لو تضاعف الجهد والمقاومة معًا؟
23. أيهما له مقاومة أكبر: الجليد المبلول أم الجاف؟
24. ما دور الشّعبة الثّالثة في القابس لجهاز كهربائيّ؟
25. ما مصدر الإلكترونات التي تعمل صدمة عندما تلمس موصلا مشحونًا؟

9.8 الدوائر الكهربائيّة

26. في دائرة مكونة من مصباحين موصلين على التّوالي. إذا كان التّيار في أحدهما 1 أمبير. فما التّيار في المصباح الآخر؟
27. إذا أثرت 6 فولت عبر دائرة في المسألة 26. وكان فرق الجهد عبر المصباح الأول هو 2 فولت. فما فرق الجهد عبر المصباح الثّاني؟
28. كيف تقارن التّيار الكلّيّ عبر الفروع في الدائرة المتوازية مع التّيار عبر مصدر الجهد؟
29. تفتح خطوط خدمة أخرى في مطاعم الوجبات السّريعة. وتقل المقاومة لحركة الناس الذين يحاولون شراء الوجبات. كيف تقارن هذا بما يحدث عندما تزيد الفروع المتوازية في الدائرة؟

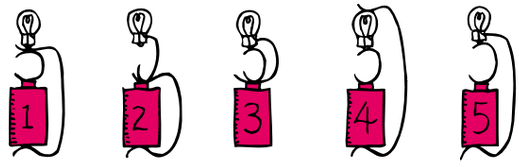
10.8 القدرة الكهربائيّة

30. ما العلاقة بين كلّ من القدرة الكهربائيّة. والتّيار. والجهد؟

مسائل

مبتدئ ■ متوسط المعرفة خبير

1. عندما تمشط شعرك. فإنّ الإلكترونات تنبعث منه وتذهب إلى المشط. هل يصبح شعرك موجبًا أم سالب الشّحنة؟ وماذا عن المشط؟
2. عند دلك مادة بأخرى. تقفز الإلكترونات بسهولة من الأولى إلى الثانية. ولكن لا تقفز البروتونات. ما السبب في ذلك؟ (فكّر في المصطلحات الذرية.)
3. لو كانت الإلكترونات موجبة والبروتونات سالبة. فهل يكتب قانون كولوم بالطريقة نفسها. أم بطريقة أخرى؟
4. تتنافر خمسة آلاف بليون بليون إلكترون الحرة في قطعة النقد. بعضها مع بعض. لماذا لا تنبعث هذه الإلكترونات مغادرة قطعة النقد؟
5. تؤثر شحنتان متساويتان بقوة إحداهما في الأخرى. كيف تقارن القوتين اللتين تؤثران بها كل واحدة في الأخرى؟
6. كيف تقارن مقدار القوة الكهربائيّة بالشّحنة الكهربائيّة بين زوج من الجسيمات المشحونة عندما تقترب إحداهما من الأخرى لتصبح المسافة بينهما نصف المسافة الأصلية؟ وإلى $\frac{1}{4}$ المسافة الأصلية؟ وإلى أربعة أضعاف المسافة الأصلية؟ (ما القانون الذي يرشدك إلى الإجابة؟).
7. افترض أنّ شدة المجال الكهربائيّ حول شحنة نقطية معزولة لها قيمة معينة على بعد 1م. كيف تقارن شدة المجال الكهربائيّ على بعد 2م من الشّحنة النقطية؟ ما القانون الذي تسترشد به؟
8. لماذا يكون الموصل الجيد للكهرباء موصلًا جيدًا للحرارة أيضًا؟
9. إذا بذلت شغلا بمقدار 10 جول لدفع 1 كولوم من الشّحنة مقابل مجال كهربائي. فما الجهد بالنسبة إلى موقع البدء؟ وعند إطلاقها. ما طاقتها الحركية إذا تخطت موقع البدء؟
10. ما الجهد عند موقع شحنة مقدارها 0.0001 كولوم. والتي لها طاقة وضع كهربائية تساوي 0.5 جول (كلّ من الجهد والوضع نسبيّ بالنسبة إلى النقطة المرجعية)؟
11. ماذا يحدث لسطوع ضوء ينبعث من مصباح عند زيادة التّيار فيه؟
12. يقول معلمك: إنّ الأمبير والفولت في الحقيقة قياس للشيء نفسه. ولكن المصطلحات المختلفة تؤدي إلى لبس في المفهوم الواحد. لِمَ عليك البحث عن معلم آخر؟
13. في أيّ الدوائر أدناه يوجد تيار لإنارة المصباح؟



14. هل ينساب تيار خارج من البطارية أكثر من الداخل إليها؟ هل ينساب تيار إلى المصباح أكثر من التّيار الخارج عنه؟ فسِّر.
15. أحيانًا تسمع أحدهم يقول: إنّ أداة معينة "تستهلك" كهرباء. ما الذي تستهلكه الأداة في الحقيقة ؟ وماذا ينتج عنه؟
16. يتكون جهاز كشف الكذب البسيط من دائرة كهربائية. أحد أجزائها جزء من جسمك. مثل الدائرة التي توصل أحد أصابعك بإصبع

أخرى. يبين جهاز حساس التّيّار الذي يسري عند تطبيق جهد صغير. كيف تدل هذه الآلة على أنّ الشخص يكذب؟ (وكيف تدل على أنّ الشّخص صادق؟)

17. □ تتحول نسبة مئوية قليلة فقط من الطّاقة الكهربائيّة التي تغذي المصباح العادي إلى ضوء. ولكن، ماذا يحدث لما بقي منها؟

18. □ أيّ المصباحين يسحب تيارًا أكثر: المصباح ذي الفتيلة السميكة أم المصباح ذي الفتيلة الرفيعة؟

19. □ هل التّيّار في المصباح الموصول بمصدر 220 فولت أكبر من التّيّار في المصباح الموصول بمصدر 110 فولت أم أقلّ ؟ فسِّر.

20. □ أيهما يحدث ضررًا أقلّ: وصل أداة 110 فولت بدائرة لها مصدر 220 فولت، أم أداة 220 فولت بدائرة لها مصدر 110 فولت؟ فسِّر.

21. □ إذا سرى تيار شدته 0.1 أو 0.2 أمبير في إحدى يديك إلى الأخرى، فإنّه سيقضي عليك على الأغلب. ولكن إذا سرى التّيّار نفسه في يديك وخرج إلى مرفق اليد نفسها، فإنّك ستنجو على الأغلب. ومع ذلك يمكن أن يكون التّيّار عاليًا بما يكفي لحرق أنسجتك. فسِّر.

22. □ ما التّيّار الذي تتوقع إيجاده في فتيلة مصباح منزلك: dc أم ac؟ ماذا عن المصباح الأمامي للسيارة؟

23. □ هل المصابيح الأمامية في السيارة موصولة على التّوازي أم على التّوالي؟ ما دليلك؟

24. □ ما الوحدة المماثلة لـ: أ- جول لكلّ كولوم؟ ب- كولوم لكلّ ثانية؟ ج- واط – ثانية؟

25. □ لوصل زوج من المقاومات بحيث تكون مقاومتهما المكافئة أكبر من أيّ منهما، هل يجب وصلهما على التّوالي أم على التّوازي؟

26. □ لوصل زوج من المقاومات بحيث تكون مقاومتهما المكافئة أقلّ من أيّ منهما، هل يجب وصلهما على التّوالي أم على التّوازي؟

27. □ يقول صديق: إنّ البطارية ليست مصدرًا للتيار الثابت، ولكنها مصدر لجهد ثابت. هل تتفق معه أم تختلف؟ لماذا؟

28. □ يقول صديق: إنّ إضافة مصباح على التّوالي في دائرة يضع عقبات أكثر لانسياب الشّحنة، لذا يكون هناك تيار أقلّ مع مصابيح أكثر، ولكن إضافة مصابيح على التوازي يزيد من عدد المسارات، وعليه، يمكن انسياب تيار أكبر. هل تتفق معه أم تختلف؟ لماذا؟

29. □ قدِّر عدد الإلكترونات التي تزود بها شركة الكهرباء المنازل سنويًّا في مدينة عادية يقطنها 50,000 نسمة.

30. □ إذا انسابت الإلكترونات ببطء شديد في الدائرة، فلِمَ لا يمرّ وقت ملحوظ قبل أن يتوهّج المصباح عندما تشغل مفتاحًا بعيدًا؟

31. □ افترض زوجًا من المصابيح موصولة ببطارية. أيّ التّوصيلين يعطي توهّج سطوع أكثر: التّوالي أم التّوازي؟ أيّ التوصيلين يسرّع في نفاد البطارية: التّوالي أم التّوازي؟

32. ■ كاشف الشّحنة جهاز بسيط يتكوّن من كرة فلزّيّة متصلة مع موصل برقاقتين فلزّيّتيْن ومحمية من الهواء داخل قارورة، كما هو في الشّكل. عند لمس الكرة بجسم مشحون تنفرج الأوراق التي تكون معلقة بشكل مستقيم. لماذا؟ (كاشف الشّحنة مفيد ليس ككاشف للشحنة فقط، ولكن أيضًا لقياس مقدارها: كلما زاد مقدار الشّحنة المنتقلة إلى الكرة، زاد انفراج الورقتين).

33. ■ تنطبق ورقتا المكشاف الكهربائيّ المشحون في الوقت نفسه. وتنطبق بسرعة أكبر عند ارتفاعات عالية. لِمَ يعدّ هذا صحيحًا؟ (مساعدة: لقد استدل على وجود الإشعاعات الكونية بهذه الملاحظة.)

34. ■ بدقة، أيّ الكتلتين لقطعتي نقد أكبر: المشحونة بشحنة سالبة، أم المشحونة بشحنة موجبة؟ فسِّر.

35. ■ عند تحرك سيارة إلى حجرة الدهان، ينتثر رذاذ من الدّهان حولها. وعند تعريض جسم السيارة لشحنة كهربائية فجأة، ينجذب رذاذ الدهان للجسم بسرعة. تدهن السّيارة بسرعة وبانتظام. ما علاقة ظاهرة الاستقطاب بهذا؟

36. ■ إذا وضعت إلكترونًا وبروتونًا حرّين في المجال الكهربائيّ نفسه، فكيف تقارن: 1- القوى المؤثرة فيهما؟ 2- تسارعهما؟ 3- اتجاه انتقالهما؟

37. ■ أحد أنظمة الماء هو خرطوم ريّ الحديقة الذي يُسقى به. وهناك نظام آخر هو نظام تبريد السيارة. أيهما يقابل سلوكُه سلوكَ الدائرة الكهربائيّة؟ ولماذا؟

38. ■ هل صحيح القول إنّ طاقة بطارية السّيارة تأتي في النهاية من خزان غاز الوقود؟ دافع عن إجابتك.

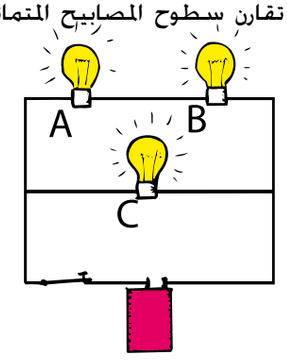
39. ■ لسلك نحاس طوله ميل واحد مقاومة مقدارها 10 Ω. ما مقاومة السّلك الجديدة عند: (أ) تقصيره إلى النصف؟ (ب) ثنيه واستخدامه كسلك واحد بنصف الطول وضعف مساحة المقطع العرضي؟

40. ■ تبدد الأضواء الأمامية في سيارة 40 واط على الضوء المنخفض، و50 واط على الضوء العالي. هل هناك مقاومة أكثر أم أقلّ في فتيلة الضّوء العالي؟

41. ■ لماذا يمكن أخذ مدى الجناحين للطيور في الحسبان في تحديد الفراغ بين الأسلاك المتوازية في أقطاب خطوط القوى؟

42. ■ إذا وصلت مصابيح على التّوالي لبطارية، فقد تشعر بسخونة عند لمسهما حتى لو لم يكن التوهج مرئيًا. ما تفسيرك؟

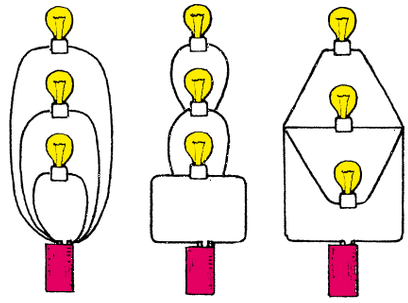
43. ■ في الدائرة المبينة، كيف تقارن سطوع المصابيح المتماثلة؟ أيّ المصابيح يسحب تيارًا أكثر؟



44. ■ عند وصل مزيد من المصابيح على التّوالي إلى بطارية مصباح، فماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح؟ افترض أنّ الحرارة داخل البطارية

مهملة. فماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح عند توصيل مزيد من المصابيح على التّوازي؟

45. ■ هل هذه الدوائر متكافئة؟ اذكر السّبب إذا كان الجواب بالنفي أو بالإيجاب.



46. ■ للبطارية مقاومة داخلية. فإذا ازداد التّيّار الذي تزودنا به فإنّ الجهد الذي تزودنا به ينخفض. فإذا كان العديد من المصابيح موصولة على التوازي عبر بطارية فهل يضعف سطوعها؟ فسِّر.

47. ■ يقول صديقك: إنّ التّيّار الكهربائيّ يسلك المسار الأقلّ مقاومة. لماذا يكون أكثر دقة في حالة الدائرة المتوازية القول: إنّ معظم التّيّار ينتقل عبر المسار الأقلّ مقاومة؟

48. □ إذا وُصل مصباحان 60 واط و100 واط في دائرة على التّوالي. فعبر أيّ مصباح يكون انخفاض الجهد أكبر؟ وماذا لو كانا موصولين على التّوازي؟

مسائل

□ مبتدئ ■ متوسط المعرفة □ خبير

1. □ كريتان، شحنة كلّ منهما 1 ميكروكولوم (كولوم)، والمسافة بينهما 3 سم (0.03 م). بيّن أنّ القوة الكهربائيّة بينهما هي 10 نيوتن.

2. □ شحنتان نقطيتان تفصلهما مسافة 6 سم. فإذا علمت أنّ قوة التجاذب بينهما 20 نيوتن. فبيّن أنه إذا أصبح البعد بينهما 12 سم، فستصبح القوة بينهما 5 نيوتن. (لماذا يمكن أن تحلّ هذه المسألة دون معرفة مقدار الشّحنات؟).

3. □ إذا كانت الشّحنات المتجاذبة في السّؤال السّابق متساوية في القيمة، فبين أنّ قيمة كلّ شحنة هي 2.8 ميكروكولوم.

4. □ تحمل قطرة صغيرة جدًا حبر في طابعة تحمل شحنة مقدارها 1.6×10^{-10} C كولوم، وتنفث على الورقة بقوة مقدارها 3.2×10^{-4} N. نيوتن. بيّن أنّ شدة المجال الكهربائيّ اللازم للحصول على هذه القوة $2x10^{6}$ هو نيوتن/كولوم.

5. □ عندما يَبذُل مجالٌ كهربائيّ شغلًا بمقدار 12 جول على شحنة مقدارها 0.0001 كولوم، (أ) بيّن أنّ مقدار فرق الجهد هو 120,000 فولت. (ب) عندما يؤثر المجال نفسه بشغل مقداره 24 جول في شحنة مقدارها 0.0002 كولوم، فبين أنّ فرق الجهد هو نفسه.

6. ■ يعطى التّيّار الناتج في دائرة كهربائية بجهد V فولت ومقاومته R، بقانون أوم، $I = V/R$. بيّن أنّ المقاومة في دائرة كهربائية يسري فيها تيار مقداره I أمبير، وتحت تأثير فرق جهد V يعطى بالمعادلة $R = V/I$.

7. ■ يؤثر الجهد نفسه في كلّ فرع في الدائرة المتوازية. يزود مصدر الجهد تيارًا إجماليًّا I_{total} إلى الدائرة، ويرى مقاومة كهربائية مكافئة R_{eq} في الدائرة. أي أنّ، $V = I_{total} R_{eq}$. والتّيّار الكلي يساوي مجموع التّيّارات داخل كلّ فرع في الدائرة الموازية. في الدائرة حيث يكون عدد الفروع، $I_{total} = I_1+I_2+I_3+\ldots+I_n$.
استخدم قانون أوم ($I = V / R$)، وبيّن أنّ المقاومة المكافئة لدائرة كهربائية لها عدد n من الفروع يعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

8. □ إنّ القدرة المسجَّلة على مصباح الإنارة ليست صفة ذاتية للمصباح، ولكنها تعتمد على الجهد الذي توصل به، عادة 110 أو 120 فولت. بيّن أنّ التّيّار في مصباح 60 واط موصول في دائرة بجهد 120 فولت، يساوي 0.5 أمبير.

9. □ أعد ترتيب المعادلة التّيّار= الجهد/ المقاومة، للتعبير عن المقاومة بدلالة التّيّار والجهد. ثم ادرس التالي: جهاز معين بـ 120 فولت كمدخل في دائرة، يمر فيه تيار 20 أمبير. بيّن أنّ مقاومة الجهاز 6 Ω.

10. □ استخدم الصيغة: القدرة= التّيّار× الجهد، وبيّن أنّ التّيّار المسحوب من 1200 واط، مجفف شعر موصول بـ 120 فولت و10 أمبير. ثم استخدم الطريقة نفسها لحلّ المسألة السابقة. وبين كذلك أنّ مقاومة مجفف الشعر 12 Ω.

11. ■ تعطى قدرة دائرة كهربائية بالمعادلة $P = IV$. استخدم قانون أوم للتعويض عن V، وبيّن أنه يمكن التعبير عن القدرة بالمعادلة $P=I^2R$.

12. ■ تعطى الشّحنة الكلية التي يمكن أن تزودها بطارية سيارة دون إعادة شحن بدلالة أمبير×ساعة. بطارية عادية بـ 12 فولت لها معدل سحب 60 أمبير ساعة (60 أمبير لمدة ساعة، 30 أمبير لمدة ساعتين وهكذا). افترض أنك نسيت إطفاء الأضواء الأمامية في سيارتك المتوقفة. إذا كان الضّوء الأماميّ يسحب 3 أمبير، فبيّن أنّ البطارية تنفد بعد 15 ساعة.

13. ■ افترض أنك شغّلت مصباحًا 100 واط باستمرار لمدة أسبوع عندما كان السّعر 20 قرشًا/كيلو واط – ساعة. بيّن أنّ هذا يكلّف 3.36 دولارات.

14. ■ مكواة كهربائية موصولة بمصدر جهد 110 فولت يسحب تيارًا مقداره 9 أمبير. بيّن أنّ الحرارة المتولدة في دقيقة واحدة هي 60 كيلو جول تقريبًا.

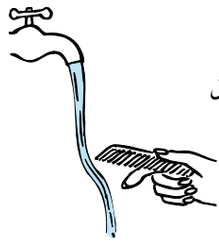
15. ■ للمكواة الكهربائيّة في السّؤال السّابق، بيّن أنّ عدد الإلكترونات التي تسري خلالها في دقيقة هي 540 كولوم.

16. □ مصباح ضوئيّ معيّن مقاومته 95 أوم، مسجل عليه "150 واط". هل يعمل هذا المصباح في دائرة كهربائية بـ 120 فولت، أم في دائرة بـ 220 فولت؟

17. في قدرة التشغيل القصوى تقوم شركات القوى بخفض الجهد؛ لأنّ هذا يوفر عليها طاقة (ويوفر عليك مالا)! ولكي ترى هذا الأثر؛ ادرس محمصة 1200 واط تسحب تيارًا 10 أمبير عند وصلها بـ 120 فولت. افترض أنه تم خفض الجهد 10% ليصبح 108 فولت. كم ينقص التّيار؟ كم تنقص القدرة؟ (**تحذير:** إنّ الـ 1200 واط المسجلة صالحة فقط عند تطبيق جهد 120 فولت. وعند تخفيض الجهد، تبقى مقاومة المحمصة هي الثابتة، وليس قدرتها.)

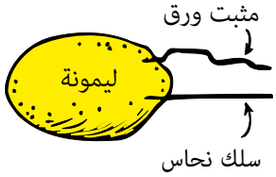
أنشطة استكشافية

1. اكتب رسالة إلى عمك العزيز، وأخبره عن مدى التقدم الذي أحرزته في الفيزياء. تناول معظم المصطلحات في هذا الفصل، وكيف تدرس لتزيد من فهمك. اختر أربعة مصطلحات للمناقشة. اربط هذه المصطلحات بأمثلة عملية.
2. وضّح الشحن بالاحتكاك والتفريغ من مواقع مع صديق يقف في الطرف البعيد على سجادة في الغرفة. سر بحذاء جلديّ على البساط حتى تتقارب أنفاسكما. يمكن أن تشعر بوخزة مريحة، ويعتمد ذلك على كلّ من مدى جفاف الهواء، ومدى تقابل أنفيكما.
3. ادلك المشط بخفة بشعرك أو بثوب من الصّوف، وضعه قريبًا من تيار مائيّ خفيف. هل يصبح التّيار المائيّ مشحونًا؟ (قبل أن تقول نعم، لاحظ سلوك التّيار المائيّ عند تقريب شحنة معاكسة منه.)



4. تُصنع الخليّة الكهربائيّة بوضع صفيحتين لهما انجذابات مختلفة للإلكترونات في محلول موصل. يمكنك صنع خلية بسيطة 1.5 فولت بوضع شريط من النّحاس وشريط آخر من الخارصين في كأس ماء مالح. يعتمد جهد الخليّة على كلّ من المواد المستخدمة والمحلول الذي توضع فيه هذه المواد، وليس على حجم الصفيحتين؛ إنّ البطارية سلسلة من الخلايا.

يمكن بناء خلية بسهولة، هي خلية الحامض. ضع مشبك ورق، وقطعة من سلك نحاسيّ في ليمونة. قرب نهايتي السّلكين إحداهما من الأخرى ولكن دون أن يتلامسا، وضع الاثنين على لسانك. إنّ الوخزة الخفيفة التي تشعر بها، وكذلك الطعم الفلزي الذي تتذوقه ينتج عن التّيار الكهربائيّ المدفوع من خلية الليمون خلال الأسلاك عندما يغلق اللعاب الدائرة على لسانك.



اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيّدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة على الأقل من 10 في هذا الامتحان. وإن لم تستطع ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى فصل آخر.

اختر الإجابة الأفضل فيما يلي:

1. عندما تمشط شعرك، وتنزع إلكترونات من الشّعر، فإنّ شحنة شعرك تصبح:
أ. موجبة.
ب. سالبة.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.
2. حسب قانون كولوم، إذا وضع زوج من الجسيمات المشحونة على مسافة تبلغ ضعف المسافة بينهما فإنهما يتأثران:
أ. بقوى أقوى مرتين.
ب. بقوى أقوى أربع مرات.
ج. بنصف القوة.
د. بربع القوة.
3. يحيط المجال الكهربائيّ بـ:
أ. الشّحنة الكهربائيّة جميعها.
ب. الإلكترونات جميعها.
ج. البروتونات جميعها.
د. جميع ما ذكر.
4. عندما تزيد طاقة الوضع لجسيم مشحون فأنت تزيد قدرته على:
أ. عمل شغل.
ب. شحن جسيمات أخرى.
ج. التوصيل.
د. التحوُّل إلى حرارة.
5. مقاومة Ω 10 تحمل تيارًا شدته 10 أمبير. إنّ الجهد عبر المقاومة هو:
أ. صفر.
ب. أكبر من صفر وأقلّ من 10.
ج. 10 فولت.
د. أكثر من 10 فولت.
6. يمكنك لمس مولد فان دي غراف بجهد 10,000 فولت وتفريغه بأذى قليل؛ وذلك لأنه على الرغم من أنّ الجهد عال فإنّ هناك القليل (نسبيًّا) من:
أ المقاومة.
ب. الطّاقة.
ج. جميع ما ذكر.
د. لا شيء مما ذكر.

7. بالمقارنة بالتّيّار في فتيلة مصباح، فإنّ شدة التّيّار في أسلاك التوصيل هي:
أ. بالتأكيد أقلّ.
ب. غالبًا أقلّ.
ج. أكثر.
د. الشيء نفسه.
هـ. بشكل لا يصدّق، جميع ما ذكر.
8. عند وصل مزيد من المصابيح في دارة توالٍ فإنّ التّيّار الإجمالي في مصدر الطّاقة
أ. يزداد.
ب. يتناقص.
ج. يبقى كما هو.
د. لا شيء مما ذكر.
9. عند وصل مزيد من المصابيح في دارة توازٍ، فإنّ التّيّار الإجمالي في مصدر الطّاقة
أ. يزداد.
ب. يتناقص.
ج. يبقى كما هو.
10. معدل استهلاك القدرة في مصباح موصول بمصدر 12 فولت عندما يحمل تيار 1.5 أمبير بالواط هو:
أ. 8.
ب. 12.
ج. 18.
د. لا شيء مما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

10ج، 9أ، 8ب، 7د، 6أ، 5د، 4أ، 3ب، 2ب، 1أ

الفصل 8 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 8.2، 8.3، 8.9، 8.10، 8.29، 8.30

دروس تعليمية

- الكهرباء الساكن (إلكتروستاتيك)
- الكهرباء والدوائر الكهربائية

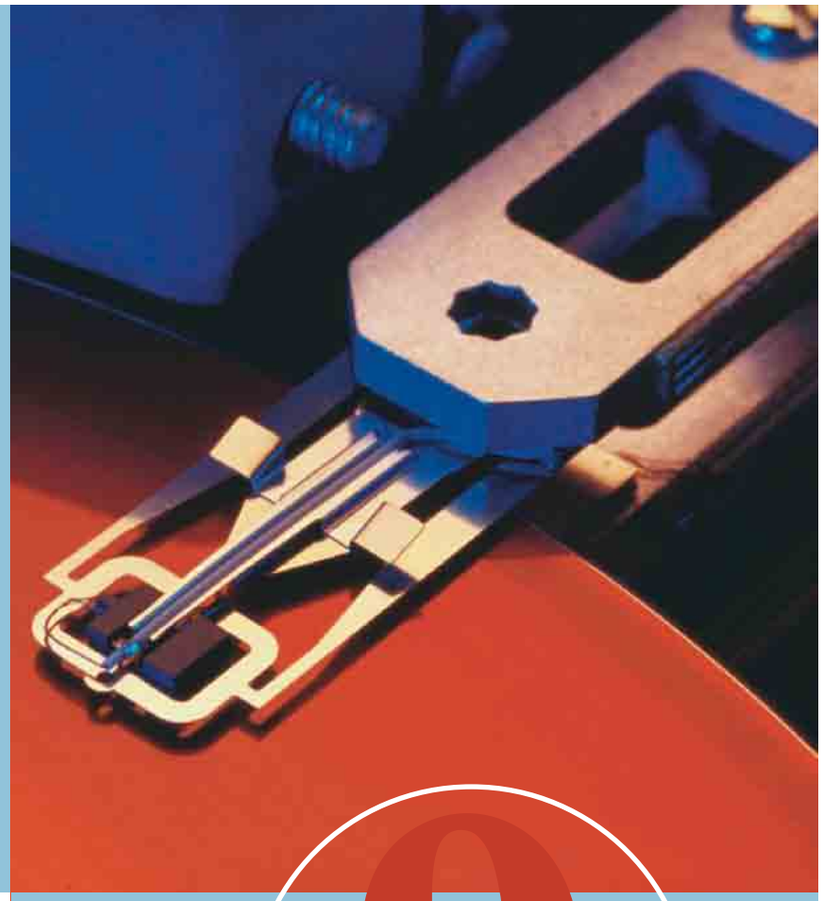
أشرطة فيديو

- الجهد الكهربائي
- مولد فاند جراف
- الحذر عند التعامل مع الأسلاك الكهربائية
- الطيور وخطوط الضغط العالي
- التيار المتردد
- قانون أوم
- الدوائر الكهربائية

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



9

المغناطيسيّة والحثّ الكهرومغناطيسيّ

1.9 الأقطاب المغناطيسيّة

2.9 المجالات المغناطيسيّة

3.9 المناطق المغناطيسيّة

4.9 التّيّارات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة

5.9 القوى المغناطيسيّة المؤثّرة في الشّحنات المتحرّكة

6.9 الحثّ الكهرومغناطيسيّ

7.9 المولِّدات والتّيّار المتناوب

8.9 إنتاج الطّاقة

9.9 المحوّل؛ رافع أو خافض الجهد

10.9 حثّ المجال

■ اشتق مصطلح *المغناطيسيّة* من كلمة ماغنيسيا، وهو اسم لمدينة قديمة في آسيا الصغرى، حيث وجد اليونان أحجارًا غير عادية قبل نحو 2000 عام تقريبًا. سميت هذه الأحجار بأحجار المغناطيس، ولها خصائص غير عادية في جذب قطع الحديد. لقد كان أول تطبيق لهذه المغانط في صناعة البوصلات التي استخدمت من قبل الملاحين الصّينيين في القرن الثاني عشر بعد الميلاد.

تمكن وليم جلبرت William Gilbert، طبيب الملكة إليزابيث في القرن السّادس عشر، من عمل مغانط صناعية بدلك قطع من الحديد بأحجار مغناطيسيّة، واستنتج أنّ البوصلة تشير دائمًا نحو الشّمال والجنوب؛ لأنّ الأرض نفسها لها خصائص مغناطيسيّة. ولاحقًا في عام 1750م، وجد جون ميتشل John Michell في إنجلترا أنّ الأقطاب المغناطيسيّة تخضع لقانون التّربيع العكسيّ. وقد أكد شارلز كولومb Charles Coulomb هذه النتيجة.

تطوّر موضوعا المغناطيسيّة والكهرباء باستقلالية أحدهما عن الآخر حتى عام 1820م، عندما اكتشف الفيزيائيّ الدنماركيّ كريستشيان أوريستد Christian Oersted، بشرح توضيحي في غرفة الصّفّ، أنّ البوصلة المغناطيسيّة تتأثر بالتّيّار الكهربائيّ* . لقد بيّن في أثناء شرحه أنّ المغناطيسيّة ترتبط بالكهرباء. وبعدها بفترة بسيطة، اقترح الفيزيائيّ الفرنسي أندريه أمبير Andre Ampere أنّ التّيّارات الكهربائيّة هي مصدر الظواهر المغناطيسيّة جميعها.

في كتاب "الأيام السّالفة" لـ ديك تراسي "Days Gone, Dick Tracy"، وإضافة لتنبئه باختراع الهاتف النّقال، فإنه وصف المستقبل بقوله "من يستطع تطويع المغناطيسيّة يتحكم في العالم".

1.9 الأقطاب المغناطيسيّة

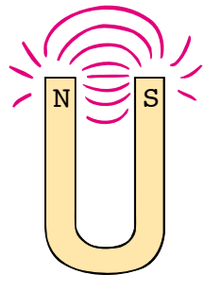
يعرف أيّ شخص يتعامل مع المغانط أنّ بعضها يؤثر في بعض بقوة في بعضها. تشبه **القوّةُ المغناطيسيّة (Magnetic Force)** القوّةَ الكهربائيّة من حيث إنه قدرة المغناطيس على الجذب والتنافر دون لمس (يعتمد على أي طرف مغناطيس يتم تقريبه من الآخر). وتعتمد شدة تفاعله على المسافة بين المغناطيسين. وفي حين تنتج الشّحنات الكهربائيّة قوى كهربائيّة، فإنّ مناطق تسمى الأقطاب المغناطيسيّة تؤدي إلى قوى مغناطيسيّة.

إذا علّقت قضيبًا مغناطيسيًّا من وسطه بخيط، فستحصل على بوصلة. إحدى النهايتين تسمى القطب الباحث عن الشّمال؛ ويشير إلى الشّمال. أمّا النهاية المعاكسة فتسمى القطبَ الباحث عن الجنوب؛ يشير إلى الجنوب. وببساطة أكثر، يسمى هذان القطبان قطبي الشّمال والجنوب. إنّ المغانط جميعها لها قطبان؛ قطب شماليّ والآخر جنوبيّ (بعضها له أكثر من قطب). لمغانط الثلاجة شرائط رقيقة من الأقطاب الشّماليّة والجنوبيّة المتناوبة. هذه المغانط قوية وقادرة على تثبيت صفحة من الورق على باب الثلاجة، ولكن مداها قصير جدًّا؛ لأنّ القطبين الشّماليّ والجنوبيّ يلغي أحدهما الآخر على مسافة قصيرة من المغناطيس. وفي القضيب المغناطيسيّ البسيط، يكون القطبان عند النهايتين. إنّ المغناطيس المألوف الذي على شكل حذاء فرس هو قضيب مغناطيس مثنيّ على شكل حرف U. ويكون قطباه عند نهايتيه أيضًا.

إذا وضع القطب الشّماليّ لمغناطيس على مقربة من القطب الشّماليّ لمغناطيس آخر، فإنهما يتنافران. والشيء نفسه يحدث عند وضع قطب جنوبيّ بالقرب من قطب جنوبيّ آخر. ولكن إذا قرّبت الأقطاب المختلفة بعضها مع بعض، فسيحدث عندئذٍ تجاذب.**

الأقطاب المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

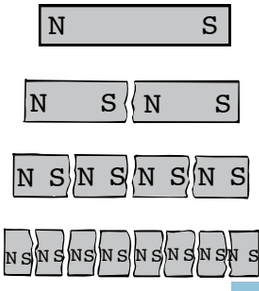
تشبه هذه القاعدة ما للقوى بين الشّحنات الكهربائيّة، والتي فيها تتنافر الشّحنات المتشابهة وتتجاذب الشّحنات المختلفة. إلا أنّ هناك فرقًا مهمًّا جدًّا بين الأقطاب المغناطيسيّة والشّحنات الكهربائيّة. ففي حين توجد شحنات مفردة، لا يوجد أقطاب مغناطيسيّة مفردة في المقابل. إنّ الإلكترونات والبروتونات هي كيانات بذاتها. فلا يلزم مصاحبة مجموعة من البروتونات لمجموعة من الإلكترونات والعكس صحيح. ولكن لا يوجد قطب شماليّ دون قطب جنوبيّ، والعكس صحيح. ويشبه القطبان الشّماليّ والجنوبيّ الصورة والكتابة في قطعة العملة نفسها.



الشّكل 1.9
مغناطيس على شكل حذاء فرس.

لمعلوماتك

من المدهش أن يشير القطب الشّماليّ لمغناطيس نحو الشمال، بسبب انجذابه إلى لقطب المغناطيسيّ الجنوبيّ للأرض! فالقطب المغناطيسيّ الشّماليّ للأرض هو القارة القطبية الجنوبيّة (إنتارتيكا). إنّ الأقطاب الجغرافيـــة والمغناطيســـيّة للأرض لا تتطابق.



الشّكل 2.9
إذا كسرت مغناطيسًا من المنتصف فستحصل على مغناطيسين، لكلّ منهما قطب شماليّ وآخر جنوبيّ. استمر في التكسير إلى المزيد والمزيد من الأجزاء لتستنتج أنّك ستحصل على النتائج نفسها؛ توجد الأقطاب المغناطيسيّة كأزواج.

* يمكننا التكهن فقط حول كم مرة كانت هذه العلاقات واضحة حين "لا يفترض أنها كذلك ورُفضت "كأن خللًا هنا قد حدث في الأدوات". ولكن أورستد كان ذكيًا بما يكفي لإدراك أن الطبيعة تكشف عن أحد أسرارها.

** تعطى قوة التجاذب بين قطبين مغناطيسيين بـــ $F : \frac{P_1 P_2}{d^2}$. حيث تمثل P_1, P_2 شدة القطبين المغناطيسيّين ويمثل d البعد بينهما. لاحظ التشابه بين هذه العلاقة وقانوني كولوم ونيوتن في الجذب العام.

إذا كسرت قضيبًا مغناطيسيًا إلى قطعتين فانّ كل قطعة تستمر في السّلوك كبوصلة مغناطيسيّة. وإذا كسرت كلّ قطعة إلى نصفين مرة أخرى، فسيصبح عندك أربع بوصلات مغناطيسيّة. يمكنك الاستمرار في تكسير القطع إلى النصف، ولكنك لن تحصل على قطب مفرد. حتى لو أصبحت القطع بسمك الذرة فسيبقى عندك قطبان في كلّ قطعة. وهذا يثبت أنّ الذرات نفسها مغانط.

■ **نقطة فحص**

هل من الضروري أن يكون لكلّ مغناطيس قطبان: شماليّ وجنوبيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

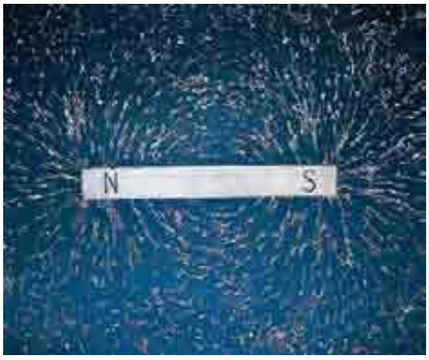
نعم، كما أنّ لكلّ قطعة نقد وجهين: «صورة» و«كتابة» (بعض المغانط لها أكثر من قطبين، ولكن لا يوجد مغناطيس له قطب واحد فقط.)

■ 2.9 المجالات المغناطيسيّة

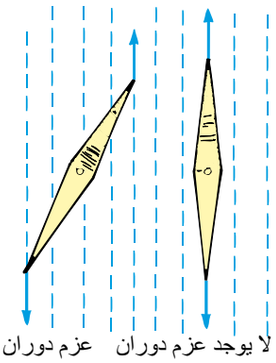
إذا نشرت برادة حديد على صفحة من الورق موضوعة فوق مغناطيس، فسترى آثار البرادة بنمط خطوط حول المغناطيس. يمتلئ الفضاء حول المغناطيس **بالمجال المغناطيسيّ (Magnetic Field)**. تبيّن خطوط المجال المغناطيسيّ المنتشرة من أحد الأقطاب ورجوعها إلى القطب الآخر شكلَ المجال. ومن المفيد مقارنة أنماط المجال في الشّكلين 3.9 و5.9 بأنماط المجال الكهربائيّ في الشّكلين 10.8 و11.8 في الفصل السّابق.

يكون اتجاه المجال خارج المغناطيس، (اصطلاحًا)، من القطب الشّماليّ إلى القطب الجنوبيّ. وحيثما كانت الخطوط متقاربة بعضها من بعض، يكون المجال أقوى. ويمكننا رؤية أنّ شدة المجالات المغناطيسيّة أكبر ما يمكن عند القطبين. إذا وضعنا مغناطيسًا آخر أو بوصلة صغيرة في أيّ مكان في المجال، فإنّ قطبيها يميلان إلى الاصطفاف مع المجال المغناطيسيّ.

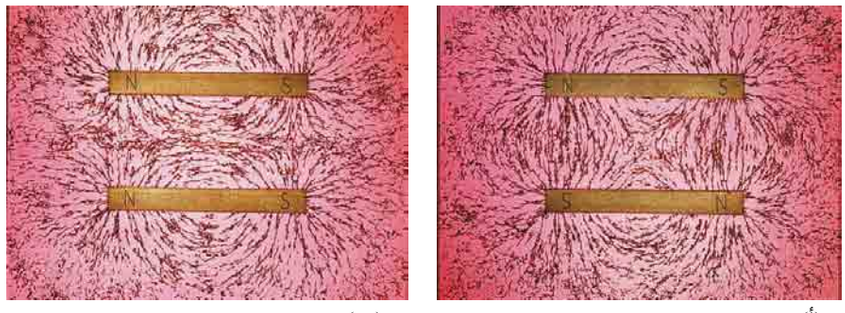
ينتج المجال المغناطيسيّ عن حركة الشّحنة الكهربائيّة*. السؤال إذن: أين هذه الحركة في قضيب مغناطيس عاديّ؟ الجواب: في إلكترونات الذرات المكونة للمغناطيس. تبقى هذه الإلكترونات في حركة دائمة. وهناك نوعان من حركة الإلكترون تنتج مغناطيسيّة هما: 1- برم الإلكترون. 2- دوران الإلكترون.. يصور نموذج علمي مألوف الإلكترونات تبرم حول محورها كالبلبل، حيث تدور حول أنوية ذراتها مثل دوران الكواكب حول الشّمس. وفي معظم المغانط المألوفة، يعدّ برمُ الإلكترون المساهمَ الرئيس في المغناطيسيّة.



الشّكل 3.9
منظر علويّ لبرادة الحديد متناثرة على ورقة فوق مغناطيس. يبين نمط آثار البرادة خطوط المجال المغناطيسيّ في الفضاء المحيط.



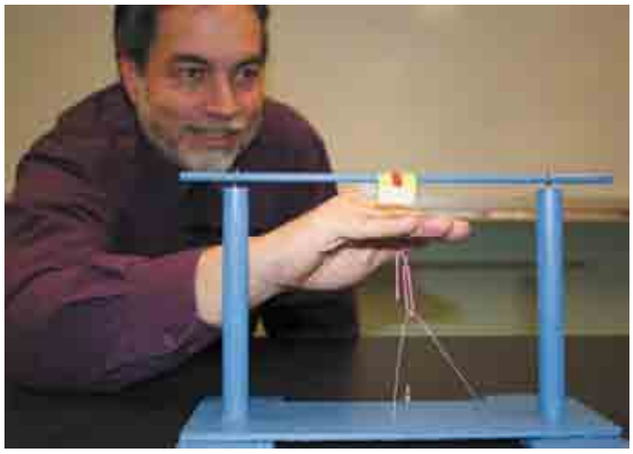
الشّكل 4.9
عندما لا تصطف إبرة البوصلة مع المجال المغناطيسيّ، فإنّ القوى المتعاكسة في الاتجاه تنتج عزم ازدواج يؤدي إلى إدارة البوصلة مع المجال المغناطيسيّ.



(أ) (ب)

الشّكل 5.9
أنماط المجال المغناطيسيّ لزوج من المغانط.
(أ) الأقطاب المختلفة قريبة بعضها من بعض.
(ب) الأقطاب المتشابهة قريبة بعضها من بعض.

* من المدهش، أنه بسبب نسبية الحركة، فإنّ المجال المغناطيسيّ يكون نسبيًّا أيضًا. مثلًا، عندما يتحرك الإلكترون بجانبك، فإنّ هناك مجالًا مغناطيسيًّا محددًا يصاحب حركته. ولكن إذا تحركت بالسرعة نفسها التي للإلكترون، بحيث تنعدم الحركة بالنسبة إليك، فستجد انعدام المجال المغناطيسيّ المصاحب للإلكترون. إنّ المغناطيسيّة نسبية، كما فسرها ابتداء أينشتاين عندما نشر أول بحث عن النظرية الخاصة، "حول الديناميكا الكهربائيّة للأجسام المتحرّكة".



الشّكل 6.9
يبين فريد Fred أنّ المجال المغناطيسيّ لمغناطيس خزفي يخترق النسيج والغلاف البلاستيكيّ فوق ماسك الورق.

لمعلوماتك

تنتج كلّ من الحركتين المغزلية(البرم) والمدارية لكلّ إلكترون في الذرة مجالات مغناطيسيّة. تتحد هذه المجالات بطريقةٍ بنّاءةٍ أو هدّامة لإنتاج المجال المغناطيسيّ للذرة. ويكون هذا المجال أعظم ما يمكن لذرات الحديد. (في الواقع لا تبرم الإلكترونات مثل دوران الكواكب. ولكنها تتصرف كما لو أنها كذلك؛ إنّ مفهوم البرم هو أثر كمّيّ.)

عندما يبرم الإلكترون فإنه يشكل مغناطيسًا ضئيلا. ولكن إذا برم زوج من الإلكترونات في الاتجاه نفسه فسيصنع مغناطيسًا أقوى. أما إذا كان الزّوج من الإلكترونات في اتجاهين متعاكسين، فسيعمل أحدهما ضد الآخر؛ أي يلغيان المجال المغناطيسيّ. ولهذا، تكون معظم المواد غير مغناطيسيّة. في معظم الذرات، تلغي المجالات المتعددة بعضها بعضًا بسبب برم الإلكترونات في اتجاهات متعاكسة. ولكن المواد مثل الحديد، والنيكل، والكوبالت، لا تلغي المجالات بعضها بعضًا بالكامل؛ ففي كلّ ذرة حديد، هناك أربعة إلكترونات لا تلغى مغناطيسيتها الناتجة من البرم. وهكذا، فإنّ معظم المغانط المألوفة، مكونة من سبائك تحتوي على الحديد والنيكل، والكوبالت، والألومنيوم بنسب مختلفة.

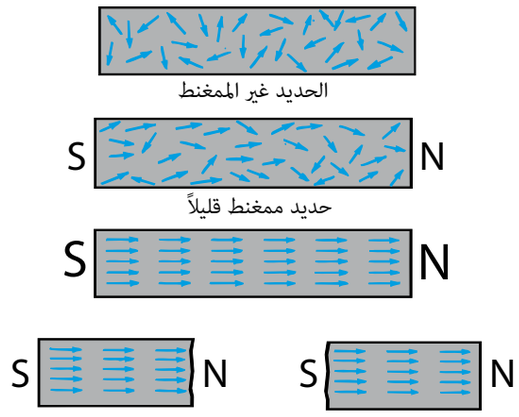
إنّ الأجسام الحديدية من حولك ممغنطة بدرجة ما؛ فخزانة الملفات، والثلاجة، وحتى علب الغذاء، جميعها لها قطبان شماليّ وجنوبيّ مستحثان بالمجال المغناطيسيّ الأرضيّ. إذا قربت بوصلة من أسفلها إلى أعلاها، يمكنك بسهولة تحديد أقطابها. (انظر النشاط الاستكشافي 2 في نهاية هذا الفصل، حيث يطلب إليك قلب العلب وملاحظة عدد الأيام التي تمضي حتى تعكس الأقطاب اتجاهاتها.)

3.9 المناطق المغناطيسيّة

يكون المجال المغناطيسيّ لذرة الحديد المفردة قويًّا جدًّا بحيث تُكوّن التفاعلات بين الذرات المتجاورة عناقيد كبيرة من هذه الذرات تصطف معًا. تسمى عناقيدُ هذه الذرات المصطفة **المناطقَ المغناطيسيّة**. وتكون كلّ منطقة ممغنطة بالكامل، وتتكوّن من بلايين الذرات المصطفة. إنّ هذه المناطق مجهرية (الشّكل 7.9)، ويوجد العديد منها في بلورة الحديد.

ليست كلّ قطعة حديد مغناطيسًا؛ لأنّ هذه المناطق في الحديد العادي غير مصطفة. فمثلًا، في مسمار حديد عاديّ، تكون هذه المناطق مبعثرة، ولكن عند تقريب مغناطيس إلى جانبها، فإنّها تستحثّ على الاصطفاف. (من الممتع أن تستمع، بسماعة مكبّر، إلى تك تاك (طقطقة) واصطفاف المناطق في قطعة الحديد عند تقريب مجال مغناطيسي منها.) ترتب المناطق المغناطيسيّة نفسها مثلما تترتب الشّحنات الكهربائيّة في قطعة ورق (تصبح مستقطبة) في وجود قضيب مشحون. عند إبعاد المسمار عن المغناطيس، تتسبب الحركة الحرارية العادية في بعثرة معظم المناطق أو كلّها، والعودة إلى الترتيب العشوائيّ.

الشّكل 7.9
منظر مجهري للمناطق المغناطيسيّة في بلورة حديد. تتكون كلّ منطقة من بلايين ذرات الحديد المصطفة. في هذا المظهر، تبدو اتجاهات المجالات عشوائيّة.



عند كسر المغناطيس إلى جزأين كل جزء
هو مغناطيس قوي ومتساو

الشّكل 8.9
قطع من الحديد بمراحل متتابعة من المغناطيسيّة، تمثل الأسهم مناطق مغناطيسية، يمثل الرأس القطب الشّماليّ في حين يمثل الذيل القطب الجنوبيّ. الأقطاب المتجاورة يعادل (أو يحيِّد) بعضها آثار بعض ما عدا عند الأطراف.

يمكن صنع مغناطيس دائم بوضع قطع من الحديد أو مواد مغناطيسيّة مشابهة في مجال مغناطيسيّ قويّ. تختلف سبائك الحديد في سهولة مغنطتها؛ فمغنطة الحديد المطاوع مثلًا أسهل من مغنطة الفولاذ. يساعد المجال المغناطيسيّ القويّ في ترتيب الحقول القاسية وجعلها قابلة للاصطفاف. وهناك طريقة أخرى لصنع المغناطيس، وهي دلك المادة بمغناطيس ما. حيث ترتّب حركة الدلك المناطق. إذا سقط المغناطيس الدائم، أو سخن خارج نطاق المجال المغناطيسيّ الذي صُنِع منه، فإنّ بعض المناطق تهتز خارج الاصطفاف، ويصبح المغناطيس أضعف.

لمعلوماتك

يحتوي الشّريط المغناطيسيّ في بطاقة الاعتماد على ملايين المغانط الصغيرة متماسكة معًا بلاصق. وتشفّر البيانات بالنظام الثّنائيّ. كما تميّز الأصفار والآحاد من تردد عكس المناطق.

الشّكل 9.9
يبين واي لي Wai Lee مسامير حديد تصبح مغانط مستحثة.

■ **اختبر معلوماتك**

1. لماذا لا يجذب المغناطيس القرش أو قطعة خشبية؟
2. كيف يجذب المغناطيس قطعة حديد غير ممغنطة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

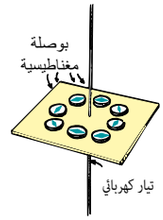
1. لا يحتوي القرش أو قطعة الخشب على أيّ مناطق مغناطيسيّة يمكن صفّها.
2. مثل إبرة البوصلة في الشّكل 4.9، تستحث الحقول في قطعة الحديد غير الممغنطة بالمجال المغناطيسيّ للمغناطيس. ينجذب قطب أحد الحقول إلى المغناطيس، في حين تتنافر أقطاب حقول أخرى. هل هذا يعني أنّ محصلة القوّة هي صفر؟ لا؛ لأنّ القوّة أكبر قليلًا على قطب الحقل الأقرب للمغناطيس من تلك القوى التي للقطب الأبعد. ولهذا تكون المحصلة جذبًا. وبهذه الطريقة يجذب المغناطيس قطع الحديد غير الممغنطة. (الشّكل 9.9).

■ 4.9 التّيّارات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة

تنتج الشّحنات الكهربائيّة المتحرّكة مجالًا مغناطيسيًّا. كما ينتجه تيار من الشّحنات . يمكن توضيح المجال المغناطيسيّ المحيط بسلك يحمل تيارًا كهربائيًّا بترتيب العديد من البوصلات حول السّلك (الشّكل 10.9). ويُكوّن المجالُ المغناطيسيّ حول سلك يحمل تيارًا

كهربائيًا نمطًا من الدوائر المتحدة بالمركز. وعند عكس اتجاه التّيار الكهربائيّ، فإنّ إبر البوصلات تدور إلى الخلف. وهذا دليل على أنّ اتجاه المجال المغناطيسيّ قد تغيّر هو أيضًا*.

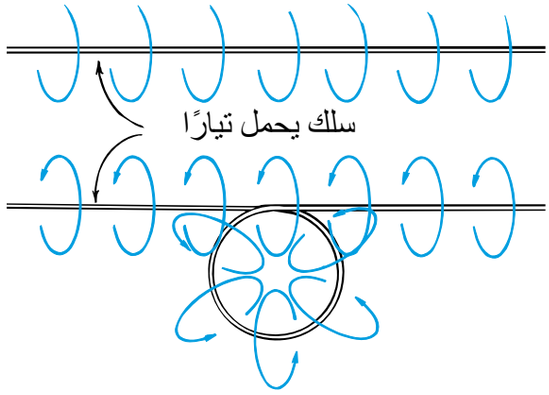
إذا ثني السّلك على شكل حلقة، فإنّ حُزم خطوط المجال المغناطيسيّ تخترق الحلقة كما في الشّكل 11.9. وإذا ثني السّلك ليشكل حلقة أخرى تتطابق مع الأولى، فسيتضاعف تركيز خطوط المجال المغناطيسيّ داخلها. ويتبع ذلك زيادة شدة المجال المغناطيسيّ في المنطقة بزيادة عدد اللفات. إنّ شدة المجال المغناطيسيّ تكون ملموسة لملف يحمل تيارًا كهربائيًّا مكونًا من العديد من الحلقات.



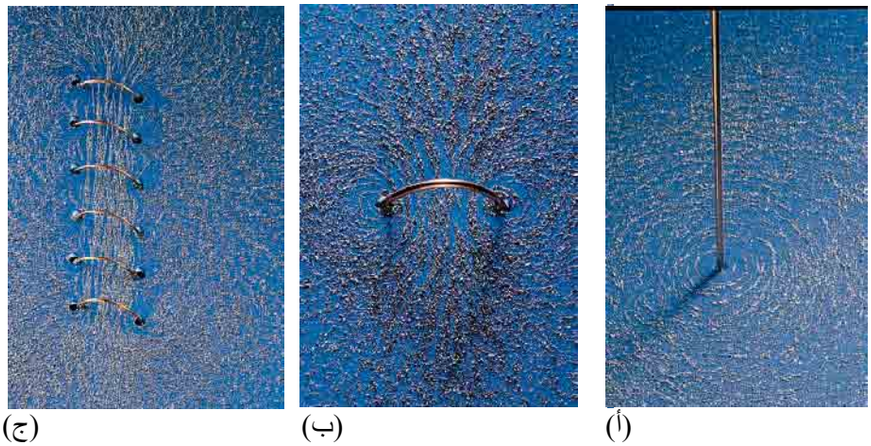
الشّكل 10.9
تظهر البوصلات الشّكل الدائريّ للمجال المغناطيسيّ المحيط بالسّلك الذي يحمل تيارًا.

المغانط الكهربائيّة (Electro Magnets)

إذا وضعت قطعة حديد في ملف سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا، فإنّ اصطفاف المناطق المغناطيسيّة في الحديد ينتج مجالًا مغناطيسيًّا قويًّا خاصًّا يعرف **بالمغناطيس الكهربائيّ**. يمكن زيادة شدة المغناطيس الكهربائيّ، ببساطة، بزيادة التّيار في الملف. وتستخدم المغانط الكهربائيّة في السيطرة على حزم الجسيمات المشحونة في مسارعات الطّاقات العليا. كما أنها ترفع وتسيّر نماذج معينة من القطارات السّريعة (الشّكل 13.9).



الشّكل 11.9
خطوط المجال المغناطيسيّ حول سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا يصبح معقدًا عندما يثنى السّلك إلى حلقة.



الشّكل 12.9
تكشف برادة الحديد على الورقة هيئة المجال المغناطيسيّ حول: (أ) سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا. (ب) حلقة تحمل تيارًا كهربائيًّا. (ج) ملف حلقات.

* بصورة عامة، تفهم مغناطيسيّة الأرض على أنها نتيجة التّيّارات الكهربائيّة التي تصاحب تيارات الحمل في الأجزاء المنصهرة من باطن الأرض. لقد وجد علماء الأرض دلائل على عكس الأرض لمواقع أقطابها دوريا- حدث أكثر من عشرين انعكاسًا خلال خمسة ملايين سنة مضت. وقد يعود هذا إلى تغيير اتجاه التّيّارات الكهربائيّة داخل الأرض.

تعدّ المغانط الكهربائيّة القوية، والتي تستخدم في رفع السيارات، منظرًا مألوفًا في ساحات الخردة. تعود محدودية هذه المغانط بشكل رئيس إلى الحرارة الزائدة المتولدة في الملفات التي تحمل تيارًا كهربائيًّا. إنّ المغانط الكهربائيّة القوية جدّا تَستَبدل القلب الحديدي مستخدمة ملفات فائقة الموصليّة وتيارات كهربائيّة عالية تسري في هذه الملفات بسهولة ودون حرارة ملموسة.

المغانط الكهربائيّة فائقة الموصليّة

هناك صفة مدهشة لفائقة الموصليّة الخزفية (الفصل الثّامن)، وهي أنها تبعد المجالات المغناطيسيّة إلى خارجها. وبسبب عدم قدرة المجال المغناطيسيّ على اختراق السّطح الفائق التوصيل، فإنّ المغانط ترفع ما فوقها. إنه أحد أكثر التطبيقات إثارة. إنّ المغانط الفائقة الموصليّة لها خاصية رفع القطارات العالية السرعة المستخدمة في المواصلات. لقد تم تجريب نماذج من هذه القطارات في كلّ من الولايات المتحدة، واليابان، وألمانيا. راقب تطوّر هذه التكنولوجيا الجديدة نسبيّا.

الشّكل 13.9

قطار مرفوع مغناطيسيًّا – الطائرة المغناطيس. في حين تهتز القطارات التقليدية عندما تتحرك على السكك عند السّرعات العالية، فإنّ الطائرة المغناطيس تنتقل دون اهتزاز عند هذه السرعات العالية بسبب عدم التماس الفيزيائيّ مع الطريق التي تسير فوقها.

5.9 القوى المغناطيسيّة المؤثّرة في الشّحنات المتحرّكة

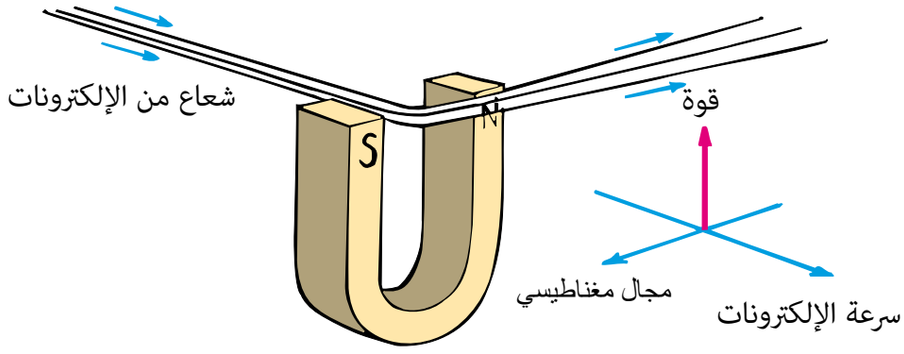
إنّ الجسيمات المشحونة الساكنة لا تتأثر بالمجال المغناطيسيّ السّاكن. ولكن، إذا تحرك الجسيم المشحون في المجال المغناطيسيّ، فإنّ الخاصية المغناطيسيّة للشحنة المتحرّكة تظهر: يتأثر الجسيم المشحون بقوة انحراف كبيرة جدًّا*. وتكون القوّة أعظم عندما يتحرك الجسيم في اتجاه عموديّ على خطوط المجال المغناطيسيّ. أمّا القوّة للزوايا الأخرى فتكون أقل، وتصبح صفرًا عندما يتحرك الجسيم بالتوازي مع خطوط المجال. وفي الأحوال جميعها، يكون اتجاه القوّة عموديًّا دائمًا على خطوط المجال المغناطيسيّ، وعلى سرعة الجسيم المشحون أيضًا (الشّكل 15.9). وهكذا تنحرف الشّحنة المتحرّكة عندما تقطع خطوط المجال المغناطيسيّ، ولكن عندما تنتقل موازية للمجال فعندئذٍ لا يحدث انحراف.

تكون قوة الانحراف هذه مختلفة تمامًا عن القوى الأخرى التي تحدث في التفاعلات الأخرى، مثل قوى الجاذبية بين الكتل، والقوى الكهربائيّة بين الشّحنات، والقوى المغناطيسيّة بين الأقطاب المغناطيسيّة. إنّ القوّة التي تؤثر في جسيم مشحون، كإلكترون في حزمة إلكترونية، لا تعمل مع الخط الواصل مع مصادر التفاعل، بل تؤثّر عموديّا في كلّ من المجال المغناطيسيّ وحزمة الإلكترونات.

إنّنا محظوظون لأنّ الجسيمات المشحونة تنحرف بالمجالات المغناطيسيّة. لقد استخدمت هذه الحقيقة لتوجيه الإلكترونات إلى السّطح الداخلي لأنبوب التّلفاز الابتدائي لإنتاج الصور. وأيضًا تنحرف الجسيمات المشحونة القادمة من الفضاء الخارجي بالمجال المغناطيسيّ الأرضي. ولولاها، لكانت الأشعة الكونية الضارة التي تقصف سطح الأرض أكثر غزارة.

الشّكل 14.9

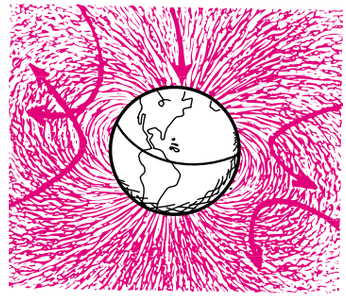
يطفو المغناطيس الدائم فوق فائق الموصليّة بسبب عدم قدرة المجال المغناطيسيّ على اختراق المادة الفائقة الموصليّة.



الشّكل 15.9

ينحرف شعاع من الإلكترونات في المجال المغناطيسيّ.

* عندما تتحرك جسيمات تحمل شحنة كهربائيّة (q) بسرعة (V) عموديًا على مجال مغناطيسيّ شدته B، فإنّ القوّة F على كلّ جسيم هي، ببساطة، حاصل ضرب المتغيّرات الثلاثة: $F = qVB$. وإذا كانت الزوايا غير قائمة، فستكون السّرعة في هذه العلاقة هي مركبة السّرعة العمودية على B.



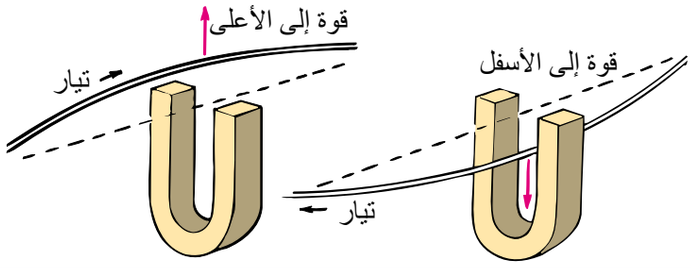
الشّكل 16.9
يحرف المجال المغناطيسيّ للأرض العديد من الجسيمات المشحونة، والتي تشكّل الإشعاع الكونيّ.

القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في أسلاك تحمل تيارًا كهربائيًّا

يشير المنطق البسيط إلى أنه: بما أنّ الجسيم المتحرك المشحون يتعرض لقوة انحراف عند حركته في مجال مغناطيسي، فإنّ السّلك الذي يحمل داخله تيارًا من الجسيمات المشحونة المتحرّكة ينحرف أيضًا (الشّكل 17.9).

وإذا عكسنا اتجاه التّيّار فإنّ قوّة الانحراف تؤثر في الاتجاه المعاكس. وتكون القوّة أكبر ما يمكن عندما يكون التّيّار متعامدًا على خطوط المجال المغناطيسيّ. لا يكون اتجاه القوّة على امتداد خطوط المجال المغناطيسيّ، ولا على امتداد اتجاه التّيّار الكهربائيّ. وتكون القوّة عمودية على كلّ من خطوط المجال والتّيّار. إنها قوة جانبية - عمودية على السّلك.

لقد رأينا أنّ السّلك الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا يحرف المغناطيس مثل إبرة البوصلة (كما تم اكتشاف ذلك من قبل أورستد في أثناء تدريسه عام 1820). المغناطيس يحرف السّلك الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا. لقد كانت هذه الروابط المتتامة بين الكهرباء والمغناطيسيّة عند اكتشافها مثيرة جدًّا. وعلى الفور، بدأ الناس استثمار القوّة الكهرومغناطيسيّة لأغراض مفيدة - بحساسية عالية في مقاييس التّيّارات، وفي المحركات الكهربائيّة كذلك.



الشّكل 17.9
يتأثر السّلك الحامل للتيار بقوة المجال المغناطيسيّ. (هل يمكن رؤية أنّ هذا امتداد بسيط للشكل 15.9؟).

■ **نقطة فحص**

ما قانون الفيزياء الذي يخبرك أنه إذا أثّر سلك كهربائيّ بقوة في مغناطيس، وجب أن يؤثر المغناطيس بقوة في السّلك الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

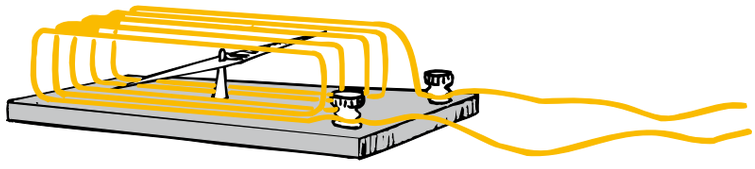
إنّه قانون نيوتن الثالث الذي ينطبق على قوى الطبيعة جميعها.

لمعلوماتك

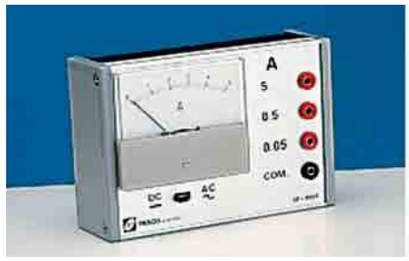
في المساق المتقدم، سوف تتعلم قاعدة اليد اليمنى «البسيطة».

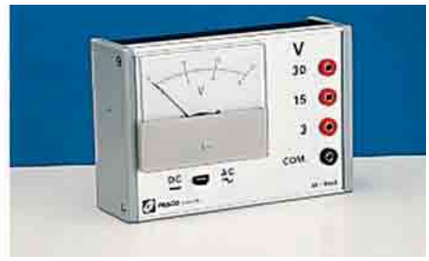
عدّادات الكهرباء

تعدّ البوصلة المغناطيسيّة أبسط عدّاد للكشف عن التّيّار الكهربائيّ. والعدّاد الذي يليه في البساطة هو بوصلة في ملف أسلاك (الشّكل 18.9). عند مرور تيار كهربائيّ عبر الملف، تنتج كلّ حلقة أثرها الخاص في الإبرة. لذا، فإنه يمكن الكشف عن التّيّارات الصّغيرة جدًّا. تسمى مثل هذه الأجهزة الدالة على التّيّار *الجلفانومتر*.



الشّكل 18.9
جلفانومتر بسيط.



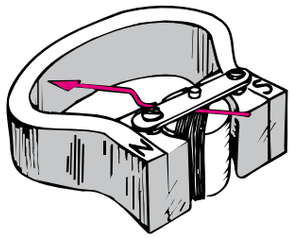


الشّكل 19.9
كلّ من الأميتر والفولتمتر في الأصل جلفانومترات. (تصمم المقاومة الكهربائيّة لتكون صغيرة جدًّا في الأميتر وكبيرة جدًّا للفولتمتر.)

يبين الشّكل 20.9 تصميمًا مألوفًا؛ إنه يستعمل حلقات أكثر من الأسلاك، لذا يكون أكثر حساسية. يُثبت الملف على حامل قابل للحركة، أمّا المغناطيس فيكون مستقرًّا. يدور الملف ضد زنبرك. وهكذا، فكلما زاد التّيّار في لفاته، يكون الانحراف أعظم. يمكن معايرة الجلفانومتر لقياس التّيّار (الأمبيرات)، ويسمى في هذه الحالة الأميتر. ويمكن معايرته لقياس الجهد الكهربائيّ (فولتات)، ويسمى في هذه الحالة الفولتمتر*.

المحركات الكهربائيّة

إذا عدّلنا تصميم الجلفانومتر قليلًا بحيث يعمل الانحراف دورة كاملة بدلًا من دورة جزئية فسنحصل على *محرك كهربائيّ*. إنّ الفرق الرئيس هو أن يغير تيار المحرك اتّجاهه كلما أكمل الملف نصف دورة، ويحدث هذا بطريقة دورية لإنتاج دورة كاملة. وهذه الطريقة تستخدم لتشغيل السّاعات، والأدوات الإلكترونية الصغيرة، ورفع الأحمال الثقيلة.



الشّكل 20.9
تصميم جلفانومتر عادي.

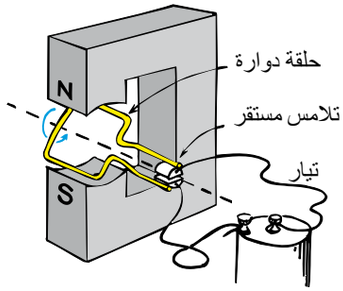
نرى في الشّكل 21.9 إيجازًا بسيطًا لمبدأ المحرك الكهربائيّ. ينتج مغناطيس دائم مجالًا مغناطيسيًّا في المنطقة التي تكون حلقة السّلك على شكل مستطيل، ومثبتة، وتدور حول المحور المبين بخط متقطع. وعند مرور تيار خلال الحلقة، فإنه ينساب في اتّجاهين متعاكسين في الجانبين العلوي والسّفليّ للحلقة. (بحيث تنساب خارجة من الطرف الآخر.) إذا أجبر الجزء العلويّ على الدوران إلى اليسار، فإنّ الجزء السّفليّ يجبر على الدوران إلى اليمين، كما لو أنه جلفانومتر. ولكن، بخلاف الجلفانومتر فإنّ التّيّار يعكس اتّجاهه كلّ نصف دورة بواسطة نقاط اتصال ثابتة على أسطوانة العمود. وتسمى أجزاء السّلك التي تلامس الوصلات *بالفراشي*. وبهذه الطريقة يتناوب التّيّار في الحلقة، بحيث إنّ القوى في المناطق العليا والسّفلى لا تغيّر اتّجاهها عند دوران الحلقة. ويستمر الدوران ما استمر تزويده بالتّيّار.

لقد وصفنا هنا أبسط محرك تيار ثابت. تصنع المحركات الكبيرة سواء كانت ثابتة أو متناوبة عادة بتبديل مغناطيس كهربائيّ بدلًا من المغناطيس الدائم، حيث يزود المغناطيس الكهربائيّ بالطّاقة من مصدر طاقة خارجيّ. وبالطبع، يستخدم أكثر من حلقة. يلّف العديد من حلقات السّلك حول أسطوانة حديدية، تسمى *المحثّ*، والذي يدور عند مرور تيار كهربائيّ في السّلك.

لقد أدى اختراع المحركات الكهربائيّة إلى نهاية معاناة الإنسان والحيوان في العديد من أنحاء العالم؛ لقد غيرت المحركات الكهربائيّة طريقة عيش الإنسان.

لمعلوماتك

لقد سمّي الجلفانومتر بهذا الاسم تكريمًا لـ جلفاني Galvani (1798-1137)، الذي اكتشف في أثناء تشريحه ساق ضفدعة، أنه عند لمس ساقها بفلزات مختلفة فإنها ترتعش. وقد أدى هذا الاكتشاف إلى اختراع الخلية الكيميائية والبطارية. وتذكّر في المرة القادمة حينما تستخدم وعاءً مجلفنًا، جلفاني في مختبره للتشريح.



الشّكل 21.9
محرك بسيط

* تؤثر أجهزة القياس إلى درجة ما في الكمية المراد قياسها- وهذا يتضمن الأميترات والجلفانومترات بسبب وصل الأميتر على التوالي في الدارة التي يقيسها، تصنع مقاومته بحيث تصبح قليلة جدًا. وبهذه الطريقة، لا تنقص قيمة التّيّار الذي يقيسه بقدر كبير. وبسبب توصيل الفولتمتر على التوازي، يُعمل بحيث تكون مقاومته عالية، وبذلك لا يسحب تيارًا كبيرًا لتشغيله. في المختبر، جزء من المقرر الذي ستدرسه، سيكون عن كيفية توصيل هذه الأجهزة بدارات بسيطة على الأرجح.

التّصوير بالرّنين المغناطيسيّ

تزودنا ماسحات التصوير بالرنين المغناطيسيّ الأنسجة داخل الجسم بصور عالية الدقة. تنتج ملفات فائقة الموصليّة مجالا مغناطيسيًّا كبيرًا (يصل إلى 60,000 مرة قدر شدة المجال المغناطيسيّ للأرض) والذي يستخدم لاصطفاف بروتونات ذرات الهيدروجين داخل الجسم المراد تشخيصه.

إنّ للبروتونات خاصية "البرم" كالإلكترونات، بحيث يمكن أن تصطف بالمجال المغناطيسيّ. وعلى النقيض من البوصلة التي تصطف بالمجال المغناطيسيّ للأرض، يتمايل محور البروتون حول المجال المغناطيسيّ المُسلَّط. تضرب البروتونات المتمايلة تموجات راديو مضبوطة حول محور لفّ البروتون إلى الجوانب متعامدة مع المجال المغناطيسيّ المسلط. وعندما تنتهي موجات الراديو، تعود البروتونات بسرعة إلى نمط التمايل، مع إطلاق إشارات كهرومغناطيسيّة ضعيفة. وتعتمد تردداتها قليلًا على البيئة الكيميائية التي توجد فيها البروتونات. تحلل الإشارات الملتقطة بالمجسات بالحاسوب لتكشف كثافات مختلفة من ذرات الهيدروجين في الجسم، وعن تفاعلاتها مع الأنسجة المحيطة. تُميز الصور هذه بوضوح بين المائع، والعظام مثلا.

لقد عُرفت (MRI) ابتداءًا بـ NMRI (التصوير بالرنين المغناطيسيّ النووي)؛ لأنّ أنوية الهيدروجين ترنّ بالمجالات المغناطيسيّة المسلطة. وبسبب خوف الناس من أيّ شيء له اسم نووي، فقد سُميت آلية التشخيص هذه بـ MRI. (قل لأصدقائك إنّ كل ذرة في جسمك تحتوي على نواة!).

لمعلوماتك

يجب عزل حلقات السّلك المتعددة؛ لأنّ حلقات السّلك المعرى حينما تلمس بعضها تقطع الدائرة. لقد ضحت زوجة جوزيف هنري Joseph Henry بفستان الزفاف وهي حزينة من أجل عزل أسلاك المغناطيس الكهربائيّ الأول لهنري.

نقطة فحص

ما الشبه الرئيس بين الجلفانومتر والمحرك الكهربائيّ البسيط؟ وما الاختلاف الرئيس بينهما؟

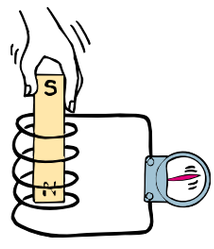
هل كانت هذه إجابتك؟

يتشابه الجلفانومتر والمحرك في أنّ كليهما يستخدمان ملفًّا موضوعًا في مجال مغناطيسي. وعندما يمرّ تيار خلال هذه الملفات، فإنّ القوى المؤثّرة في الأسلاك تعمل فتديرها. أمّا الفارق الرّئيس فهو أنّ أقصى دوران للملف نصف دورة، في حين يدور الملف في المحرك (والذي يلفّ حول حامل) عدة دورات كاملة. وينجز هذا بتناوب اتجاه التّيّار في كلّ نصف دورة على الحامل.

6.9 الحثّ الكهرومغناطيسيّ

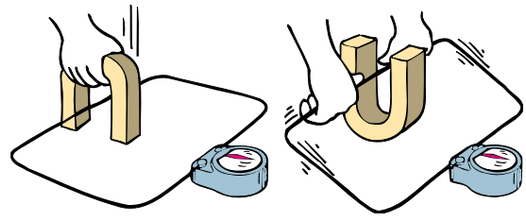
لاحظ أنّ المجال المغناطيسيّ لا ينتج جهد حثّ، بل إنّ التغير في المجال بالنسبة إلى الزمن هو الذي ينتج جهد الحثّ. إذا تغير المجال في حلقة مغلقة، وكانت الحلقة موصلًا كهربائيًّا ما فإنّ كلًّا من الجهد والتّيّار يستحثان.

في بداية القرن التاسع عشر، كانت الأجهزة الوحيدة التي تنتج التّيّار هي الخلايا الفولتية، والتي تنتج تيارات صغيرة بإذابة الفلزات في الأحماض. وقد كانت هذه هي النماذج الأولى للبطاريات الحديثة. ومن ثمَّ برز السّؤال ما إذا كان يمكن إنتاج الكهرباء من المغناطيسيّة. لقد تمت الإجابة عن هذا السؤال من قبل الفيزيائيّيْن، مايكل فارادي في إنجلترا وجوزيف هنري في الولايات المتحدة، حيث عمل كلّ منهما بمعزل عن الآخر. لقد غير اكتشافهما العالم عندما جعلوا الكهرباء مألوفة؛ في تزويد الصناعات بالطّاقة في النهار، وإنارة المدن في الليل.

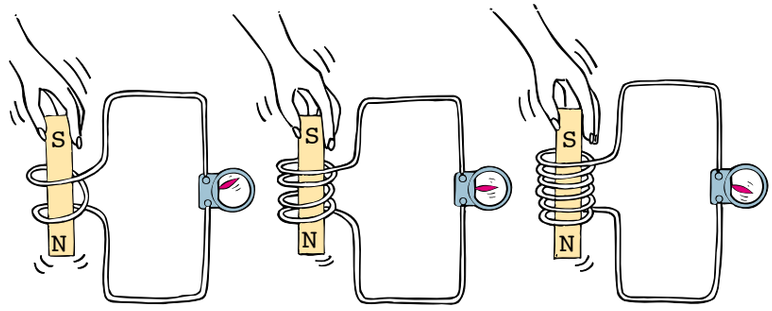


الشّكل 22.9
عند غمس المغناطيس في الملف، فإنّ الشّحنات فيه تبدأ بالحركة، ويُستحثُّ جهدٌ في الملف.

لقد اكتشف كلّ من فارادي وهنري **الحثّ الكهرومغناطيسيّ** – يمكن إنتاج التّيّار الكهربائيّ في سلك ببساطة بتحريك مغناطيس داخل ملف سلك أو خارجه (الشّكل 22.9). وهنا لا يلزم إلى بطارية أو أيّ مصدر جهد؛ فقط حركة مغناطيس في حلقة السّلك. لقد اكتشفا أنّ الجهد مُسْتَحَثّ بالحركة النسبية بين السّلك والمجال المغناطيسيّ. وسواء كان تحرك المجال المغناطيسيّ بالقرب من موصل ساكن أو بالعكس فإنّ جهدًا يستحثّ في كلّ حالة (الشّكل 23.9).



الشّكل 23.9
يستحث جهد في حلقة سلك بغض النظر عن أنّ المجال المغناطيسيّ يتحرك ضمن السّلك، أو أنّ يتحرك السّلك ضمن المجال المغناطيسيّ.



الشّكل 24.9
عند غمس المغناطيس في الملف بضعف عدد اللفات التي في الملف الآخر، يستحث ضعف مقدار الجهد. إذا غمس المغناطيس في ملف له ثلاثة أضعاف عدد اللفات فإنّه يستحث ثلاثة أمثال الجهد.

كلما زاد عدد حلقات السّلك في المجال المغناطيسيّ يكبر المجال المستحث (الشّكل 24.9). إنّ دفع مغناطيس داخل ملف له ضعف عدد الحلقات يستحث ضعف الجهد. كما أنّ دفع المغناطيس لملف له 10 أضعاف الحلقات، يستحث 10 أضعاف الجهد. وهكذا. ويبدو كأننا نحصل على شيء ما (الطّاقة) مقابل لا شيء بزيادة عدد الحلقات في ملف السّلك. ولكننا في الحقيقة لا نحصل على أيّ شيء. كما سنجد أنّ دفع المغناطيس أصعب داخل الملف المصنوع من حلقات أكثر؛ لأنّ الجهد المستحث ينتج تيارًا يصنع بدوره مغناطيسًا كهربائيًا يتنافر مع المغناطيس في يدنا. وهكذا، فنحن نبذل شغلًا ضد "القوّة الراجعة" لحثّ مجال أكبر (الشّكل 25.9).

تعتمد قيمة الجهد المستحث على سرعة دخول خطوط المجال المغناطيسيّ للملف أو خروجها. إنّ الحركة البطيئة جدًّا تنتج مجالًا ضعيفًا جدًّا، أمّا الحركة السريعة فتستحثّ جهدًا كبيرًا.

لمعلوماتك

يُسمّى الملفُّ الحلزونيُّ من السّلك المعزول الطويل اللولبيّ.

قانون فارادي (Faraday's Law)

يُلَخَّص الحثّ الكهرومغناطيسيّ **بقانون فارادي الذي نصّه:**
يتناسب الجهد المستحث في ملف مع عدد لفات الحلقات، مضروبًا في معدل تغيّر المجال المغناطيسيّ ضمن هذه الحلقات.

تعتمد كمية *التّيار* المنتج من الحثّ الكهرومغناطيسيّ على مقاومة الملف ومقاومة الدارة المتصلة به. وكذلك على الجهد المستحث*. فمثلًا، يمكننا إدخال المغناطيس إلى حلقة مطاطية وإخراجه منها وإلى حلقة نحاسية وإخراجه منها أيضًا. ويكون الجهد في كلّ منهما متساويًا بشرط أن يكون للحلقة الحجم نفسه، وأن تكون سرعة حركة المغناطيس هي نفسها كذلك. ولكن يكون التّيار في كل منهما مختلفًا. وتتأثر الإلكترونات في المطاط بالجهد نفسه، كما في إلكترونات النحاس، ولكن ارتباطها بالذرات الثابتة تمنع حركة الشحنة والتي تكون حرة في النحاس.

الشّكل 25.9
من الصعب دفع المغناطيس في ملف له حلقات كثيرة بسبب مقاومة المجال المغناطيسيّ في حلقة تيار لحركة المغناطيس.

* يعتمد التّيار أيضًا على حثّ الملف. تقيس المحاثة ميل الملف لمقاومة التغير في التّيار بسبب أنّ المغناطيسيّة المنتجة جزء من الملف يعاكس التغير في التّيار في الأجزاء الأخرى من الملف: في دارات التّيار المتناوب (ac) يقابل المقاومة في دارات التّيار الثابت. لتقليل عبء "زخم المعلومات". لن نناقش المحاثة في هذا الكتاب.

الشّكل 26.9
لواقط القيثارة هي ملفات صغيرة في وجود مغناطيس داخلها. تمغنط المغانط أوتارَ الفولاذ. عند اهتزازها ، يستحث جهد في الملفات ثم تكبر بالمضخم، ثم ينتج الصوت من المتكلم.

■ **نقطة فحص**

إذا دفعت مغناطيسًا داخل ملف، كما في الشّكل 25.9، فستشعر بمقاومة لدفعك. لماذا تكون المقاومة لهذا الدفع أكبر في ملفّ عدد حلقاته أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ببساطة، يتطلب بذل جهد أكبر للحصول على طاقة أكبر. ويمكنك النظر إليها بالطريقة التالية: عندما تدفع المغناطيس داخل ملف، فأنت تستحث تيارًا كهربائيًّا، وتتسبب في جعل الملف مغناطيسًا كهربائيًّا. فكلما زاد عدد الحلقات، ازدادت شدة المغناطيس الكهربائيّ، وكذلك ستزداد شدة الدفع المقابل لدفعك - (إذا جذب ملف المغناطيس الكهربائيّ مغناطيسك بدلًا من تنافره معه، فإنّ طاقة تتولّد من العدم، ويُنقض قانون حفظ الطّاقة في هذه الحالة. وهكذا فإنه يجب أن يتنافر المغناطيس مع الملف).

لقد ذكرنا طريقتين يستحثّ بهما الجهد في حلقة سلك، هما: 1- تحريك الحلقة بالقرب من مغناطيس. 2- تحريك المغناطيس بالقرب من حلقة. وهناك طريقة ثالثة هي تغيير التّيّار في ملف مجاور. ولهذه الحالات جميعها الخاصية الأساسية نفسها: مجال مغناطيسي متغير في حلقة.

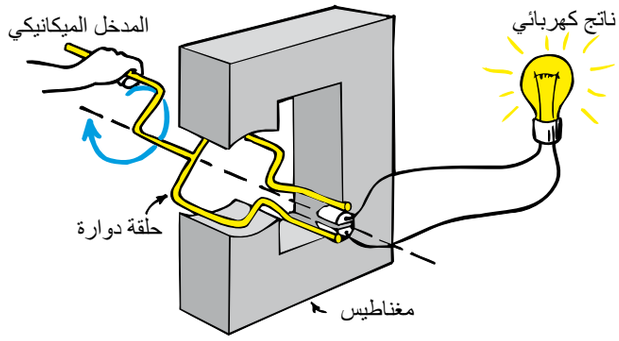
نحن نرى الحثّ الكهرومغناطيسيّ من حولنا؛ فعلى الطريق، نراه يعمل عندما تتحرك سيارة فوق ملفات سلك مطمورة لتنشيط الإشارة الضّوئيّة المجاورة؛ فعندما يمر حديد السيارة فوق الملفات المطمورة، يتغير لون إشارة السير الضّوئيّة. وبالمثل، حينما تمشي تحت الملفات الموجودة في أعلى نظام أمني في المطارات، فإنّ أيّ فلزّ تحمله يحدث تغيرًا بسيطًا في المجال المغناطيسيّ في هذه الملفات. يستحث هذا التّغيّر جهدًا، يستدعي إطلاق صوت المنبه. كما أنّه عندما يمسح الشّريط المغناطيسيّ الموجود خلف بطاقة الاعتماد، تستحث نبضات جهد تحدد هوية البطاقة. وهذا ما يحدث تقريبًا لرأس التسجيل في الشّريط، حيث تحسّ الحقول المغناطيسيّة في هذا الشّريط عندما يتحرك متخطيًّا ملفًا يحمل تيارًا كهربائيًّا. يسري الحثّ المغناطيسيّ عامًا في المشغلات الصلبة في الحاسوب، وفي العديد من الأجهزة. كما سنرى قريبًا، إنها أساس الأمواج الكهرومغناطيسيّة التي تُسمّى ضَوءًا.

الشّكل 27.9
عندما تزود جين Jean الملف الكبير بطاقة (ac)، يتولد مجال مغناطيسي متناوب في قضيب الحديد، ومن ثم خلال الحلقة الفلزية التي تنتج بدورها مجالها المغناطيسيّ، والتي تؤثر دائمًا في اتجاه يعاكس المجال الذي ينتجها. وتكون النتيجة تنافرًا متبادلًا؛ ارتفاعًا في الهواء.

■ 7.9 المولِّدات والتّيّار المتناوب

عند غمس مغناطيس بتكرار داخل ملف سلك وخارجه، يتناوب اتجاه الجهد المستحث. وعند ازدياد شدة المجال المغناطيسيّ داخل ملف (عند إدخال المغناطيس)، فإنّ المجال المستحث يكون في اتجاه معين. أمّا عندما تتلاشى شدة المجال المغناطيسيّ (عند إخراج المغناطيس)، فإنّ اتجاه المجال المستحث يكون في الاتجاه المعاكس. ويكون تردد الجهد المتناوب المستحث مساويًا لتردد المجال المغناطيسيّ المتغير ضمن الحلقة.

إنّ تحريك الملف أسهل من تحريك المغناطيس. وينجز هذا بشكل أفضل بإدارة الملف في مجال مغناطيسي مستقر (الشّكل 28.9). ومثل هذا الترتيب يُسمّى **المولِّدَ *(Generator)***؛ إنّه يحول الطّاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهربائيّة.

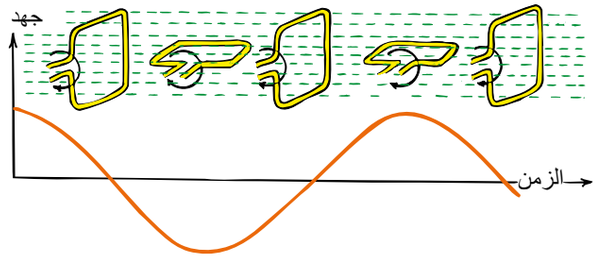


الشّكل 28.9
مولّد بسيط يستحث جهدًا في الحلقة عندما يدار في المجال المغناطيسيّ.

لمعلوماتك

إنّ المحرك والمولّد، في الواقع، هما الجهاز نفسه، مع عكس كلّ من المدخل والمخرج.

وبما أنّ الجهد المستحثّ في المولّد يكون متناوبًا فإنّ التّيّار المتولّد يكون متناوبًا أيضًا (a.c). ينتج التّيّار المتناوب في المنازل (الولايات المتحدة) بمولدات معايرة بحيث يعمل التّيّار 60 دورة كاملة من التغير في المقدار والاتجاه كلّ ثانية (60 هرتز).



الشّكل 29.9
عند إدارة الحلقة، (يتغير مقدار الجهد المستحث واتجاهه (وكذلك التّيّار). تنتج دورة كاملة للحلقة دورة كاملة من الجهد (والتّيّار).

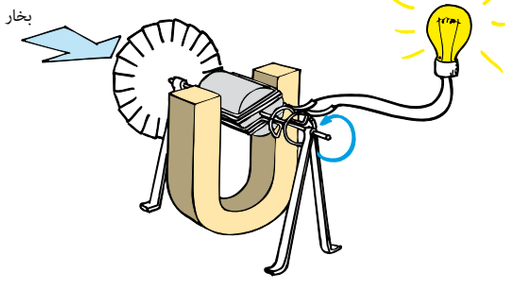
قبل 200 عام كان الناس يحصلون على الإنارة من زيت الحوت. يجب أن تكون الحيتان سعيدة لأنّ البشر اكتشفوا الكهرباء!

8.9 إنتاج الطّاقة

بعد خمسين سنة من توصّل فارادي وهنري إلى الحث الكهرومغناطيسيّ، وضع نيكولا تسلا Niko-la Tesla وجورج ويستنج هاوس George Westinghouse هذه الاكتشافات في الاستخدام العملي، وأثبتا أنه يمكن توليد الكهرباء بأمان وبكميات كافية لإنارة مدن كاملة.

بنى تسلا مولدات تشبه تلك التي لا تزال تستخدم إلى اليوم، ولكنها أعقد من النماذج البسيطة التي ناقشناها. لمولدات تسلا هياكل مكونة من حزم من أسلاك نحاسية تدور في مجالات مغناطيسيّة قوية بواسطة توربين يعمل بطاقة البخار أو الماء الساقط. تقطع حلقات السّلك الدوّارة المجال المغناطيسيّ للمغانط الكهربائية المحيطة، وبذلك يُستحثّ مجال مغناطيسيّا وتيار متناوبان (ac).

يمكننا النظر إلى هذه العملية من وجهة نظر ذرية. عندما يقطع التّيّار السّلك المحثّ الذي يدور خلال المجال المغناطيسيّ، تؤثر قوى كهرومغناطيسيّة متعاكسة في الشّحنات السالبة والموجبة. تُستحث الإلكترونات لهذه القوّة لحظيًّا، وتندفع بسهولة نسبية في اتجاه واحد في شبكيّة بلورة النحاس، تدفع ذرات النحاس، والتي هي في الواقع أيونات موجبة في الاتجاه المعاكس، ولكن الأيونات مثبتة في الشبكيّة، وحركتها محدودة.

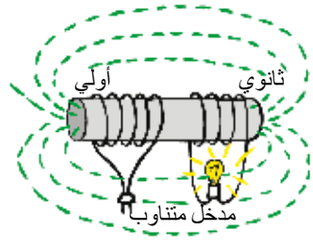


الشّكل 30.9
يشغل البخار التوربين، وهو موصل مع محثّ المولّد.

* بوساطة *الفراشي* المصممة بشكل مناسب. يمكن تحويل التّيّار المتناوب في الحلقة إلى تيار مستمر. لعمل مولد تيار مستمر (فرك الوصلات مقابل محثّ دوار).

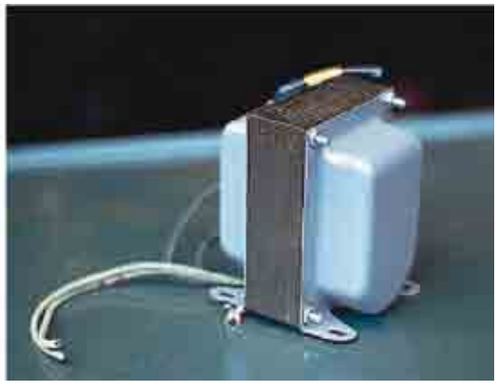
أمّا الإلكترونات فتتحرك بشكل ملموس بعنف ذهابًا وإيابًا بطريقة متناوبة مع كلّ دورة للمحثّ. وتفرغ الطّاقة الناتجة عن هذه الحركة الإلكترونية عند نهاية قطبي المولّد.

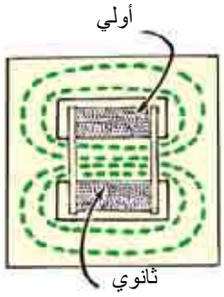
ومن المهم أن تعرف أن المولّدات لا تنتج طاقة، بل تحولها من شكل ما إلى طاقة كهربائيّة. كما ناقشنا في الفصل 3، تحول الطّاقة من مصدر ما، سواء كان أحفوريًّا، أو وقودًا نوويًّا، أو رياحًا، أو مياهًا إلى طاقة ميكانيكية لتشغيل التوربين. إنّ المولّد المتصل يحول معظم هذه الطّاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهربائيّة. يعتقد بعض الناس أنّ الكهرباء هي المصدر الأول للطاقة، وهذا ليس صحيحًا، بل إنها ناقلة للطاقة، وتحتاج إلى مصدر كذلك.



الشّكل 31.9
محول بسيط.

الشّكل 32.9
محوّل عملي. كلّ من الملفين الأوليّ والثانويّ ملفوفان على قلب حديد داخلي (الأصفر)، والذي يوجه خطوط المجال المغناطيسيّ المتناوب (أخضر) والمنتجة من الـ ac في الأوليّ. لذا يستحث المجال المتناوب جهدًا في الثانوي. وهكذا تنتقل القدرة من جهد واحد إلى الثانويّ بجهد مختلف.





■ 9.9 المحوّل؛ رافع أو خافض للجهد

عندما يتعرض التغير في المجال المغناطيسيّ لملف سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا من قبل ملف ثانٍ لسلك، فإنه يستحثّ جهدًا في الملف الثّاني. وهذا هو مبدأ **المحوّل *(Transformer)***: يتكون جهاز الحثّ الكهرومغناطيسيّ البسيط من ملفّ داخل السّلك (الأوليّ) وملفّ سلك خارجيّ (الثّانويّ). ليس من الضروري أن يتلامس الملفان، وعادة ما يكونان ملفوفين حول قلب حديديّ حتى يمرّر المجال المغناطيسيّ خلال الملفّ الثّانويّ. ويتصل الأوليّ بمصدر جهد متناوب، في حين يتّصل الثانويّ بدارة خارجيّة. تمتد هذه المتغيّرات إلى الثانويّ، ويحدث التغيّر في التّيار الأوليّ تغيرًّا في المجال المغناطيسيّ. وتنتج التغيّرات في التيّار الأوليّ تغيّرات في التّيار الثانويّ، وبالحثّ الكهرومغناطيسيّ، يستحث جهد في الثانويّ. إذا كان عدد لفات السّلك متساوية في كلا الملفين فإنّ الجهدين الداخل والناتج يتساويان؛ ولا فائدة في ذلك. أما إذا كان عدد لفات الثانويّ أكثر من عدد لفات الابتدائيّ، فإنّ جهدًا أكبر في الثانوي يستحثّ. وهذا هو *محول الرفع*. إذا كان عدد لفات الثانويّ أقلّ من عدد لفات الابتدائيّ فإنّ الجهد المستحث المتناوب في الثانويّ يكون أقلّ من الابتدائيّ. وهذا هو *محول الخفض*.

تكون العلاقة بين الجهدين الابتدائيّ والثانويّ بالنسبة إلى عدد اللفات كما يلي:

جهد الابتدائيّ / عدد لفات الابتدائيّ = جهد الثّانويّ / عدد لفات الثّانويّ

الشّكل 33.9
يُخفض المحوّل العادي 120 فولت إلى 6 فولت أو 9 فولت. كما يحوّل الـ ac إلى dc بواسطة صمام ثنائيّ داخليّ؛ جهاز إلكترونيّ صغير جدًّا يعمل كصمام في اتجاه واحد.

يبدو كأننا حصلنا على شيء دون مقابل مع المحوّل الرافع للجهد. ولكننا في الحقيقة لم نحصل على شيء. عندما يرفع الجهد، يكون التّيّار في الثّانويّ أقلّ من التّيّار في الابتدائيّ. وفي الواقع، فإنّ المحوّل ينقل الطّاقة من ملفّ إلى آخر وفقًا لقانون حفظ الطّاقة. إنّ القدرة هي معدل نقل الطّاقة. يزود الملفّ الابتدائيّ الملفّ الثّانويّ بالقدرة المستعملة. إنّ الأوليّ لا يعطي أكثر مما يستخدمه الثّانويّ. إذا أهملنا القدرة الضئيلة الضائعة كحرارة في القلب، فإنّ:

القدرة في الابتدائيّ = القدرة في الثّانويّ

تساوي القدرة الكهربائيّة حاصل ضرب الجهد في التّيّار. ويمكننا القول إنّ

(الجهد × التّيّار) في الابتدائيّ = (الجهد × التّيّار) في الثّانويّ

إنّ سهولة رفع الجهد في المحوّل أو خفضه هي السّبب الرّئيس في كون معظم القدرة الكهربائيّة متناوبة بدلًا من كونها ثابتة.

الشّكل 34.9

يقوم محول مألوف في الجوار عادة بخفض 2400 فولت إلى 240 فولت للمنازل والمحال التجارية الصغيرة. إنّ تقسيم الـ 240 فولت داخل المنازل والمحال إلى 120 فولت يكون أكثر أمانًا.

10.9 حثّ المجال

يُفسر الحثّ الكهرومغناطيسيّ جهود وتيارات الحثّ. في الحقيقة، إنّ جذور المفهوم الأساسي للحقول تكمن في كلّ من الجهود والتّيّارات. تحدّد النظرة الحديثة للحثّ الكهرومغناطيسيّ أنّ المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة هي مستحثة. وهي بدورها تنتج الجهود التي درسناها. وهكذا يحدث الحثّ في وجود سلك موصل، أو أيّ وسط ماديّ آخر، أو في عدم وجودهما. وبتعبير أكثر تعميمًا، ينص قانون فارادي على ما يلي:

يستحثّ مجال كهربائيّ في أيّ منطقة من الفضاء يتغير فيها المجال المغناطيسيّ مع الزمن.

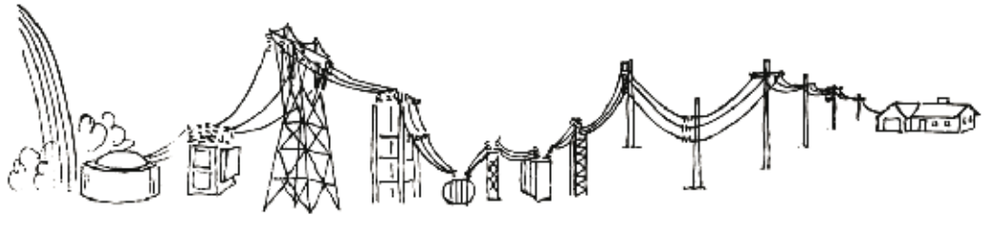
وهناك أثر آخر يعدّ امتدادًا لقانون فارادي: إنه هو نفسه ما عدا تبادل أدوار المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة. إنه واحد من العديد من تماثلات الطبيعة. لقد طوّر الفيزيائي البريطاني جيمس كلارك ماكسويل James Maxwell هذا الأثر عام 1860م تقريبًا. ويدعى هذا التطوّر **نسخة ماكسويل لقانون فارادي:**

يُستحثّ مجال مغناطيسيّ في أيّ منطقة من الفضاء يتغير فيه المجال الكهربائيّ مع الزمن.

في الحالات جميعها، تتناسب شدة مجال الحثّ مع معدل التغير في المجال المُحثّ. تكون مجالات الحثّ الكهربائيّ والمغناطيسيّ متعامدة بعضها على بعض.

لمعلوماتك

لقد تم حديثًا اكتشاف مجالات مغناطيسيّة عملاقة تمتد أبعد من المجرات. تشكل هذه المجالات المغناطيسيّة العملاقة جزءًا مهمًّا من مخزن الطّاقة الكونيّة وتقوم بدور كبير في تشكيل المجرات وتطورها. وكذلك مجموعة المجرات ذات القياس الكبير.



الشّكل 35.9

يرفع الجهد المتولد في محطات القوى بالمحوّلات قبل نقله عبر الدولة بأسلاك مرفوعة. ثم تقوم محولات أخرى بخفضه قبل استخدامه في المنازل والمكاتب والمصانع.

التكنولوجيا النانوية (تقنية المنمنمات)

لقد بدأ عصر التكنولوجيا الميكروية قبل 60 عامًا منذ اختراع الترانزستور - الحالة الصلبة. التقط المهندسون بسرعة هذا الاكتشاف في وضع العديد من الترانزستورات لصناعة ألواح منطقية حاسوبية يمكنها تأدية حسابات وتنفيذ برامج. وكلما زاد عدد الترانزستورات التي يمكن ضغطها معًا في دارة زادت قوة اللوح المنطقي. وهكذا بدأ السباق في ضغط المزيد من الترانزستورات في دارات صغيرة جدًّا. لقد كانت المقاييس التي توصل إليها هي حدود الميكرو (10^{-9}) متر. وهكذا ظهر مصطلح التكنولوجيا الميكروية. لقد أدرك القليل من مخترعي الترانزستور في ذلك الزمان أهمية التكنولوجيا الميكروية وأثرها في المجتمع: من الحواسيب الشّخصيّة، إلى الهواتف المحمولة، إلى الشّبكة العنكبوتيّة.

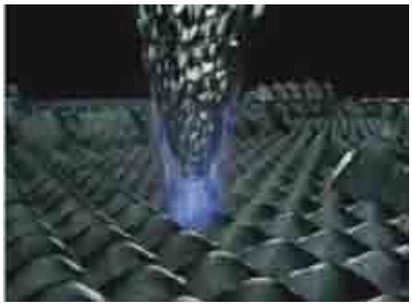
نحن اليوم على أعتاب ثورة مشابهة. إنّ التقدم التّقنيّ الذي حدث حديثًا جعلنا نتخطى حدود الميكروية إلى حدود النّانوية (10^{-9}) متر. والذي هو في حدود الذرات المفردة والجزيئات- الحدود التي أوصلتنا إلى اللبنات الأساسية في بناء المادة. تسمى التكنولوجيا التي تعمل على هذا المقياس التكنولوجيا النّانويّة. لا أحد يستطيع معرفة آثار هذه التكنولوجيا في المجتمعات على وجه الدقة. ولكن الناس أدركوا إمكاناتها الهائلة، والتي على الأغلب أكبر كثيرًا من التكنولوجيا الميكروية.

تهتم التكنولوجيا النانوية بمعالجة الأجسام من مقياس 100-1 نانومتر. لتقريب الصورة. إنّ جزيء الـ د.ن.أ (DNA) هو 2.0 نانومتر تقريبًا. أمّا جزيء الماء فنحو 0.2 نانومتر فقط. وكالتكنولوجيا الميكروية، فإنّ التكنولوجيا النانوية هي علوم بينية تتطلب اتحاد جهود الكيميائيين والمهندسين والفيزيائيين وعلماء البيولوجيا الجزيئية، وآخرين عديدين. ومن المدهش وجود العديد من المكونات التي طورت من خلال التكنولوجيا النانوية في الأسواق. ومن ذلك: واقيات الشّمس، والمرايا التي لا يستقر عليها الضباب، ومواد لطبّ الأسنان، ومحولات أوتوماتيكية محفزة، وملابس خالية من التلوث، وأنظمة تنقية المياه، وقطع أجهزة حاسوب. والكثير الكثير غير هذا. ولكن التكنولوجيا النانوية لا تزال في مرحلة البداية، وعلى الأغلب سنحتاج إلى عقود قبل أن تتحقق إمكاناتها بالكامل. تذكر على سبيل المثال، أنّ الحواسيب الشّخصية لم تنتشر حتى بداية التّسعينيّات من القرن الماضي، أي 40 عامًا بعد أول ترانزستور من الحالة الصلبة. ويتفق معظم الخبراء على أنّ أول المستفيدين هما عِلْما الحاسوب والطب.

تصنع حاليا دارات الحاسوب بإسقاط صورة تصميم الدارة على مادة حساسة ضَوئيًّا تلتقط صورة الدارة، بالضبط كما تلتقط ورق التصوير الصورة الضَّوئيّة. وبالمعالجة الكيميائية، تطورت الصورة الملتقطة للدارة إلى دارة حقيقية. ويمكن تقليص تراكيب الدارات إلى نحو 500 نانومتر عبر عدسات مُصغّرة. وتكون التراكيب الأصغر غير عملية؛ لأنّ المقاييس الصغيرة تصبح أقلّ من طول موجة الضَّوء نفسه؛ طول موجة الضَّوء كبير جدًا!

إنّ تكنولوجيا النّانوي بديل مفيد. حيث يتم بناء الدارت ذرة ذرة. ويعدّ المجهر الماسح الذي نوقش في الفصل 12، من أوائل الأدوات التي سمحت بحدوث هذا، والذي تم استخدامه ليس فقط لإنتاج صورة للذرات المفردة، ولكن سمح أيضا للمُشغل بأن يحرك الذرات المفردة إلى المواقع المطلوبة.

تتضمن المقاربة الجديدة تصميم ألواح منطقية بالكامل، حيث تقوم الجزيئات (وليس الدارات الكهربائيّة) بالقراءة، والمعالجة، وكتابة المعلومات. إنّ أكثر جزيء واعد لمثل هذا العمل هو جزيء (DNA)، نفسه الذي يحمل شفرتنا الوراثية. يمكن للحاسوب الجزيئيّ أن ينفذ عددًا هائلًا من الحسابات في الوقت نفسه. وقد يتفوّق يومًا ما على أسرع دارة متكاملة. وفي المقابل، فإنّ الحاسوب الجزيئيّ ربما يتراجع قريبًا أمام اختراعات أخرى، مثل الحاسوب الكميّ أو الفوتونيّ، والتي جعلتها التكنولوجيا النانوية محتملة.



إنّ الطبيعة هي الخبير الأول في تكنولوجيا النانوي. الكائنات الحية مثلًا أنظمة معقدة من الجزيئات الحيوية المتفاعلة معًا ضمن الجسم في حدود النانومترية. وبهذا التّصوّر، فإنّ الكائنات الحية هي آلات نانوية. لا نحتاج إلى النظر أبعد من أجسامنا حتى نجد الدلائل على إمكانية تكنولوجيا النانوي وقوتها. هناك الكثير في الطبيعة لنتعلمه منها. وبهذه المعرفة، نستطيع فهم أسباب الأمراض والتشوهات جميعها تقريبًا (بما فيها الشيخوخة). ومن ثمَّ القدرة على إيجاد علاجات ناجعة.

راقب استعمالات بعض فوائد تكنولوجيا النانوي: طلاء الجدران التي تغير اللون، أو التي تستخدم لعرض الأفلام والخلايا الشّمسيّة التي تلتقط ضَوء الشّمس بكفاءة عالية. بحيث ينتهي الوقود الأحفوريّ. إنسان آلي عنده طاقة هائلة بحيث لا تستطيع تمييزه من أشكال الحياة العاقلة. كما أنّ آلات التصوير تستطيع تصوير أجسام ثلاثية الأبعاد، بما فيها الكائنات الحية. إلى جانب قدرة الطبّ على عمل أكثر من مضاعفة معدّل الحياة، تكنولوجيا النانوي تفتح آفاقًا جديدة حقًّا.

الشّكل 36.9
في إدارة ذراع المولّد، تبذل شيرون Sheron شغلًا، يتحول إلى جهد وتيار، ثم يتحولان إلى ضَوء.

لقد رأى ماكسويل الربط بين الأمواج الكهرومغناطيسيّة والضَّوء. إذا ضُبطت الشّحنات الكهربائيّة لتهتز في مدى ترددات تماثل تلك التي للضوء فإنّ الموجات المنتجة هي ضوء! اكتشف ماكسويل أنّ الضَّوء موجات كهرومغناطيسيّة في مدى الترددات التي تكون العين حساسة لها.

وفي الليلة السابقة لاكتشافه هذا، كان ماكسويل على موعد مع فتاة تزوجها لاحقًا. ووفقًا لهذه القصة، فبينما كانا يتمشيان في الحديقة، أبدت الشابة إعجابًا شديدًا حول جمال وروعة النجوم. فسألها ماكسويل عن شعورها إذا علمت أنها تتنزه مع الشخص الوحيد في العالم الذي يعرف ماهية ضَوء النّجوم. في الحقيقة، لقد كان ماكسويل هو الوحيد في العالم الذي يعرف أنّ الضَّوء من أي نوع هو طاقة محمولة في موجات المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة التي يولّد بعضها بعضًا باستمرار.

لقد اكُتشفت قوانين الحثّ الكهرومغناطيسيّ في الفترة الزمنية نفسها، التي دارت فيها الحرب الأهلية الأمركية. على المدى الطويل لتاريخ الإنسان، لا يوجد شك في أنّ أهمية أحداث الحرب الأهلية الأمركية لا تقارن بالأحداث المهمة في القرن التاسع عشر؛ إنه قرن اكتشاف قوانين الكهرومغناطيسيّة.

يحتاج كل منا إلى مصفاة معرفية لتخبرنا الفرق بين ما هو حقيقة وما يبدو أنه حقيقة. إنّ أفضل مصفاة للمعرفة اخترعت حتى الآن هو العلم.

ملخّص المصطلحات

القوّة المغناطيسيّة Magnetic force: (1) بين المغانط: تجاذب بين الأقطاب المختلفة وتنافر بين الأقطاب المتشابهة.(2) بين المجال المغناطيسيّ والشحنة المتحرّكة، قوة جارفة بسبب حركة الشحنة: تكون القوّة الجارفة عمودية على كلّ من سرعة الشحنة وخطوط المجال المغناطيسيّ. وتكون هذه القوّة أعظم ما يمكن عندما تتحرك الشحنة عموديًا على خطوط المجال، وأقل ما يمكن (صفر) عندما تتحرك موازية لخطوط المجال.

المجال المغناطيسيّ Magnetic field: منطقة تأثير المغناطيس حول القطب المغناطيسيّ أو الجسيم المتحرك المشحون.

المناطق المغناطيسيّة Magnetic domains: مناطق تجمّع ذرات مصطفّة. عندما تصطفّ هذه المناطق معًا ، تصبح المواد التي تحتوي على هذه المناطق مغناطيسًا.

مغناطيس كهربائيّ Electromagnet: المغناطيس الذي ينتج مجاله بالتّيار الكهربائيّ، وعادة ما يكون على شكل ملف سلك حول قطعة حديد.

الحثّ الكهرومغناطيسيّ Electromagnetic induction: الجهد المستحث عندما يتغير المجال المغناطيسيّ مع الزمن. إذا تغير المجال المغناطيسيّ ضمن حلقة مغلقة بأي طريقة، فإنّ جهدًا يستحثّ في هذه الحلقة:

يتناسب الجهد المستحث مع عدد الحلقات × التغير في المجال المغناطيسيّ / الزمن

قانون فارادي Faraday's law: قانون الحثّ الكهرومغناطيسيّ، الذي يتناسب فيه جهد الحثّ في ملفّ مع عدد الحلقات مضروبًا في معدل تغير المجال المغناطيسيّ ضمن هذه الحلقات. (إنّ جهدَ الحثّ هو في الحقيقة نتاج الظاهرة الأكثر أساسية: حثّ المجال الكهربائيّ).

المولّد Generator: جهاز حثّ كهرومغناطيسيّ ينتج تيارًا كهربائيًّا بدوران ملف ضمن مجال مغناطيسيّ ثابت.

المحوّل Transformer: جهاز لتحويل القدرة الكهربائيّة من ملفّ سلك إلى ملفّ سلك آخر بطريقة الحثّ الكهرومغناطيسيّ.

قانون ماكسويل مقابل قانون فارادي Maxwell's counter-part to Faraday's law: يتولّد مجال حثّ مغناطيسيّ في أيّ منطقة من الفضاء حيث يتغير المجال الكهربائيّ مع الزّمن. وبالتناظر، يتولّد مجال حثّ كهربائيّ في أيّ منطقة من الفضاء حيث يتغير المجال المغناطيسيّ مع الزمن.

أسئلة مراجعة

1. من الذي اكتشف العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسيّة؟ وفي أيّ إطار اكتشفت؟

1.9 الأقطاب المغناطيسيّة

2. بأيّ طريقة تتشابه قاعدة التفاعل بين الأقطاب المغناطيسيّة مع قاعدة التفاعل بين الشّحنات الكهربائيّة؟
3. بأيّ طريقة يكون الاختلاف تامًّا بين الأقطاب المغناطيسيّة والشّحنات الكهربائيّة؟

2.9 المجالات المغناطيسيّة

4. ما الذي ينتج المجال المغناطيسيّ؟
5. ما نوعا الحركة التي تبديها إلكترونات الذرات؟

3.9 المناطق المغناطيسيّة

6. ما المنطقة المغناطيسيّة؟
7. لماذا يكون الحديد مغناطيسيًّا، في حين لا يكون الخشب كذلك؟

4.9 التّيّارات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة

8. ما شكل المجال المغناطيسيّ حول سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا؟
9. ماذا يحدث لاتجاه المجال المغناطيسيّ حول التّيّار الكهربائيّ إذا عُكس اتجاه هذا التّيّار؟
10. لماذا تكون شدةُ المجال المغناطيسيّ داخل حلقة سلك يحمل تيارًا أكبرَ من شدة المجال المغناطيسيّ حول مقطع مستقيم من السّلك؟
11. كيف تتأثر شدة المجال المغناطيسيّ لملف عند وضع قطعة حديد داخله؟ دافع عن إجابتك.

5.9 القوى المغناطيسيّة المؤثرة في الشّحنات الكهربائيّة

12. في أيّ اتجاه يتحرك الجسيم المشحون بالنسبة إليلمجال المغناطيسيّ المؤثّر فيه حتى يتعرض لأكبر قوة جارفة، ولأصغر قوة جارفة؟
13. ما تأثير المجال المغناطيسيّ الأرضي في شدة الإشعاعات الكونية التي تقصف سطح الأرض؟
14. ما الاتجاه النسبي بين المجال المغناطيسيّ وسلك يحمل تيارًا كهربائيًّا حتى ينتج أكبر قوة وأقلها على السّلك؟
15. ماذا يحدث لاتجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك في مجال مغناطيسي عندما يُعكس التّيّار في هذا السّلك؟
16. ماذا يسمى الجلفانومتر عندما يعاير لقراءة كلّ من التّيّار والجهد؟
17. هل صحيح القول إنّ المحرك الكهربائيّ هو ببساطة امتداد للفيزياء التي بني على أساسها الجلفانومتر؟

6.9 الحثّ الكهرومغناطيسيّ

18. ما الاكتشاف المهم المنسوب للفيزيائيّيْن مايكل فارادي وجوزيف هنري؟
19. ● اذكر نصّ قانون فارادي.
20. ما الطرائق الثلاث التي يمكن بها حثّ الجهد في سلك؟

7.9 المولّدات والتّيّار المتناوب

21. كيف نقارن تردد جهد الحثّ بعدد المرات التي يغمس المغناطيس داخل ملف سلك وخارجه؟
22. ما أوجه الشبه والاختلاف الأساسية بين المولّد والمحرك الكهربائيّ؟
23. لماذا يتناوب جهد الحثّ في المولّد؟

8.9 إنتاج الطّاقة

24. ما مصدر الطّاقة للتوربين عادة؟
25. هل صحيح القول إنّ المولّد ينتج الطّاقة الكهربائيّة؟ دافع عن إجابتك.

9.9 المحوّل - رافع وخافض الجهد

26. هل صحيح القول إنّ المحوّل يرفع الطّاقة الكهربائيّة؟ دافع عن إجابتك.
27. أيّ مما يأتي يغيره المحوّل: الجهد، التّيّار، الطّاقة، القدرة؟

10.9 حثّ المجال

28. ما الذي يستحثّ من سرعة تناوب المجال المغناطيسيّ؟
29. ما الذي يستحثّ من سرعة تناوب المجال الكهربائيّ؟
30. ما الرابط المهم بين المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة الذي اكتشفه ماكسويل؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا كانت كلّ ذرة حديد مغناطيسًا صغيرًا، فلماذا لا تكون كلّ المواد الحديدية نفسها مغانط؟
2. ● إذا وضعت قطعة حديد بالقرب من قطب شماليّ لمغناطيس، فسيحدث تجاذب. لماذا يحدث تجاذب أيضًا إذا وضعت قطعة الحديد بالقرب من القطب الجنوبيّ لمغناطيس؟
3. ● ما الفرق بين المغناطيس الذي يُستخدم لتعليق الأوراق على باب

الثلاجة مقارنة بالأقطاب المغناطيسيّة للمغناطيس العاديّ؟

4. ● ما الذي يحيط بالشحنة الكهربائيّة الساكنة، وبالشحنة الكهربائيّة المتحرّكة؟

5. ■ "يتأثر الإلكترون دائمًا بقوة في المجال الكهربائيّ، ولكن لا يتأثر دائمًا بقوة في المجال المغناطيسيّ". دافع عن صحة هذه العبارة.

6. ● لماذا يجذب المغناطيس مسمارًا عاديًّا أو لاقط ورق، ولكنه لا يجذب قلم رصاص؟

7. ● إذا أخبرك صديق أنّ باب الثلاجة مصنوع من الألومنيوم، تحت الغطاء البلاستيكي الأبيض، فكيف يمكنك فحص ما إذا كان ذلك صحيحًا (دون كشط الباب)؟

8. ■ إحدى الطرق لصناعة بوصلة، هي تثبيت إبرة مغناطيسية في قطعة فلين وجعلها تطفو في وعاء مليء بالماء، كما هو مبين في الشّكل.

تصطف الإبرة مع المركبة الأفقية للمجال المغناطيسيّ الأرضي. عند جذب القطب الشّماليّ في اتجاه الشّمال، هل تطفو الإبرة في اتجاه شمال الوعاء؟ دافع عن إجابتك.

9. ● ما القوّة المحصلة على إبرة بوصلة؟ وبأيّ آلية تصطف إبرة البوصلة مع المجال المغناطيسيّ!

10. ● على الأغلب، تكون علب الطعام في رفوف المطبخ مغنطة. لماذا؟

11. ● نعلم أنّ البوصلة تشير في اتجاه الشّمال لأنّ الأرض مغناطيس عملاق. هل الإبرة التي تشير إلى الشّمال ستستمر في الإشارة إلى هذه الجهة عند وضع البوصلة في نصف الكرة الجنوبيّ؟

12. ● عند وضع سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا في مجال مغناطيسيّ قويّ، ولم يتأثر بأيّ قوة، ما اتجاه السّلك في هذه الحالة؟

13. ● للمغناطيس (أ) ضعف شدة المجال للمغناطيس (ب). وعند مسافة معينة سحب المغناطيس ب بقوة 50 نيوتن. ما مقدار القوّة التي يسحب بها المغناطيس (ب) المغناطيس (أ)؟

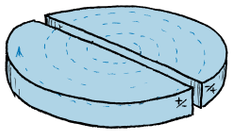
14. ● في الشّكل 17.9، نرى مغناطيسًا يؤثّر بقوة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا. هل يؤثر السّلك الذي يحمل تيارًا بقوة في المغناطيس؟ اذكر السبب في حال كان جوابك بالنفي أو الإيجاب.

15. ● يجذب مغناطيس قويّ ماسك الورق إليه بقوة معينة. هل يؤثر ماسك الورق بقوة في المغناطيس القوي؟ إنْ لم يؤثر، فلماذا؟ وإنْ كان كذلك، فهل يؤثر بقوة مساوية للقوة التي يؤثر بها المغناطيس فيه؟ دافع عن إجابتك.

16. ■ عند بناء سفينة بحرية فولاذية، يسجّل موقع السّفينة واتجاهها على لوحة نحاسية مثبتة بشكل دائم عليها. لماذا؟

17. ● هل يمكن لإلكترون ساكن أن يبدأ الحركة بواسطة مجال مغناطيسي؟ ماذا لو كان ساكنا في مجال كهربائيّ؟

18. ● السيكلترون جهاز لمسارعة الجسيمات المشحونة إلى سرعات عالية عند اتباعها مسارًا لولبيًّا متمددًا.



تتعرض الجسيمات المشحونة إلى المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ. أحد هذين المجالين تزيد سرعة الجسيمات المشحونة، أمّا المجال الآخر فيتسبب في جعلها تتبع مسارًا منحنيًا. ما عمل كلّ مجال منهما؟

19. ● تنفد حزم من البروتونات ذات الطّاقة العالية من السيكلترون. هل تفترض أنّ المجال المغناطيسيّ يرتبط بهذه الجسيمات؟ اذكر السبب في حال كان الجواب بالنفي أو الإيجاب

20. ■ لماذا يمكن للمجال المغناطيسيّ أن يحرف حزمة إلكترونات، ولكنه لا يبذل شغلًا عليها ليغير سرعتها؟

21. ■ إذا قذف جسيمان مشحونان في مجال مغناطيسي متعامد مع سرعتيهما، و انحرفا في اتجاهين متعاكسين، فماذا يخبرك هذا عن شحنتيهما؟

22. ● لماذا يُقصف سكان شمال كندا بإشعاعات كونية أكثر شدة من سكان المكسيك؟

23. ● ما التغيّرات في شدة الأشعة الكونية التي نتوقع حدوثها عند سطح الأرض خلال الفترات التي يقوم فيها المجال المغناطيسيّ الأرضي بعكس قطبيه وبطور صفريّ؟

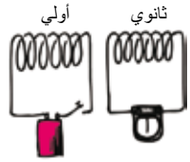
24. ■ توجه الأيونات في مطياف الكتلة إلى مجال مغناطيسي، حيث تنحني بواسطة المجال وتضرب بالكاشف. إذا انتقلت ذرات متنوعة مؤينة فرديًّا بالسرعة نفسها خلال المجال المغناطيسيّ، فهل تتوقع انحراف هذه الأيونات بالكمية نفسها، أم بكميات مختلفة؟

25. ● تاريخيًّا، قلّل استبدال الطرق المعبدة - بدلًا من الطرق غير المعبدة - من الاحتكاك بين العربات وسطح الطريق. كما أنّ حلول سكة الحديد محل الطرق المعبدة قلّل من الاحتكاك أكثر. ما الخطوات التالية في إنقاص الاحتكاك بين العربات والسطوح التي تتحرك عليها؟ ما الاحتكاك المتبقي بعد إزالة احتكاك السطوح؟

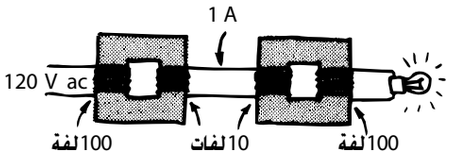
26. ■ هل يؤثر زوج من الأسلاك المتوازية التي تحمل تيارًا كهربائيًّا في بعضها في بعض بقوة؟

27. ● عندما يدفع أحمد السّلك بين قطبي المغناطيس، يسجل الجلفانومتر نبضة. وعندما يسحب السّلك تسجل نبضة أخرى. كيف تختلف النبضات؟

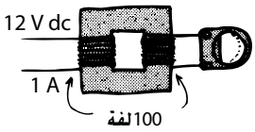
28. ■ لماذا يصعب إدارة محثّ المولّد عندما يوصل في دارة تزوده بالتّيار الكهربائيّ؟
29. ■ هل تقطع الدراجة الهوائية مسافة أبعد إذا أطفئ المصباح المتصل بالمولّد المنشط بالعجلة؟ فسّر.
30. ■ إذا تحركت سيارتك الفلزية فوق حلقة عريضة مغلقة من السّلك المطمور تحت سطح الأرض، فهل يتغير المجال المغناطيسيّ الأرضي ضمن الحلقة؟ هل ينتج هذا نبضة تيار؟ هل يمكنك التفكير في تطبيق عملي على تقاطع الإشارات الضّوئيّة؟
31. ● في المنطقة الأمنية في المطار، أنت تمشي خلال مجال مغناطيسي متناوب ضعيف داخل ملف كبير من السّلك. ما النتيجة التي تحدثها قطعة فلزية صغيرة في جسمك، والتي تغير قليلًا من المجال المغناطيسيّ داخل الملف؟
32. ● يكون شريط البلاستيك المغلف بأكسيد الحديد ممغنطًا في جزء أكثر من الجزء الأخر. ماذا يحدث للملف إذا مرّر الشريط في ملف صغير من السّلك؟ ما التطبيق العملي لذلك؟
33. ● كيف تقارن أجزاء المدخلات والمخرجات في المولّد والمحرك؟
34. ■ يقول صديقك: إذا أدرت ذراع عمود المولّد الثابت (DC) يدويًّا، فسيصبح المحرك مولدًا ثابتًا. هل تتفق معه أم تختلف؟ دافع عن إجابتك.
35. ■ إذا وضعت حلقة فلزية في منطقة بحيث يتغير المجال المغناطيسيّ بسرعة، فمن الممكن أن تصبح الحلقة ساخنة في يدك. لماذا؟
36. ■ وضع ساحر حلقة من الألومنيوم على طاولة، وخبأ تحتها مغناطيسًا كهربائيًّا. عندما يقول الساحر "تعويذة" (ثم يغلق مفتاح الدارة والذي يسمح بسريان التّيار في الملف تحت الطاولة). تقفز الحلقة في الهواء. فسّر هذه "الحيلة".
37. ■ كيف يُضاء مصباح كهربائيّ بالقرب من مغناطيس كهربائيّ دون أن يلامسه؟ هل يحتاج إلى تيار مباشر أم متناوب؟ دافع عن إجابتك.
38. ● ثُبّت ملفان من الأسلاك متشابهان ولكنهما منفصلان كما في الشّكل أدناه. الملف الأول موصول ببطارية، ويمر فيه تيار ثابت. أما الملف الثاني فموصول بجلفانومتر. كيف يستجيب عند إغلاق الدارة في الملف الأول؟ بعد إغلاق الدارة، متى يصبح التّيار منتظمًا، عند فتح المفتاح؟



39. ● لماذا يتولّد جهد حثّ أكبر في الجهاز المبيّن في السّؤال السّابق إذا أدخل حديد في قلب الملفات؟
40. ● لماذا يحتاج المحوّل إلى جهد متناوب؟
41. ● كيف تقارن التّيار في ثانوي المحوّل بالتّيار الأولي عندما يكون جهد الثانوي ضعف جهد الأولي؟
42. ■ بأيّ معنى يمكن التفكير في المحوّل على أنه رافعة كهربائيّة؟ ما الذي تضاعفه؟ ما الذي لا تضاعفه؟
43. ■ في الدارة المبينة، ما فرق الجهد بين طرفي المصباح؟ وما عدد الأمبيرات التي تسري خلاله؟



44. ■ في الدارة المبينة، ما فرق الجهد بين طرفي المقياس؟ وما شدة التّيار المار فيه؟



45. ■ كيف تجيب عن السّؤال السّابق إذا كان الجهد الداخل يساوي 12 فولت متناوبًا (ac)؟
46. ● هل يمكن لمحول ذي كفاءة عالية أن يزيد الطّاقة؟ دافع عن إجابتك.
47. ● يقول صديق: المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة المتغيرة يمكن أن يولد بعضها بعضًا، وهذا يؤدي إلى إنتاج ضوء مرئيّ عندما يتساوى تردد التغيير مع تردد الضّوء. هل هذا صحيح؟ فسّر.
48. ■ هل يمكن أن تتوافر الأمواج الكهرومغناطيسيّة إذا كانت المجالات المغناطيسيّة المتغيرة تنتج مجالات كهربائيّة، ولكن لا يمكن للمجالات الكهربائيّة المتغيرة أن تنتج بدورها مجالات مغناطيسيّة؟ فسّر.
49. ♦ إذا سقط قضيب مغناطيسي في أنبوب نحاسيّ موضوع بشكل عموديّ، فإنه يسقط ببطء ملحوظ أكثر مما لو سقط خلال أنبوب بلاستيكي له طول الأنبوب النحاسي نفسه. فإذا كان أنبوب النحاس طويلًا بما فيه الكفاية، فإنّ القضيب المغناطيسيّ السّاقط يصل إلى سرعة السّقوط الحدية. اقترح تفسيرًا.
50. ♦ لتوليد كهرباء دون وقود، رتّب محركًا لتشغيل مولد ينتج كهرباء، والذي يمكن زيادتها باستخدامه على أنه محول رافع يعمل على تشغيل المحرك. وفي الوقت نفسه يزودنا بالكهرباء للاستخدامات الأخرى. ما الخطأ في هذا المشروع؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● يحتاج مسجل الأقراص المكثفة المحمول 12 فولت لتشغيله بصورة سليمة. يستطيع محول هذا الجهاز الحصول على هذا الجهد من مصدر 120 فولت. إذا كان عدد لفات الأوليّ 500 لفة، فبين أنّ لفات الثانويّ 50 لفة.
2. ● يحتاج قطار كهربائيّ (لعبة) إلى 6 فولت لتشغيله. وعند وصله بدارة كهربائيّة منزلية تعمل على 120 فولت، سنحتاج إلى محوّل. إذا كان عدد لفات الملف الأوليّ 240 لفة، فأثبت أنّ عدد لفات الثانويّ 12 لفة.
3. ● يحول محول حاسوب 120 فولت المدخلة إلى 24 فولت كمخرج. بين أنّ عدد لفات الأوليّ هو خمسة أضعاف عدد لفات الملف الثانويّ.
4. ● إذا كان التّيار الخارج من المحوّل في المسالة السّابقة 1.8 أمبير، فبين أنّ مقدار التّيار الداخل هو 0.36 أمبير.
5. ● إذا كان الجهد المدخل إلى محول 9 فولت، فإنّ الجهد الخارج

سيكون 36 فولت. إذا أدخل جهد 12 فولت، فبين أنّ الجهد الخارج يكون 48 فولت.

6. ● عدد لفات الملف الأوليّ لمحول مثاليّ 50 لفة، والثانويّ 250 لفة. فإذا وصل جهد 12 فولت (*ac*) إلى الأوليّ، فبين أنّ: (أ) 60 فولت (*ac*) يتوافر في الثانوي. (ب) تيارًا بمقدار 6 أمبير في جهاز موصول إلى الملف الثانوي مقاومته 10 أوم. (ج) القدرة المزودة للابتدائيّ 360 واط.

7. ● تحتاج إشارات النيون إلى 12000 فولت لتشغيلها. اعتبر تشغيل إشارة نيون يتغذى من خط 120 فولت. بين أنّ عدد ملفات الثانويّ أكبر من عدد لفات الملف الابتدائيّ 100 مرة.

8. ■ يزود الطرف الآخر من مدينة بقدرة 100 كيلو مرة (10^5 واط) بزوج من خطوط القوى، وفرق الجهد بينهما 12000 فولت.

أ-بين أنّ التّيار في الخطوط 8.3 أمبير.

ب-إذا كان لكل خط مقاومة مقدارها 10 أوم، فبيّن أنّ هناك تغيرًا مقداره 83 فولت في أي جهد لكل خط (فكر مليًا. هذا التعبير هو خلال كل خط، وليس بين الخطوط.)

ج-بين أنّ الطّاقة المستهلكة على شكل حرارة في كلا الخطين معًا هي 1.38 كيلو واط (ميّز بين هذه الطّاقة والطّاقة التي يتزود المستهلكون بها).

د-كيف تؤيد حساباتك أهمية جهد الرفع للمحولات للنقل عبر المسافات الطويلة؟

أنشطة استكشافية

1. يمكن بسهولة مغنطة قضيب حديد بوضعه ضمن خطوط المجال المغناطيسيّ الأرضي وطرقه بخفة عدة مرات بمطرقة. وتكون هذه العملية أفضل إذا تلاءم ميل القضيب مع انحدار المجال المغناطيسيّ الأرضي. ويمكن إزالة مغنطته عندما يكون موجها في اتجاه شرق - غرب.

2. يستحثّ المجال المغناطيسيّ الأرضي بعض درجات المغنطة في الأجسام الحديدية من حولك. يمكنك معرفة أنّ علب الطعام على رفوف حجرة حفظ الأطعمة لها قطبان: شماليّ وجنوبيّ. وعند تحريك البوصلة من القاعدة إلى القمة، يمكنك تحديد قطبيتها بسهولة. عَلّمْ الأقطاب إلى شماليّ أو جنوبيّ، ثم اقلب العلبة إلى الأسفل والأعلى ولاحظ كم يومًا يمر حتى تعكس الأقطاب نفسها. فسّر لأصدقائك سبب انعكاس الأقطاب.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الإجابة الأفضل لكلّ ما يلي:

1. يمكن أن تتفاعل الشّحنات الكهربائيّة المتحرّكة مع:
أ. المجال الكهربائيّ.
ب. المجال المغناطيسيّ.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.

2. تكون خطوط المجال المغناطيسيّ لسلك يحمل تيّارا كهربائيًّا:
أ. دوائر.
ب. خطوطًا قطرية.
ج. تيارات دوامة.
د. حلقات طاقة.

3. يمكن أن تؤثر القوّة المغناطيسيّة في الإلكترون حتى عندما يكون:
أ. ساكنًا.
ب. متحركًا بموازاة خطوط المجال المغناطيسيّ.
ج. أ+ب.
د. لا شيء مما ذكر.

4. يمكن أن تغير القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في حزمة إلكترونات من:
أ. اتجاهها.
ب. طاقتها.
ج. أ+ب.
د. لا شيء مما ذكر.

5. المحرك والمولّد :
أ. جهازان متشابهان.
ب. جهازان مختلفان تمامًا بتطبيقات مختلفة.
ج. محولان.
د. مصدرا طاقة.

6. إذا غيرت المجال المغناطيسيّ في حلقة سلك مغلقة، فإنك تستحثّ في الحلقة:
أ. تيارًا.
ب. جهدًا.
ج. مجالًا كهربائيًّا.
د. جميع ما ذكر.
هـ. لا شيء مما ذكر.

7. يستحثّ جهد في حلقة سلك عندما يكون المجال المغناطيسيّ ضمن الحلقة:
أ. يتغير.
ب. يصطفّ مع المجال الكهربائيّ.
ج. يصنع زاوية قائمة مع المجال الكهربائيّ.
د. يتحول إلى طاقة مغناطيسيّة.

8. يمكن أن يغير محول ذو كفاءة عالية في دارة كهربائيّة متناوبة (ac):
أ. التّيّار.
ب. الطّاقة.
ج. القدرة.
د. جميع ما ذكر.
هـ. لا شيء مما ذكر.
9. يتولّد مجال حثّ كهربائيّ في أيّ منطقة في الفضاء الذي يكون فيه:
أ. اتجاه المجال المغناطيسيّ متعامدًا مع المجال الكهربائيّ.
ب. المجال الكهربائيّ المصاحب متغيرًا مع الزمن.
ج. المجال المغناطيسيّ متغيرًا مع الزمن.
د. جميع ما ذكر.
10. تتحد الكهرباء والمغناطيسيّة لتكوين:
أ. الكتلة.
ب. الطّاقة.
ج. صوت فائق التردد.
د. ضوء.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة
1ج، 2أ، 3د، 4أ، 5أ، 6ج، 7أ، 8أ، 9د، 10ج

الفصل 9 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 9.3، 9.8، 9.17، 9.21، 9.24، 9.28

دروس تعليمية
- الحقول المغناطيسية

أشرطة فيديو
- اكتشاف أوراستد
- القوى المغناطيسية المؤثرة في أسلاك تحمل تيار كهربائي
- تطبيقات على الحث
- قانون فراداي

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

10

الأمواج والصّوت

■ تهتز العديد من الأشياء وتتذبذب من حولنا؛ فسطح الجرس، ووتـر القيثارة، وقصبة المزمار، والشـفتان علـى فم البوق، والأحبـال الصّوتيّة فـي حنجرتك عندما تتكلـم أو تغني، هذه الأشياء جميعها تهتز. وعندما تهتز هذه الأشياء في الهواء فإنّها تجعـل جزيئات الهواء التي تلمسـها تهتـز وتتذبذب بالطريقة نفسـها تمامًا، وتنتشـر هذه الاهتزازات في الاتجاهات كافة، وتصبـح ضعيفة، وتفقد طاقة على شـكل حرارة، حتى تختفي تمامًـا. ولكن حتى تصل هـذه الاهتزازات إلـى أذنك، فعليها الانتقال إلى جزء من دماغك، وحينها تسمع صوتًا.

1.10 الاهتزازات والأمواج

2.10 الحركة الموجيّة

3.10 الأمواج الطّوليّة والعرضيّة

4.10 أمواج الصّوت

5.10 انعكاس الصّوت وانكساره

6.10 الاهتزازات القسريّة والرّنين

7.10 التّداخل

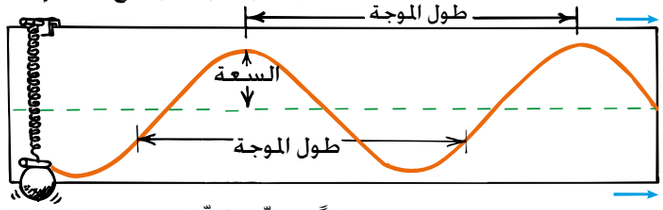
8.10 ظاهرة دوبلر

9.10 الأمواج المنحنية والانفجار الصّوتيّ

10.10 الأصوات الموسيقيّة

1.10 الاهتزازات والأمواج

بصورة عامة، يكون أيّ شيء مهتزًا عندما يتحرك ذهابًا وإيابًا، من جانب إلى آخر، وإلى الداخل والخارج، وإلى الأعلى والأسفل. إنّ **الاهتزاز** ***(Vibrations)*** هو تذبذب في الزّمن. أمّا **الموجة** ***(Wave)*** فهي تذبذب في المكان والزّمن، وهذه الموجة تمتد من موقع إلى آخر. ويعدّ كلّ من الضّوء والصّوت اهتزازات تنتشر عبر المكان كموجات، ولكنهما موجات مختلفة في النوع تمامًا؛ فالصّوت هو انتشار الاهتزازات عبر وسط مادي - صلب أو سائل أو غاز. وإن لم يتوافر وسط للاهتزاز، فلن يحدث الصوت. وإذا كان الصّوت لا ينتقل في الفراغ فإنّ الضّوء ينتقل فيه (كما سيناقش في الفصل 11)؛ لأنّ الضّوء هو اهتزاز مجالات كهربائيّة ومغناطيسية غير مادية؛ إنّه اهتزاز طاقة تام. وعلى الرّغم من أنّ الضّوء يمرّ من خلال مواد عديدة، فإنّه لا يحتاج إلى مادة للانتقال عبرها. وهذا واضح، حيث إنه ينتشر في الفراغ بين الشّمس والأرض.



الشّكل 1.10

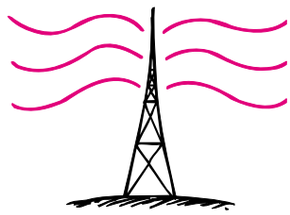
عند اهتزاز البلبل إلى الأعلى والأسفل، يرسم القلم منحنى جيبيًّا على الورقة، والذي يتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة.

يبيّن الشّكل 1.10 العلاقة بين الاهتزاز والموجة. يهتز قلم التّأشير المثبت على بلبل النابض العموديّ إلى الأعلى والأسفل، تاركًا آثار شكل الموجة على ورقة تتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة. وفي الواقع، فإنّ شكل الموجة هو *منحنى جيبيّ*، تمثيل صوريّ للموجة. تسمّى النقاط العالية لموجة الماء *قممًا*، في حين تسمّى النقاط المنخفضة بطونًا. ويمثّل الخطّ المستقيم المتقطع الموقع الأصليّ، أو منتصف الاهتزاز. إنّ مصطلح السّعة يشير إلى المسافة من نقطة المنتصف إلى قمة (أو إلى بطن) الموجة. وعليه، فإنّ السّعة (Amplitude) تساوي الإزاحة القصوى من نقطة الاتزان.

طول الموجة ***(Wave Length)*** هو المسافة بين أعلى نقطة في القمة و أعلى نقطة للقمة التالية، أو أنّه المسافة بين نقطتين متتابعتين لأجزاء متماثلة للموجة. وتقاس أطوال الموجات على الشّاطئ بالأمتار، في حين تقاس أطوال موجات خرير الماء في بركة راكدة بالسنتمترات. أمّا الأطوال الموجيّة للضوء فتقاس بالنانومتر (من المتر). ومن الجدير بالذكر أنّ للموجات جميعها مصادر اهتزاز.

يوصف تكرار حدوث الاهتزاز بالتّردد (*frequency*). فتردد بندول بسيط، أو جسيم على زنبرك، يحدد عدد الاهتزازات الكاملة التي تحدث في زمن معين (عادة في ثانية واحدة). وتسمى الدورة الكاملة ذهابًا وإيابًا اهتزازة واحدة. وإذا حدثت في ثانية واحدة، يكون الاهتزاز دورة في الثانية. وإنْ حدث اهتزازان خلال ثانية واحدة، فسيكون التّردد اهتزازين في الثانية.

لقد سمّيت وحدة التّردد هرتز (*Hz*) تكريمًا لهنريش هرتز *Heinrich Hertz*، الذي أثبت وجود الأمواج الراديويّة في عام 1886م. إنّ الاهتزاز لكلّ ثانية هو 1 هرتز، وكلّ اهتزازين في الثانية 2 هرتز. أمّا الترددات الأعلى فبالميجاهرتز . وتقاس عادة أمواج الرّاديو (AM) بالكيلوهرتز، في حين تقاس أمواج الراديو *FM* بالميجاهرتز. فمحطة AM تبث على موجة 960 كيلوهرتز، مثلًا، تبث أمواج راديو بتردد 960,000 اهتزازة في الثانية. في حين تبث محطة FM بـ 101.7 ميجاهرتز أمواجا بتردد 101,700,000 هرتز. إنّ ترددات أمواج الراديو هذه تعبر عن الاهتزازات القسريّة للإلكترون في هوائيّ برج محطة الإرسال. وتقاس التّرددات الأعلى بالجيجا هرتز؛ أيْ بليون اهتزازة في الثانية. يعمل الهاتف المحمول في مدى الجيجا هرتز (*GHz*). وهذا يعني أنّ الإلكترون يهتز بلايين الاهتزازات في الثانية! ويكون تردد الإلكترونات المهتزة مساويًا لتردد الموجة الناتجة.



الشّكل 2.10

مصدر أيّ موجة هو شيء يهتز. تهتز الإلكترونات في الهوائيّ الباثّ 940,000 مرة كلّ ثانية، وينتج 940 كيلوهرتز كأمواج راديوية. لا يمكن رؤية الأمواج الراديوية ولا سماعها، ولكنها ترسل أنماطًا يلتقطها جهاز المذياع أو التلفاز ويحولها إلى أصوات وصور.

إنّ دورة (*Period*) الموجة أو الاهتزاز هو الزمن اللازم لإكمال دورة تامة؛ دورة كاملة. ويمكن حساب الدورة من التّردد، والعكس صحيح. افترض مثلًا أنّ البندول يعمل اهتزازين في الثانية، فيكون تردده 2 هرتز. والزمن اللازم لإكمال اهتزاز واحد- أي، دورة الاهتزازة الواحدة- هي $\frac{1}{2}$ ثانية. أو، إذا كان تردد الاهتزاز هو 3 هرتز، فإنّ الدورة هي $\frac{1}{3}$ ثانية. إذن، فالتّردد والدورة كل منهما معكوس للآخر:

التّردد= 1 / الدورة

أو، العكس صحيح.

الدورة= 1 / التّردد

لمعلوماتك

■ يماثل تردد الموجة تردد المصدر المهتز. هذا صحيح ليس فقط في حالة الأمواج الصّوتيّة، بل، وكما سنرى في الفصل القادم، في الأمواج الضوئية أيضًا. إنّ الأمواج التي ندرسها هي *أمواج دورية* لها دورات محددة.

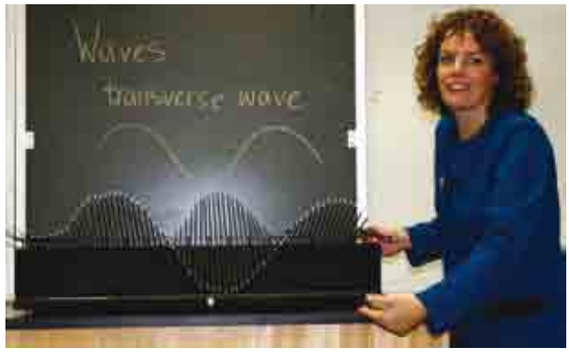
■ **نقطة فحص**

1. سكّين كهربائيّ يكمل 60 دورة في كلّ ثانية: أ- ما تردده؟ ب- ما دورته؟
2. إذا كان الفرق بين قمة موجة وبطنها 60سم، فما اتساعها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. (أ) 60 دورة في الثانية، أو 60 هرتز. (ب) $\frac{1}{60}$ من الثانية.
2. السّعة تساوي 30 سم؛ أي نصف المسافة بين قمة الموجة وبطنها.

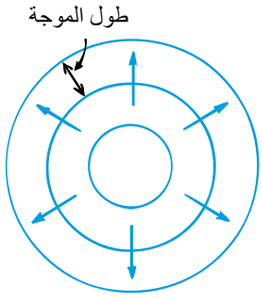
■ 2.10 الحركة الموجيّة



الشّكل 3.10
تستخدم دايان Diane آلة الموجة الصفية لتوضيح كيف يُنتج الاهتزاز الموجات.

إذا أسقطت حجرًا في بركة راكدة، فستنتقل الأمواج إلى الخارج على شكل دوائر متمددة. تُحمل الطّاقة بالموجة وتنتقل من مكان إلى آخر. ولكن الماء لا ينتقل من مكانه. يمكن أن يشاهد ذلك بالأمواج التي تعترض ورقة طافية. تهتز الورقة إلى الأعلى والأسفل، ولكنها لا تنتقل مع الموجات. تستمر الموجات في الحركة، ولكن ليس الماء. والشيء نفسه صحيح لأمواج الريح في حقل عشب طويل في يوم عاصف. تنتقل الأمواج عبر العشب، في حين تبقى نباتات العشب المفردة في أماكنها. إنها تتأرجح ذهابًا وإيابًا بين نقاط محددة، ولكنها لا تذهب إلى أيّ مكان.

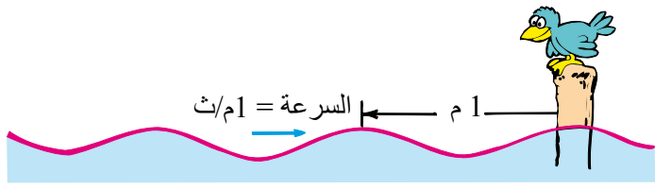
وعندما تتكلم، تنشر جزيئات الهواء الاهتزاز خلال الهواء بسرعة 340 مترًا في الثانية تقريبًا. ينتقل الاهتزاز، وليس الهواء نفسه، عبر الغرفة بهذه السرعة نفسها. في هذه الأمثلة، عندما تنتهي حركة الموجة، فإنّ كلًّا من الماء والعشب والهواء يعود إلى موقعه الأول. ومن طبيعة الحركة الموجيّة هو أنّ الوسط الناقل للموجة يعود إلى الوضع الأول بعد أن ينتهي الاهتزاز.



الشّكل 4.10
منظر علوي لأمواج ماء.

سرعة الموجة (Wave Speed)

ترتبط سرعة حركة الموجة الدورية بتردد تلك الموجات وطولها. ادرس الحالة البسيطة لموجات الماء (الشكلان 4.10 و5.10). تخيل أننا ركزنا نظرنا على نقطة مستقرة على سطح الماء وراقبنا مرور الموجات على هذه النقطة. يمكننا قياس الزمن بين وصول إحدى القمم ووصول القمة التالية (الدورة). ويمكننا قياس المسافة بين هاتين القمتين (طول الموجة).



الشّكل 5.10

إذا كان طول موجة 1م، وتخطت موجة واحدة العمود في ثانية واحدة، فإنّ سرعة الموجة هي 1 م/ث.

نحن نعلم أنّ السّرعة هي المسافة مقسومة على الزمن. في هذه الحالة، المسافة هي طول موجة واحدة، والزمن هو دورة واحدة. وعليه فإنّ سرعة الموجة = طول الموجة / الدورة

ولأنّ الدورة تساوي معكوس التّردد فإنّ الصيغة هي:
(**سرعة الموجة** = *طول الموجة* / *الدورة*). ويمكن كتابتها على الشّكل الآتي:

سرعة الموجة = طول الموجة × التّردد

تنطبق هذه العلاقة على أنواع الموجات جميعها، سواء كانت موجات ماء أو موجات صوت، أو موجات ضوء.

لمعلوماتك

■ نعبّر عن سرعة الموجة عادةً بالمعادلة $v = f\lambda$ ، حيث v سرعة الموجة، وf ترددها أمّا (λ الحرف اليوناني *Lambda*) فطولها.

■ **نقطة فحص**

1. إذا اندفع قطار من عربات الشّحن، وطول كلّ واحدة 10م من أمامك بمعدل 3 عربات كلّ ثانية، فما سرعة القطار؟
2. إذا اهتزت موجة ماء إلى الأعلى وإلى الأسفل ثلاث مرات في الثانية، وكانت المسافة بين قمم الموجات 2م.
أ- فما التّردد؟ ب- وما طول الموجة؟ ج- وما سرعة هذه الموجة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

30 متر/ث. يمكننا إثبات ذلك بطريقتين. وفقًا لتعريف السّرعة في الفصل الثّاني، فإنّ:

السرعة = $\frac{d}{t} = \frac{10 \times 3 \text{م}}{(1 \text{ ث})}$ = 30 متر/ث، لأنّ 30م من القطار تمر من أمامك كلّ ثانية.

إذا قارنا قطارنا بحركة الموجة، حيث يناظر طول الموجة 10م والتّردد 3 هرتز، فإنّ السرعة = التّردد × طول الموجة = 3 هرتز × 10م = 30 (م/ث)

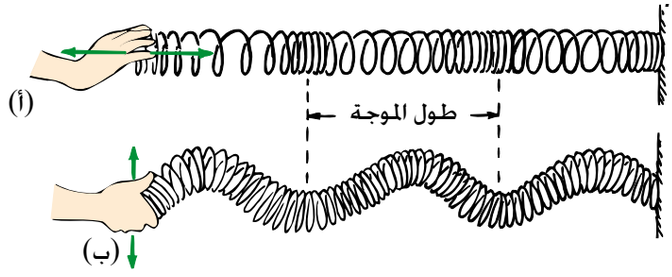
2. أ- 3 هرتز. ب- 2م. ج- سرعة الموجة = التّردد × طول الموجة = 3/ث × 2م = 6 م/ث

كن واضحًا في التمييز بين التّردد والسّرعة. إنّ عدد تكرار اهتزازات الموجة مختلف تمامًا عن سرعة انتقالها من موقع إلى آخر للطاقة الكهربائيّة.

■ 3.10 الأمواج الطّوليّة والعرضيّة

اربط أحد أطراف زنبرك إلى الحائط وأمسك الطرف الحر بيدك. إذا هززت الطرف الحرّ إلى الأعلى والأسفل، فإنّك تنتج اهتزازات تكون اتجاهاتها متعامدة على اتجاه انتقال الموجة. تسمى الحركة بالزوايا القائمة، أو الطرق الجانبية بالحركة العرضيّة. ويسمّى نوعُ هذه الموجة *الموجة العرضيّة*. وتكون الأمواج في الأسلاك المشدودة للأجهزة الموسيقيّة وعلى سطوح السّوائل أمواجًا عرضية. وسنرى لاحقًا أنّ الأمواج الكهرومغناطيسية- بعضها أمواج راديو وبعضها الآخر أمواج ضوء- هي أيضًا أمواج عرضيّة.

الموجة الطّوليّة هي تلك الموجة التي يكون اتجاه انتقالها على طول اتجاه اهتزاز المصدر. يمكنك إنتاج موجة طولية عندما تهز زنبركًا إلى الأمام والخلف عبر محوره (الشّكل 6.10أ). ويكون اتجاه الاهتزازات حينها بموازاة اتجاه انتقال الطّاقة. ينضغط جزء من الزنبرك، وينتقل **انضغاط (Compression)** الموجة على طوله. وهناك منطقة مشدودة بين التضاغطات المتتابعة تسمّى **التخلخل (Rarefaction)**. تنتقل كلّ من التضاغطات والتخلخلات بموازاة الزنبرك. ويشكلان معًا الموجة الطّوليّة. يوضح الشّكل 6.10ب تولد الموجة العرضيّة.



الشّكل 6.10

كلتا الموجتين تنقلان الطّاقة من اليسار إلى اليمين.
(أ) عند دفع إحدى نهايتي زنبرك وسحبه بسرعة على امتداد طوله تنتج موجة طوليّة. (ب) عند هزّ نهايتيه إلى الأعلى والأسفل (أو من جهة إلى الجهة الأخرى) تنتج موجة عرضيّة.

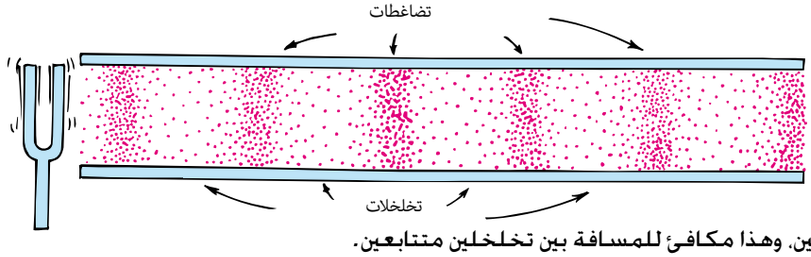
إذا درست الزلازل الأرضية فإنّك تعرف نوعين من الموجات التي تنتقل في الأرض. أحد هذين النوعين الأمواج الطولية (أمواج *P*)، والنوع الآخر الأمواج العرضية (أمواج *S*). تنتقل هذه الأمواج بسرعات مختلفة. وهذا يزود الباحثين بطرق لتحديد مصدر هذه الموجات. أضف إلى ذلك أنّ الموجات العرضيّة لا تستطيع الانتقال عبر المواد السّائلة. بعكس الأمواج الطّوليّة التي تستطيع ذلك. مما يزودنا بطرق لتحديد ماهية المادة في باطن الأرض (مصهورة أم صلبة).

الشّكل 7.10
إذا هززت مضرب كرة التنس بين كرات كثيرة، فإنّ الكرات تهتز أيضًا.

يحتاج الصّوت إلى وسط؛ فهو لا ينتقل في الفراغ، لعدم وجود ما يمكن ضغطه أو خلخلته.

■ 4.10 أمواج الصّوت

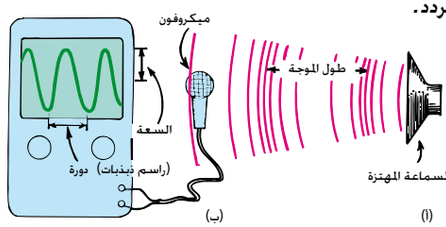
فكّر في جزيئات الهواء في حجرة عندما تتحرك كرة تنس الطاولة الصغيرة عشوائيًّا. إذا هززت طاولة التنس والكرات في وسطها، فإنّك تجعلها تهتز إلى الأمام وإلى الخلف. وبإيقاع الطاولة المهتزة نفسه، تتجمع لحظيًّا في بعض المناطق (تضاغطات)، وفي بعض المناطق البينية تنتشر (تخلخلات). إنّ الشُعب المهتزة للشوكة الرنانة تقوم بالشيء نفسه بجزيئات الهواء. تنتشر الاهتزازات المكونة من تضاغطات وتخلخلات من الشوكة الرنانة عبر الهواء، وعندئذ تنتج موجة صوت.



الشّكل 8.10
تنتقل التضاغطات والتخلخلات (كلتاهما بالسرعة نفسها وبالاتجاه نفسه) من شوكة رنانة خلال الهواء في الأنبوب. طول الموجة هو المسافة بين تضاغطين أو تخلخلين متتابعين.

إنّ طول موجة الصّوت هي المسافة بين تضاغطين متتابعين، وهذا مكافئ للمسافة بين تخلخلين متتابعين. يهتز كلّ جزيء في الهواء إلى الأمام وإلى الخلف حول موقع الاتزان عند تحرك الموجة.

يوصف انطباعنا الشّخصيّ حول تردد الصّوت بدرجة النغم (*Pitch*)؛ فالصّوت ذو درجة النغم العالية كالصّوت الذي يصدر عن جرس صغير، يكون تردد اهتزازه عاليًا. في حين تكون درجة النغم منخفضة للصوت الصادر عن الجرس الكبير؛ لأنّ الاهتزاز يكون منخفض التّردد.



الشّكل 9.10
(أ) سماعة المذياع هي مخروط ورقيّ يهتز بإيقاع مع الإشارة الكهربائيّة. يبدأ الصّوت المنتج اهتزازات متشابهة في الميكروفون. تعرض الاهتزازات على راسم الذبذبات. (ب) هيئة الموجة على شاشة راسم الذبذبات كرسم للضغط مقابل الزمن، يوضح كيف يرتفع الضغط بالقرب من الميكروفون وينخفض بابتعاد أمواج الصّوت. عندما يزيد علو الصّوت، تزيد سعة هيئة الموجة.

يعتمد علو درجة النغم للصوت الذي نسمعه أو انخفاضها على تردد موجة الصّوت. إنّ الأذن البشرية تسمع عادة درجات نغم في المدى ما بين 20 هرتز إلى نحو 20,000 هرتز. ويقل هذا المدى مع تقدّم العمر. وهكذا، فإنّه حين يكون بمقدورك تبديل نظام الصّوت القديم لديك بنظام صوت أثمن، فلربما لا تستطيع التمييز بين النظامين.

تسمّى الأمواج الصّوتيّة التي تقل ترددتها عن 20 هرتز *بالأمواج تحت الصّوتيّة*. في حين تسمّى الأمواج التي ترددتها أعلى من 20,000 هرتز *بالأمواج فوق الصّوتيّة*. إننا لا نستطيع سماع أمواج الصّوت تحت الصّوتيّة أو فوق الصّوتيّة*. أمّا الكلاب وبعض الحيوانات الأخرى فتستطيع ذلك.

* تستخدم حزم مركزة فوق صوتية في المستشفيات لتحطيم حصى الكلية والمرارة. وهكذا لا نحتاج إلى عملية جراحية.

ينتقل معظم الصّوت خلال الهواء. ولكن أيّ مادة مرنة – صلبة، أو سائلة، أو غازية - يمكنها نقل الصّوت*. يعدّ الهواء ناقلًا ضعيفًا للصوت مقارنة بالمواد الصلبة والسّائلة. ويمكنك سماع صوت القطار من مسافة بعيدة بوضوح بوضع أذنك على السّكة. وعندما تسبح، اطلب إلى صديق على مسافة معينة أن يضرب حجرين معًا تحت سطح الماء بينما تكون غاطسًا. لاحظ مدى قدرة الماء على نقل الصّوت. لا ينتقل الصّوت في الفراغ لعدم وجود ما يضغط أو يتمدد. وعليه، فإنّ الصّوت يحتاج إلى وسط ناقل.

توقف برهة وفكّر مليًا في فيزياء الصّوت حينما تستمع بهدوء إلى صوت المذياع أحيانًا. تتكون سماعة المذياع من مخروط ورقيّ يهتز بإيقاع مع الإشارة الكهربائيّة. تبدأ جزيئات الهواء المجاورة للمخروط الورقيّ في السماعة بالاهتزاز، وهذه بدورها تهتز مقابل الجزيئات المجاورة، والتي بدورها تعمل الشيء نفسه، وهكذا. وكنتيجة، تظهر أنماط الإيقاع من الهواء المضغوط والمتخلخل من السّماعة، بحيث تملأ الغرف بحركات موجية. يهتز الهواء الساقط أو تهتزّ طبلة الأذن التي ترسل بدورها دفعات من الإيقاعات الكهربائيّة عبر العصب في القوقعة. ومن ثمّ في الأذن الداخلية وإلى المخّ. وبهذه الطريقة تستمع إلى صوت الموسيقى.

لمعلوماتك

■ تتصل الفيلة مع بعضها بالأمواج تحت الصّوتيّة. إنّ آذانها الكبيرة تساعدها على التقاط الأمواج الصّوتيّة منخفضة التّردد.

الشّكل 10.10

تعيد أمواج الهواء المضغوط والمخلخل المتولدة عن اهتزاز مخروط السماعة إنتاج الصّوت الموسيقي.

لمعلوماتك

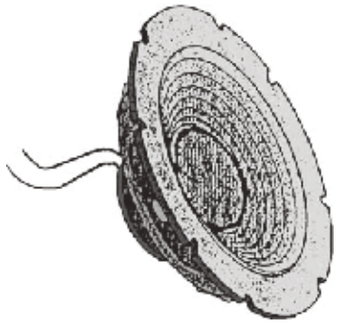
■ تهز موجة الصّوت المنتقلة عبر قناة الأذن طبلةَ الأذن، والتي تهز ثلاث عظمات دقيقة، وهذه بدورها تهز السّائل المعبأ في القوقعة. يوجد داخل القوقعة خلايا شعرية صغيرة تحول النبضة إلى إشارة كهربائية إلى الدماغ.

سرعة الصّوت

إذا راقبنا عن بعد شخصًا يقطع خشبًا أو يضرب بمطرقة، فإنّنا نلاحظ بسهولة حدوث الضربة قبل أن يصل الصّوت إلى آذاننا. كما يسمع صوت الرعد بعد ثوانٍ من رؤية وميض البرق. تُبين خبراتنا المألوفة أنّ الصّوت يستغرق وقتًا لانتقاله من موضع إلى آخر. وتعتمد سرعة الصّوت على كلّ من حالة الريح ودرجة الحرارة والرطوبة، ولا تعتمد على ارتفاع الصّوت أو تردده . إنّ الأصوات جميعها تنتقل بالسرعة نفسها في وسط معين. تبلغ سرعة الصّوت في الهواء الجاف عند درجة 0° س 330 م/ث، أي نحو 1200 كم/ساعة. إلى جانب أنّ بخار الماء في الهواء يزيد من سرعة الصّوت قليلا. إنّ الصّوت ينتقل بسرعة أكبر عبر الهواء السّاخن من انتقاله في الهواء البارد. وهذا متوقع؛ لأنّ الجزيئات المتحركة بسرعة أكبر في الهواء الساخن تضرب بعضها بتكرار أكثر، لذا يمكنها نقل النبضات في زمن أقل** . كما أنّ سرعة الصّوت تزداد في الهواء بمعدل 0.6م/ث لكل زيادة في درجة الحرارة أعلى من 5° س. وهكذا، عند درجة حرارة الغرفة 20° س تقريبًا، ينتقل الصّوت بنحو 340م/ث في الهواء. أمّا في الماء، فتقترب سرعة الصّوت من أربعة أضعاف سرعته في الهواء، وتصل في الفولاذ إلى ما يقارب 15 ضعف سرعته في الهواء.

مكبرات الصّوت

تحوّل سمّاعات المذياع وغيرها من أنظمة إنتاج الصّوت الإشارات الكهربائيّة إلى أمواج صوتية. وتنتقل هذه الإشارات الكهربائيّة عبر ملف حول عنق مخروط ورقيّ، حيث يتصرّف هذا الملف كمغناطيس كهربائيّ، ويقع بالقرب من مغناطيس دائم. وعند انسياب التيار في اتجاه أحاديّ، تدفع القوة المغناطيسية المغناطيس الكهربائيّ نحو المغناطيس الدائم، ويسحب المخروط إلى الداخل. وعند مرور التيار في الاتجاه المعاكس، يدفع المخروط إلى الخارج. وعليه فإنّ الاهتزازات في الإشارة الكهربائيّة تجعل المخروط يهتز. وأخيرًا، تنتج اهتزازات المخروط الأمواج الصّوتيّة في الهواء.



* المادة المرنة "الزنبركية" لها نابضية، ويمكنها نقل الطّاقة بفقدان قليل. فالفولاذ مثلًا مرن. ولكن الرصاص والمعجون ليسا كذلك.

** سرعة الصّوت في الغاز $\frac{3}{4}$ معدل سرعة جزيئاته تقريبًا.

■ **نقطة فحص**

1. هل تنتقل التضاغطات والتخلخلات في موجة الصّوت في الاتجاه نفسه أم في اتجاهات متعاكسة بعضها مع بعض؟
2. ما المسافة التقريبية لعاصفة رعدية إذا لاحظت فارق ثلاث ثوان بين رؤية وميض البرق وصوت الرعد؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنها تنتقل في الاتجاه نفسه.
2. افترض أنّ سرعة الصّوت في الهواء 340 م/ث تقريبًا. في 3 ثوان. ينتقل الصّوت مسافة 340 م/ث × 3 ث = 1020 م. لا يستغرق وصول الضّوء زمنًا ملموسًا. وهكذا، تكون العاصفة بعيدة أكثر بقليل من 1 كم.

لمعلوماتك

■ تملك أذناك حساسية عالية جدًّا للاختلافات في الصّوت الذي يصل إليهما، بحيث يمكنك تحديد اتجاه الصّوت الذي تسمعه بدقة عالية جدًا. لا يمكنك تحديد اتجاه الصّوت بأذن واحدة فقط (لا تعرف إلى أيّ اتجاه تتحرك عند الضرورة باستخدام أذن واحدة).

■ 5.10 انعكاس الصّوت وانكساره

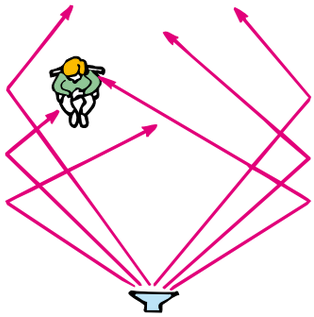
مثل الضّوء، عندما يعترض الصّوت سطحًا ما، فإنّه يرتدّ عن السّطح، أو ينفذ من خلاله. تسمى عملية **الارتداد انعكاسًا (Reflection)**. ويسمى انعكاس الصّوت *الصدى*. ويكون مقدار طاقة الصّوت المنعكسة من السّطح كبيرًا إذا كان السّطح صلبًا وأملس، ولكنه يكون قليلًا إذا كان السّطح طريًّا وغير منتظم. إنّ طاقة الصّوت التي لا تنعكس فإما تنفذ أو تمتص.

ينعكس الصّوت عن السّطح الأملس بالطريقة نفسها التي ينعكس بها الضّوء- زاوية السّقوط (الزاوية بين اتجاه الصّوت والسّطح العاكس) تساوي زاوية الانعكاس (الشّكل 11.10). في بعض الأحيان، عندما ينعكس الصّوت عن الجدران أو السّقف، أو أرض الغرفة عندما تكون السّطوح عاكسة جدًّا، فإنّ الصّوت يصبح مشوشًا. ويسمى الصّوت الناتج عن الانعكاسات المتعددة الصدى (*Reverberation*). وفي المقابل، إذا كانت السّطوح العاكسة ماصّة جدًا، فإنّ مستوى الصّوت يكون منخفضًا، وتصبح الغرفة كئيبة وغير حيوية. يعمل الصّوت المنعكس على جعل الغرفة مليئة بالحياة، ومن المتوقع أنك خبرت ذلك إذا غنيت وأنت تستحم. وعلى مصممي القاعات الكبيرة إيجاد توازن بين الترددات والامتصاص. وتسمى دراسة خصائص الصّوت *الصّوتيات* (*acoustics*).

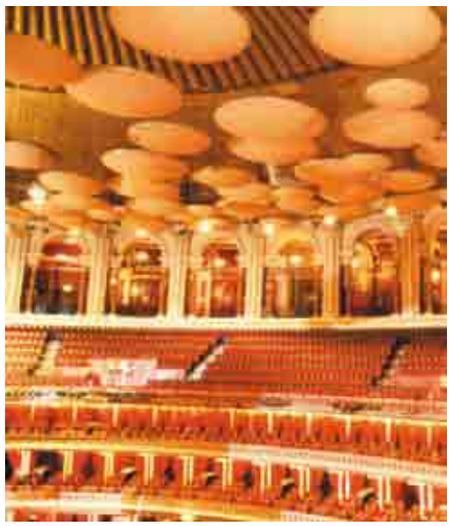
من المفيد وضع سطوح عالية الانعكاسية خلف منصة المسرح لتوجيه الصّوت نحو الجمهور. تعلق السّطوح العاكسة فوق المنصة في بعض قاعات الموسيقى. إنّ سطوحًا مثل تلك الموجودة في قاعة داميس في سان فرانسيسكو هي سطوح بلاستيكية لامعة كبيرة. كما أنّها تعكس الضّوء أيضًا (الشّكل 12.10). ويمكن للمستمع أن ينظر إلى العاكسات ويرى الصور المعكوسة لأعضاء الفرقة الغنائية (يكون العاكس البلاستيكي منحنيًا بعض الشيء، مما يزيد من مجال الرؤية). يخضع كل من الصّوت والضّوء لقانون الانعكاس نفسه. وهكذا، فإذا وجه العاكس بحيث يمكنك رؤية جهاز موسيقى معين، فتأكد أنه يمكن سماعه أيضًا. إنّ صوت الجهاز يتبع خط موقع العاكس ومن ثم إليك. توضع في بعض القاعات الماصات بدلًا من العاكسات لتحسين الأصوات.

يحدث **الانكسار (Refraction)** عندما يستمر الصّوت خلال الوسط وينحني. تنحني أمواج الصّوت عندما تنتقل أجزاء من الجبهة الموجيّة بسرعات مختلفة. ويمكن أن يحدث هذا عند تأثر أمواج الصّوت برياح غير متوازنة، أو عندما ينتقل الصّوت خلال هواء غير متساوي درجات الحرارة. وفي يوم دافئ، يكون الهواء القريب من الأرض أسخن كثيرًا من الهواء الأعلى وتزيد سرعته بالقرب من الأرض. وتميل موجات الصّوت إلى الانحناء مبتعدة عن الأرض، منتجة صوتًا لا يبدو أنه ينتقل جيدًا (الشّكل 13.10).

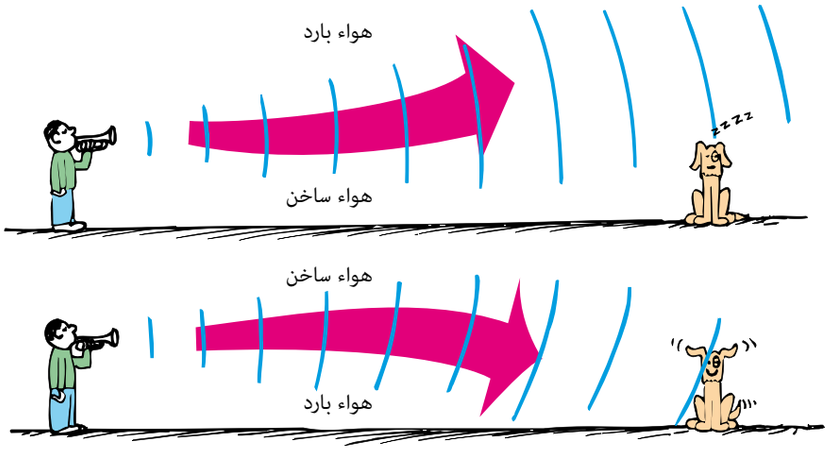
يحدث انكسار الصّوت تحت الماء، حيث تتغير سرعته مع درجة الحرارة. وهذا يخلق مشكلة للمركبات على السّطوح التي ترسل أمواجًا فوق صوتية إلى قاع المحيط لمعرفة خصائص هذا القاع، ولكنها ميزة



الشّكل 11.10
زاوية سقوط الصّوت تساوي زاوية انعكاسه.



الشّكل 12.10
تعكس الأطباق البلاستيكية فوق الفرقة الغنائية كلًّا من الضّوء والصّوت. كما أنّ تعديلها بسيط جدًّا؛ ما تراه هو ما تسمعه.



الشّكل 13.10
تنحني أمواج الصّوت في الهواء غير المتساوي في درجات الحرارة.

يكون اتجاه انتقال كل من الصّوت والضّوء دائمًا بزوايا قائمة مع جبهاتها الموجيّة.

الشّكل 14.10
جنين عمره 14 أسبوعًا وقد أصبح فيما بعد ميجان هيويت Megan Heitt، التي تظهر في افتتاحية الجزء الثالث.

للغواصات التي تحاول التّخفّي. وبسبب أنّ المحيط يتكون من طبقات من الماء على درجات حرارة مختلفة، فإنّ انكسار الصّوت يترك فجوات أو "نقاطًا عمياء" في الماء. وهذه هي الأماكن التي تلجأ إليها الغواصات للتخفيّ؛ ولولا هذا الانكسار، لكان من السهل كشفها.

يستخدم الأطباء الانعاكاسات المتعددة، وانكسار الأمواج فوق الصّوتيّة "لرؤية" ما في داخل الجسم دون استخدام الأشعة السّينيّة. إنّ الصّوت ذا التّردد العالي (فوق الصّوت) الذي يدخل الجسم ينعكس بقوة أكبر من خارج الأعضاء أكثر مما داخلها، منتجًا رسما تخطيطيًا للعضو (الشّكل 14.10). إنّ ظاهرة الصّدى فوق الصّوتيّ ليست جديدة على الدلافين وبعض الحيوانات التي تصدر صوتًا قصيرًا حادًّا، وتحدد موقع الأجسام من خلال الصّدى.

الشّكل 15.10
يطلق الدلفين صوتًا ذا تردد عالٍ لتحديد الأشياء في بيئته ومعرفتها. كما تدرك المسافات عن طريق التّأخّر في الزّمن بين صدى الصّوت المرسل والراجع، كما أنّها تحدد الاتجاه عن طريق الفروق في الزّمن بين وصول الصدى إلى أذنيه. إنّ السّمك هو الغذاء الرّئيس للدلفين، ولأنّ هذا السّمك يسمع الأصوات ذات التّرددات المنخفضة، فإنّه لا ينتبه إلى أنه قد تم اصطياده.

الدّلافين والتّصوير الصّوتيّ

إنّ الحاسة الغالبة عند الدّلفين هي السّمع؛ بسبب عدم جدوى الرؤية في المحيط المظلم والمعتم جدًّا في الأعماق. في حين أنّ السّمع حاسة غير فاعلة كثيرًا لنا، إلا أنّها نشطة عند الدلفين، حيث يصدر الأصوات، ثم يدرك ما حوله من خلال رجوع الصّدى. تمكن الموجات فوق الصّوتيّة التي يطلقها الدلفين من "الرؤية" من خلال أجسام الحيوانات الأخرى والناس. يكون الجلد والعضلات والدهون شفافة في معظمها للدلافين، لذا تستطيع رؤية مخطط واهن للجسم، ولكن العظام، والأسنان، والتجاويف المليئة بالغازات تكون واضحة تمامًا. ويمكن للدلفين رؤية الدّليل الفيزيائيّ للسّرطان، والأورام، والنبضات القلبية. فقد استطاع الانسان من كشفها حديثًا بالأمواج فوق الصّوتيّة. أمّا المدهش أكثر، فهو أنّ الدلفين يستطيع استرجاع الإشارات الصّوتيّة التي رسمت الصورة للوسط المحيط. وهكذا، على الأرجح، فإنّه قادر على نقل خبرته إلى الدلافين الأخرى بإرسال صورة صوتية كاملة بما "رأى"، ناقلا الصورة مباشرة إلى دماغ الدلافين الأخرى. لا تحتاج الدلافين إلى كلمة أو رمز للدلالة على "السمكة" مثلًا، بل تستطيع إرسال صورة الشيء الحقيقي، وربما بالتركيز على المعالم الرئيسة عن طريق الفلترة الانتقائية، كما ننقل حفلًا موسيقيًّا للآخرين من خلال الطرق العديدة ومنها إعادة إنتاج الصّوت. ولكن لغة الدّلفين مختلفة تمامًا عن لغتنا!

حساب العلوم الفيزيائيّة

حلّ المسألة

مسألة 1

يقوم مركب كشف أعماق المحيط، بمسح أرضية المحيط بالأمواج فوق الصّوتيّة، والتي تنتقل بسرعة 1530 مترًا في الثانية في ماء البحر. ما عمق الماء إذا علمت أنّ الزّمن اللازم لرجوع الصّدى من قاع المحيط هو ثانيتان؟

الحلّ:

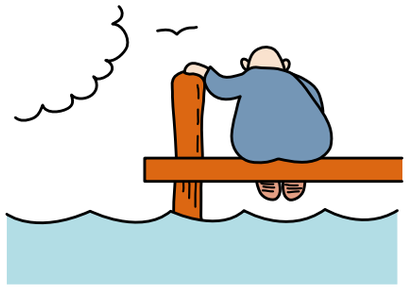
تستغرق الرحلة كاملة ثانيتين: الثانية الأولى إلى الأسفل والثانية الأخرى إلى الأعلى. وعليه،

$d = vt$ = 1530م/ث × 1ث = 1530م.

(يعمل الرادار بالطريقة نفسها، وبدلًا من أمواج الصّوت ترسل الأمواج الميكروية).

مسألة 2

بينما كان أوتس Otis يجلس على رصيف الخليج، لاحظ أنّ المسافة بين قمم الموجات القادمة هي d. وأنّ الموجات القادمة تصطدم بالدعامات كلّ ثانيتين.



أ-جِدْ تردّد الموجات.

ب-أثبت أنّ سرعة الموجات تعطى بـ fd.

ج-افترض أنّ المسافة d بين قمم الموجات هي 1.8 متر. أثبت أنّ سرعة الموجات أقلّ قليلا من متر واحد لكلّ ثانية.

الحلّ:

أ-يعطى تردّد الموجة بـ: دورة واحدة لكلّ ثانيتين، أو f = 0.5 هرتز.

ب- $v = f\lambda = fd$

ج- $v = f\lambda = fd$ = 0.5 هرتز × 1.8 متر = 0.5 × 1/ث × 1.8م= 0.9 متر/ثانية.

6.10 الاهتزازات القسريّة والرّنين

إذا طرقت شوكة رنانة غير مثبتة فسيكون صوتها منخفضًا. ولكن إذا جعلت يدها على الطاولة بعد ضربها، فسيكون الصّوت أعلى؛ بسبب اهتزاز الطاولة قسريًّا، وأنّ سطحها الكبير أشرك مزيدًا من الهواء في الحركة. تهتز الطاولة قسريًّا بأيّ شوكة مهما كان ترددها. وهذا مثال على **الاهتزاز القسريّ**. إنّ اهتزاز أرضية المصنع بسبب حركة الآليات الثقيلة هو مثال آخر على الاهتزاز القسريّ. ومثال أكثر بهجة على الاهتزازات القسريّة هو صوت الآلات الوترية على المسرح.

إذا أسقطت مفكًّا ومضربًا لكرة البيسبول على أرض أسمنتية، فمن السهولة بمكان ملاحظة الفرق بين الصوتين؛ لأنّ اهتزاز كلّ منهما مختلف عندما يضربان الأرض. وليس هناك تردد قسريّ معين لأيّ منهما. وبدلًا من ذلك، يتردد كلّ منهما بتردده الطبيعي؛ لأنّ أيّ جسم مكوّن من مادة مرنة، يهتز بتردداته الخاصة به، والتي بمجموعها تشكل الصّوت المميز. نتكلم عن **التّردد الطبيعي** ***(Natural frequency)*** للجسم، والذي يعتمد على عوامل مثل المرونة، وشكل الجسم، وبالطبع الأجراس والشوكات الرنانة، تهتز بتردداتها المميزة. ومن المدهش أنّ معظم الأشياء، من الذرات إلى الكواكب ومعظم الأشياء بينهما، لها نابضية، وتهتز بواحدة أو أكثر من التّرددات الطبيعية.

عندما تتساوى التّرددات القسريّة لجسم مع التّردد الطّبيعيّ له، تحدث زيادة دراماتيكية في السّعة. وتسمى هذه الظاهرةُ **الرّنين**. وبدقة أكثر، فإنّ *الرّنين* يعني "تكرار الصّوت" "صوت معاد". إنّ المعجون لا يرن لأنّه غير مرن، مثل المنديل اليدوي- عندما يسقط على الأرض. ولكي يُحدِث جسيم ما رنينًا، فإنّه يحتاج إلى قوة تعيده إلى وضعه الأصليّ وطاقة كافية لاستمرار اهتزازه.

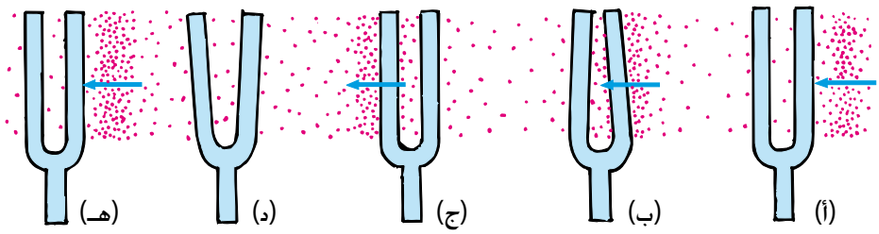
ومن الخبرات العامة التي توضح حدوث الرّنين أنه عندما تكون على أرجوحة؛ فعند ارتفاعها، فإنّك تُرفع بإيقاع مع التّردد الطّبيعيّ لها. ولكن الأهم من القوة التي ترفع بها هو التوقيت. وإذا عملت بإيقاع مع تردد حركة الأرجوحة، فإنّك تنتج سعات كبيرة، حتى لو كنت تُدفَعُ بدفعات صغيرة من أحدهم.

لمعلوماتك

■ للبوم آذان حساسة جدًا. يضبط البوم أذنيه لسماع الخفيف وأصوات القوارض وغيرها من الثّديّات الصّغيرة لاصطيادها في الليل. وكالبشر، يحدد البوم موقع مصدر الصّوت باستخدام حقيقة أنّ موجات الصّوت عادة تصل إلى أذن قبل الأخرى بمقدار ملثانية (جزء من الثانية). يحرك البوم رأسه عند انقضاضه على الطريدة، وعندما يصل صوت من الهدف إلى أذنيه، تكون الوجبة جاهزة. ولبعض أنواع البوم، تكون أذن أعلى من الأذن الأخرى، مما يعزز قدرته على تحديد موقع الطريدة بشكل أفضل.

لمعلوماتك

■ تستخدم الببغاوات الألسن لإخراج الأصوات وتقليدها كما هو حال البشر. وكلّ تغيير مهما كان بسيطًا في موقع اللسان ينتج فرقًا كبيرًا في الصّوت الذي ينتج أولا في عضو الصّوت الذي يقع بين القصبة الهوائية والرئة.



الشّكل 16.10
مراحل الرّنين. (أ) يصطدم الانضغاط الأول الشوكة ويعطيها دفعة صغيرة ولحظية، ثمّ (ب) تنحني الشوكة، و(ج) تعود إلى الوضع الأصلي قبل أن يصل التخلخل، ومن ثمَّ(د) تتجاوز في الاتجاه الآخر. وعندما ترجع إلى وضعها الابتدائيّ (هـ) يصل الانضغاط التالي ليكرر الدورة. والآن تنثني أكثر بسبب حركتها.

وكتوضيح مألوف للرنين في قاعة الصّفّ، ضع زوجين من الشّوكات الرّنانة مضبوطة على التّردد نفسه ومتباعدة بمقدار متر تقريبًا (الشّكل 17.10). وعند ضرب إحداهما، فإنّها تجعل الأخرى تبدأ في الاهتزاز. إنّ هذا نموذج مصغر لدفع صديقك على الأرجوحة؛ إنّ التوقيت مهم. عندما تصطدم سلسلة من أمواج الصّوت بالشّوكة، يعطي كلّ من انضغاط شعبة الشّوكة دفعة صغيرة. ولأنّ تردّد هذه الدّفعات يناظر التّردد الطّبيعيّ للشّوكة، فإنّ تتابعها يزيد من سعة اهتزازها؛ بسبب حدوث الدفعات في الوقت المناسب وتكرار حدوثها في اتجاه الحركة الآنية للشبكة نفسه. وتسمى حركة الشّوكة الثّانية *الاهتزاز بالتّأثير* *(Sympathetic Vibration)*.

إذا لم تضبط الشّوكات على ترددات متساوية فإنّ توقيت الدفعات يكون غير ملائم. وعليه، لا يحدث رنين. وعندما تضبط مذياعك، فإنّك تضبط التّردد الطّبيعيّ للإلكترونيات في الجهاز لتتساوى مع إحدى الإشارات العديدة التي من حولك. وأخيرا، يتناغم الجهاز مع إحدى المحطات في وقت محدد، بدلًا من الاستماع لعدة محطات في الوقت نفسه.

إنّ الرّنين ليس محصورًا على حركة الموجة. إنه يحدث كلما تعرض جسم مهتز لدفعات متتابعة لها إيقاع التّردد الطّبيعيّ نفسه. لقد أدّى مرور الخيالة فوق الجسر القريب من مانشستر في إنجلترا عام 1831م إلى انهياره دون قصد، بسبب تحركهم بإيقاع مع التّردد الطّبيعيّ للجسر. ومنذ ذلك الوقت، أصبح من المعتاد أن يُؤمَر الجنود بالحركة دون انتظام عند عبور الجسر. كما أنّ كارثة تدمير جسر حديثة قد حدثت بسبب الرّنين الذي أنتجته الريح (الشّكل 18.10).

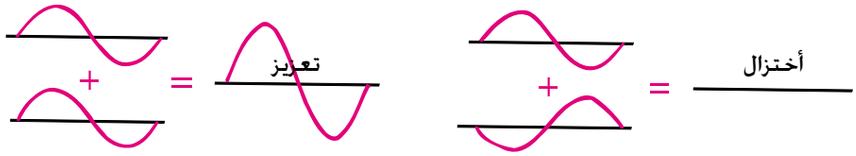
الشّكل 17.10
يوضح رايان Ryan الرّنين بزوج من الشّوكات الرنانة لهما ترددان متماثلان.

الشّكل 18.10
انهار جسر تاكوما Tacoma الضّيق في واشنطن عام 1940م، بعد أربعة أشهر من إكماله بفعل الرّنين المتولد من الرّيح. أدت عاصفة معتدلة إلى قوة متذبذبة بتناغم مع التّردد الطّبيعيّ للجسر، حيث أدت الزيادة المستمرة في الاتساع إلى انهيار الجسر.

لماذا تصرّ مدينة صناعة الأفلام الأميركية (Hollywood) على تشغيل آلات ضوضاء كلما مرت سفينة فضاء في الفضاء الخارجيّ من حولها؟ أليس رؤيتها تسبح بهدوء أكثر تشويقًا؟

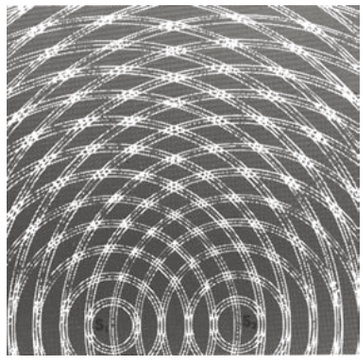
7.10 التّداخل

إنّ التّداخل خاصية مثيرة للاهتمام للأمواج جميعها، وهو على نوعين: بنّاء وهدّام. لذا، خذ الأمواج العرضيّة، عندما تتطابق قمة موجة مع قمة موجة أخرى، فستجد أنّ آثارهما الفردية تجمع. والنتيجة هي تكوّن موجة بسعة أكبر. وهذا ما يُعرف بـ *التّداخل البنّاء (Constructive Interference)* (الشّكل 19.10). ولكن عندما تتطابق قمة موجة مع بطن موجة أخرى، فإنّ آثارهما الفردية تتناقص. ببساطة الجزء الأعلى من موجة يملأ الجزء الأسفل من موجة أخرى. وهذا يسمى التداخل الهدام (Destructive Interference).



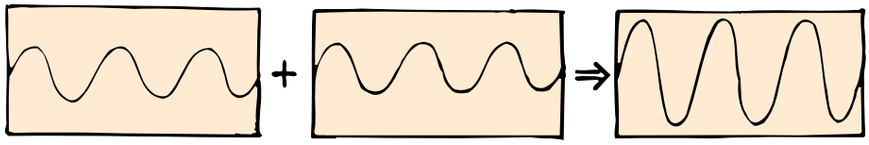
الشّكل 19.10
التّداخلان؛ البنّاء والهدّام في الموجة العرضيّة.

من الأسهل ملاحظة التّداخل الموجيّ في الماء. نرى من الشّكل 20.10 إنتاج نمط التّداخل عندما تلمس الأجسام المهتزة سطح الماء. ويمكننا رؤية المناطق التي تتطابق فيها قمة موجة مع بطن موجة أخرى لتكوّن موجة بسعة صفرية. عند نقاط على هذا المسار، يكون وصول الموجات بحيث تكونان مختلفتين، ويمكن القول إنهما في أطوار متعاكسة.

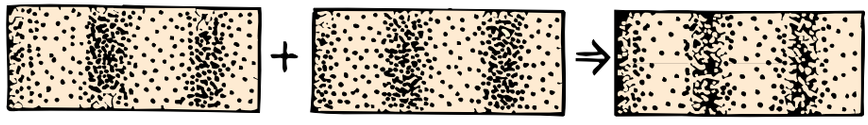


الشّكل 20.10
تنتج مجموعتان من أمواج الماء المتطابقة نمط تداخل.

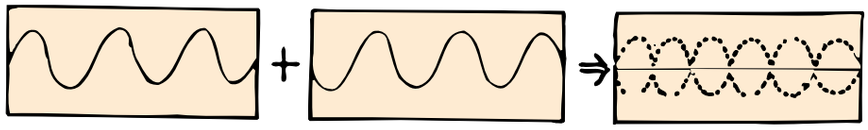
إنّ التّداخل خاصية عامة للحركة الموجيّة، سواء أكانت هذه الأمواج مائية، أم صوتية، أم ضوئية. وفي الشّكل 22.10 نرى مقارنة بين تداخل الأمواج العرضيّة وتداخل الأمواج الطّوليّة. نرى التّداخل البناء لأمواج الضّوء حيث تتراكب القمم



ينتج تراكب موجتين متماثلتين عرضيتين في الطور نفسه موجة بسعة أكبر.

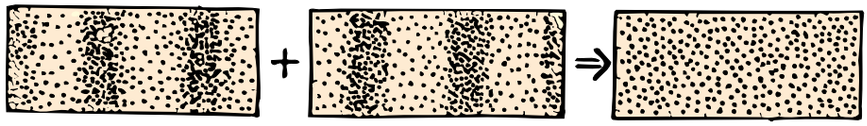


ينتج تراكب موجتين متماثلتين طوليتين في الطور نفسه موجة بسعة أكبر.



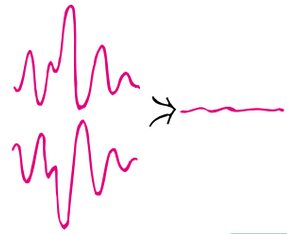
تلغي الأمواج العرضية المتماثلة التي يكون لها أطوار متعاكسة بعضها بعضًا عندما تتراكب.

الشّكل 21.10
تبين جيني Jennie التّداخل بخزان التّموّج الصّفّيّ.



تلغي الأمواج الطولية المتماثلة التي يكون لها أطوار متعاكسة بعضها بعضًا عندما تتراكب.

الشّكل 22.10
تداخل أمواج عرضية وطولية. تداخل بنّاء (اللوحتان العلويتان)، وتداخل هدّام (اللوحتان السفليتان).



الشّكل 23.10
ينعدم الصّوت، عند اتحاد إشارة الصّوت مع إشارة الصورة المرآوية للصوت.

مع البطون. والأثر نفسه يحدث عند تداخل أمواج الصّوت الطّوليّة والمبينة كمناطق تضاغطات وتخلخلات. إنّ التّداخل الهدّام للصوت هو لبّ التّقنية المضادة للضّوضاء. في الوقت الحاضر، تُزَوّد بعض الأجهزة الضوضائية مثل الثقابة بميكروفونات ترسل صوت الجهاز إلى رقاقة إلكترونية تولّد صورة مرآوية لأنماط إشارات الصّوت. تُغذى هذه الصورة المرآوية لإشارات الصّوت إلى سماعات يلبسها العامل أي أنّ الإشارات الصوتية تمثّل بصور. وبهذه الطريقة، تلغى تضاغطات (أو تخلخلات) الصّوت من الثقابة بالتخلخلات (أو التضاغطات) من الصور المرآوية للصوت في سماعات الأذن. يلغي اتحاد هذه الإشارات ضوضاء الثقابة. إنّ الأجهزة المضادة للضّوضاء مألوفة أيضًا في بعض الطّائرات، بحيث يكون الهدوء أكثر داخل الطّائرات بعد استخدام هذه التقنية. هل تكون السّيارات هي التالية؟ ربما لا نعود بحاجة إلى كاتمات الصّوت.

يمكن توضيح تداخل الصوت على نحو مشوّق عندما يتم عزف الصوت الأحادي بواسطة سمّاعتي ستيريو (نظام صوتي مجسَّم) متعاكستين في الطور. السمَّاعتان تتعاكسان في الطور عند تبديل السلكين الداخليين أحدهما بالآخر، الموجب بالسالب. يعني هذا لإشارة الصّوت الأحادي أنّ إرسال سماعة لإشارة صوت انضغاطية فأنّ الأخرى ترسل إشارة تخلخلية. ولا يكون الصّوت الناتج كاملًا ولا عاليًا كما لو أنّ السماعات موصولة بالطور نفسه. تلغى الأمواج الطّوليّة بالتّداخل. وتلغى الأمواج القصيرة إذا قربت السماعات بعضها من بعض. وعندما توضع السماعات بعضها مقابل بعض، يسمع الصّوت بصورة خفيفة! إنّ الأصوات ذات التّرددات العالية هي التي تبقى فقط. لذا، عليك تنفيذ هذه التجربة لتقديرها.

الشّكل 24.10
عند تبديل السّلك الموجب مع السّلك السّالب كمدخلات لواحدة من سماعات المسجل، تصبح السّماعات بأطوار متعاكسة. وعند وضع السماعات بعيدة عن بعضها، لا يكون الصّوت الأحادي مسموعًا كما هو الحال من السّماعات التي يكون لها الطور نفسه. وعند وضع السماعات وجهًا لوجه، يُسْمعُ صوت قليل. ويكون التّداخل كاملا، حتى يعوض الانضغاط من سماعة التخلخل من الأخرى.

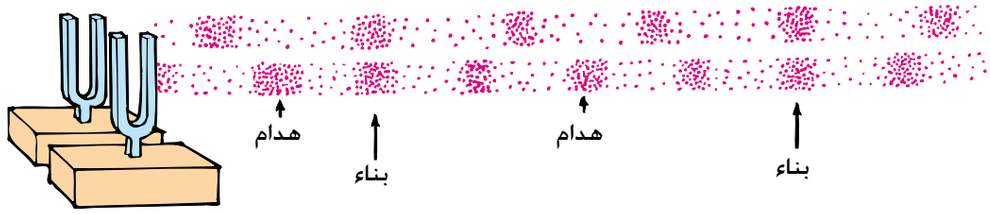
يستدل على تداخل الضّوء من رؤية الألوان السّاطعة من الانعكاسات عن طبقة الجازولين الرقيقة على الماء. تتداخل الانعكاسات من سطوح أفلام الزّيت والماء منتجة ألوانها المتممة (ستناقش في الفصل الآتي).

الضّربات (Beats)

عند سماع نغمتين تختلفان قليلًا في التّردد معًا، يسمع تناوب في علو الصّوت الناتج عن اتحادهما، حيث يتناوب علوًّا وخفوتًا. يسمّى التّغيّر الدّوريّ في علو الصّوت **الضربات**، وهو بسبب التّداخل. إذا طُرقت شوكتان رنانتان مختلفتان قليلًا في التّردد، فستهتز شوكة بتردد مختلف عن الأخرى، ويكون اهتزاز الشوكتين لحظيًّا متناغمًا ثم غير متناغم.. وهكذا. عندما تصل الموجات المتحدة إلى آذاننا متناغمة - لنقل عندما يتطابق انضغاط من شوكة مع الانضغاط من الشوكة الأخرى – فإنّ الصّوت يكون أعلى ما يمكن. وفي لحظة تالية، عندما تكون الشوكتان غير متناغمتين، أي انضغاط من شوكة يتلاقى مع تخلخل من شوكة أخرى، فسيكون الصّوت في حده الأدنى. إنّ الصّوت الذي يصل إلى آذاننا يخفق في علوه بين الحدين الأعلى والأدنى، وينتج أثر اهتزاز.

الشّكل 25.10
يقود كن فورد Ken Ford الطائرة الشّراعيّة باسترخاء بعد وضع سماعات الأذن التي تلغي التشويش. في الطائرة الكبيرة، يعالج صوت المحركات ويطلق كمضاد للتشويش من خلال سماعات داخل غرفة القيادة لجعل رحلة المسافرين مريحة.

تحدث الضربات لأيّ نوع من الموجات، وهي تزودنا بطريقة عملية لمقارنة التّرددات. ولضبط البيانو مثلًا، يستمع ضابط البيانو إلى الضربات المنتجة من شوكتين معياريتين مع تلك الناجمة عن أوتار معينة من البيانو. عندما تكون التّرددات متماثلة، تنعدم الضربات. يضبط أعضاء الفرقة الغنائية أجهزتهم بالاستماع إلى الضربات من أجهزتهم والنغمات المعايرة الناتجة عن بيانو أو أجهزة أخرى.

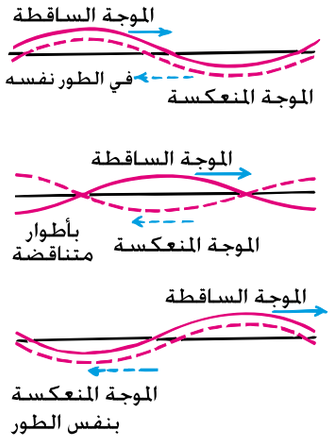


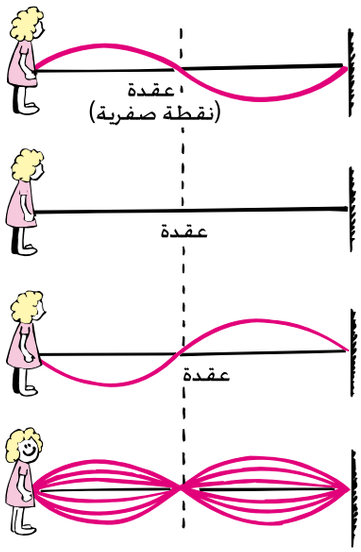
الشّكل 26.10
تنتج الضربات من الأصوات عن تداخل مصدري صوت لهما ترددات مختلفة قليلًا.

الأمواج الواقفة (Standing Waves)

هناك أثر جذّاب آخر للتداخل هو الموجات الواقفة. اربط حبلًا بحائط. وهزّ الطرف الحرّ إلى الأعلى والأسفل. وبما أنّ الحائط أكثر صلابة من أن يهتز، فإنّ الموجات ستنعكس عائدة عبر الحبل. إذا هزّ الحبل بالطريقة الصحيحة، فيمكنك جعل الموجات السّاقطة والمنعكسة تشكّل **موجة واقفة**. حيث تسمى أجزاء من الحبل عقدة، وهي مستقرة. يمكنك وضع أصابعك على أيّ جانب من الحبل عند العقدة، دون أن تتلامس مع الحبل. ولكن أجزاء أخرى منه يمكنها أن تلمس أصابعك. تعرف المواقع على الموجة الواقفة والتي لها أكبر إزاحة بالبطن. وتحدث هذه البطون في منتصف المسافة بين العقد.

تنتج الموجات الواقفة عندما تتلاقى مجموعتان من الموجات تكون السّعة وطول الموجة لكلّ منهما متساوية وتنتقلان في اتجاهين متعاكسين.





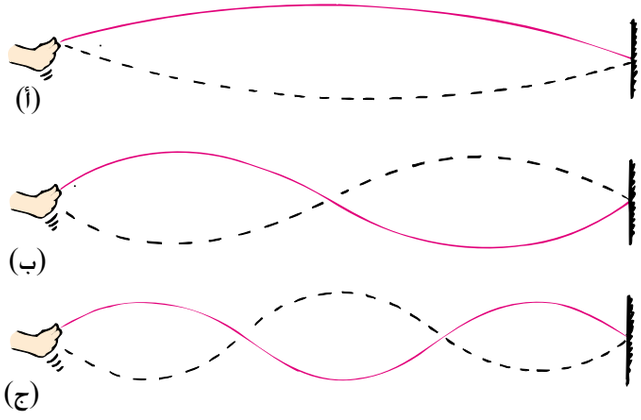
الشّكل 27.10
تتداخل الموجات السّاقطة والمنعكسة لإنتاج موجة واقفة.

وهكذا، يكون للموجات طور متساو ومتغاير باستمرار بعضها مع بعض، وتنتج مناطق مستقرة؛ أي تداخلان: بنّاء وهدّام (الشّكل 27.10).

تظهر الموجات الواقفة في أوتار الأجهزة الموسيقيّة عندما تنبض أو تُثنى أو تُضرب. وتنتج في الهواء في أنبوب الأرجن، والناي، والكلارنيت - وفي علب المشروبات الغازية عند نفخ الهواء فوق الفتحة. تظهر الموجات الواقفة في حوض ماء أو كأس قهوة عند هزها إلى الأمام والخلف بالتّردد المناسب. ويمكن إنتاج الموجات الواقفة بأيّ من الاهتزازات الطّوليّة والعرضيّة.

لمعلوماتك

■ انظر إلى إنتاج الموجات الواقفة في الموقع الإلكترونيّ الآتي:
http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave4.htma



الشّكل 28.10
(أ) هز الحبل فأنتج موجة واقفة من حلقة واحدة ($\frac{1}{2}$ طول موجة). (ب) هُزّ الحبل بضعف التردد فأنتج موجة بحلقتين (1 طول موجة). (ج) هُزّ الحبل بثلاثة أضعاف التردد فأنتج ثلاث حلقات ($\frac{3}{2}$ طول موجة).

■ **نقطة فحص**

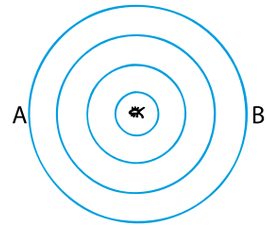
1. هل من المحتمل لموجة واحدة أن تلغي موجة أخرى بحيث لا تبقى أيّ سعة؟
2. افترض أنك أنشأت موجة واقفة من ثلاثة أجزاء، كما يظهر في الشّكل 28.10ج. إذا هززت بضعف تردد الموجة، فما عدد الأجزاء الموجيّة في الموجة الواقفة الجديدة؟ ما عدد الأطوال الموجيّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم. يسمّى هذا تداخلا هدّامًا. عند ظهور الموجة الواقفة في حبل، مثلًا، تكون أجزاء من الحبل دون سعة؛ العقد.
2. إذا أثرت بضعف التّردد في الحبل، فستنتج موجة واقفة بضعف عدد الأجزاء (6). بسبب أنّ طول الموجة الكامل له جزءان، فيكون هناك ثلاثة أطوال موجية كاملة في الموجة الواقفة.

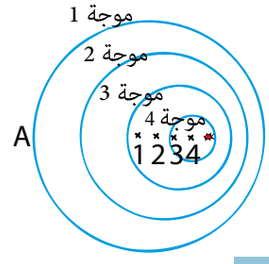
■ 8.10 ظاهرة دوبلر

خذ حشرة في وسط بركة صغيرة هادئة. تنتج هذه الحشرة نمطًا من أمواج الماء عندما تهزّ قدميها إلى الأعلى والأسفل (الشّكل 29.10). إنّ الحشرة لا تنتقل إلى أيّ مكان، بل تتحرك على سطح الماء في موقع ثابت. تكون الموجات التي تصنعها عبارة عن دوائر متحدة بالمركز لأنّ سرعة الموجة متساوية في الاتّجاهات جميعها. وإذا كانت الحشرة تهتز في الماء بتردد ثابت، فإنّ المسافة بين قمم الموجة تكون هي نفسها في الاتّجاهات كافة. تتعرض الموجات للنقطة A بالقدر نفسه التي تتعرض للنقطة B. وهكذا يكون تردد حركة الموجة هو نفسه عند النقطتين A وB، أو في أيّ نقطة حول الحشرة. يبقى تردد الموجة هو نفسه تردد اهتزاز الحشرة.



الشّكل 29.10
منظر علويّ لأمواج الماء المصنوعة من حشرة ساكنة تهتزّ في ماء راكد.

افترض أنّ الحشرة المهتزة تتحرك عبر الماء بسرعة أقلّ من سرعة الموجة. تكون النتيجة أنّ الحشرة تتحرك في اتّجاه جزء من الموجات التي تنتجها. ويتشوّه نمط الموجة بحيث لا يعود مكوّنًا من دوائر متحدة المركز (الشّكل 30.10). ينشأ مركز الموجة الخارجيّ عندما كانت الحشرة في مركز تلك الدائرة. وينشأ مركز الموجة التالية الأصغر عندما كانت الحشرة في مركز الدائرة التالية. ومع أنّ الحشرة حافظت على تردد النهر نفسه كما في السّابق، فإنّ الملاحظ عند B سيرى أنّ قدوم الأمواج أصبح أكثر. ويمكن للملاحظ قياس تردد أكبر. ويعزى هذا إلى أنّ كلّ موجة تابعة تقطع مسافة أكبر مما لو كانت الحشرة غير متحركة في اتّجاه B. وفي المقابل، فإنّ الملاحظ عند A يقيس ترددًا أقلّ بسبب طول الوقت بين قمة الموجة ووصولها. ويعود هذا إلى أنّ كلّ تتابع موجة ينتقل أبعد حتى يصل إلى A كنتيجة لحركة الحشرة. يسمّى هذا التّغيّر في التّردد بسبب حركة المصدر (أو بسبب حركة المُستقبِل) أثرَ دوبلر (تكريمًا للفيزيائيّ والرياضي النمساوي كريسيشيان جوهان دوبلر *Doppler*، الذي عاش بين عامي 1803 و 1853م).



الشّكل 30.10
أمواج ماء مصنوعة من حشرة تسبح في ماء راكد باتجاه النقطة B.

تنتشر موجات الماء فوق سطح مستو من الماء. وفي المقابل، فإنّ موجات الصّوت والضّوء تنتقل في الفضاء في ثلاثة أبعاد في الاتّجاهات جميعها كالبالون المنفوخ. وكما هو الحال من تقارب الموجات الدائرية بعضها من بعض أمام الحشرة السّابحة التي أشرنا إليها سابقا، فإنّ أمواج الصّوت والضّوء الكروية الناجمة عن مصدر متحرك تكون متقاربة بعضها من بعض، وتصل الملاحظَ بتردد أعلى. ينطبق أثر دوبلر على أنواع الموجات كلّها.

يصبح أثر دوبلر واضحًا عندما تسمع التّغيّر في درجة النّغم لسيارات الإسعاف وصفارة سيارات الإطفاء. عندما تقترب الصّفارة منك، فإنّ قمة أمواج الصّوت تضرب أذنيك بتردد أكبر وتكون درجة النّغمة أعلى من الدرجة العادية.

الشّكل 31.10
يزداد تردد الصّوت عندما يتحرك المصدر في اتجاهك، ويتناقص عندما يتحرك المصدر مبتعدًا عنك.

وعندما تجتازك الصافرة وتبتعد عنك، تعترض الصافرة أذنيك بتردد أقلّ، وتسمع انخفاضًا في درجة النّغم.

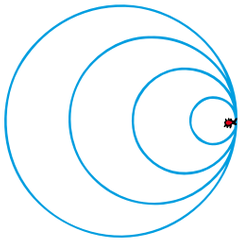
إنّ أثر دوبلر يحدث للضوء أيضًا؛ فعندما يقترب منك مصدر ضوئيّ، تزداد تردداته المقيسة، وعندما تبتعد تتناقص تردداته. تسمّى زيادةُ تردد الضّوء *إزاحةَ الأزرق*، بسبب الزيادة نحو التّردد الأعلى، أو نحو الأزرق في نهاية ألوان الطيف. في حين يسمّى نقصانُ التّردد *انحياز الأحمر*، إشارة إلى الانحياز نحو التّردد الأقلّ، أو نحو الأحمر في نهاية ألوان الطّيف. فالمجرات مثلًا، تظهر انحيازًا نحو الأحمر في الضّوء الذي تطلقه عندما تتحرك مبتعدة عنا في الكون الواسع. لقد مكّننا قياس هذا الانحياز من حساب سرعة هذه المجرات. يظهر نجم يدور بسرعة بحيث يكون جانبه مبتعدًا عند انحياز أحمر ويظهر انحيازًا أزرق عندما يكون الجانب في اتّجاهنا. وهذا يُمكّننا من حساب معدل دوران النجم.

■ **نقطة فحص**

عندما يقترب منك مصدر صوتيّ أو ضوئيّ، فهل تكون هناك زيادة في سرعة الموجة أم نقصان؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ليس هناك زيادة ولا نقصان! يتعرض تردد الموجة لتغير عندما يتحرك المصدر، ولا تتغير سرعة الموجة.



الشّكل 32.10
نمط الموجة الذي تعمله حشرة سابحة بسرعة الموجة.

■ 9.10 الأمواج المنحنية والانفجار الصّوتيّ

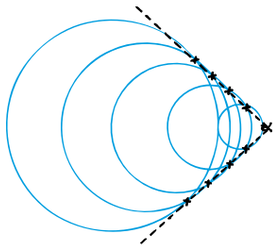
عندما ينتقل مصدر موجات بالسرعة نفسها التي للموجات التي ينتجها، ينتج حاجز موجة. مثلًا، خذ الحشرة في المثال السّابق، إذا كانت تسبح بالسّرعة نفسها للموجة التي تنتجها، فإنّها تبقى مع الموجة التي تنتجها. وبدلًا من الحركة أمام الحشرة، فإنّ الموجات تتراكب مباشرة بعضها فوق بعض مشكلة سنامًا أمام الحشرة (الشّكل 32.10). وهكذا، فإنّ الحشرة تتعرض لحاجز موجة. لذا، فإنّ على الحشرة أن تبذل جهدًا أكبر لتسبح فوق السّنام قبل أن تستطيع السباحة بأسرع من سرعة الموجة.

إنّ الشيء نفسه يحدث عندما تنتقل طائرة بسرعة الصّوت نفسها. تتداخل الموجات لإنتاج حاجز من الهواء المضغوط على الأطراف الأمامية للأجنحة، وعلى الأجزاء الأخرى من الطائرة. تحتاج الطائرة إلى دفع كبير جدًّا للانتقال خلال الحاجز قبل الدخول فيه (الشّكل 33.10). وعند دخولها إلى الحاجز، فإنّ الطائرة تستطيع التحليق بسرعة أكبر من سرعة الصّوت دون مقاومة مشابهة. وتكون سرعة الطائرة هنا فوق صوتية. إنها تشبه الحشرة التي ستجد الوسط أمامها ناعمًا نسبيًّا، وغير مضطرب عندما تتخطى حاجز الموجة.

الشّكل 33.10
يمكن رؤية تكثيف بخار الماء بالتّمدّد السّريع للماء في المناطق المخلخلة خلف جدار الهواء المضغوط.

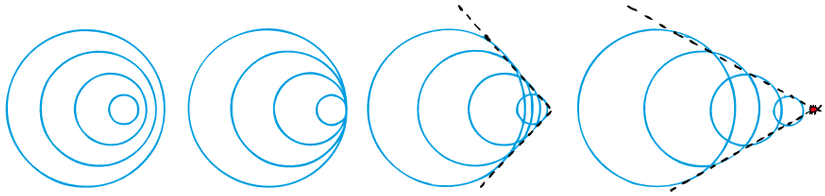
عندما تكون سرعة سباحة الحشرة أكبر من سرعة الموجة فإنّها تنتج نمطًا من الأمواج المتداخلة، كالمبيّن بوضوح في الشّكل 10.34. تتقدم الحشرة الموجة التي كوّنتها وتتجاوزها. وتشكّل الأمواج المتداخلة شكل V التي تسمّى **الموجةَ المنحنيةَ** . وتظهر خلف الحشرة.

تنتج الأمواج المتداخلة الموجة المنحنية المألوفة والناتجة من قوارب السّرعة عند تجذيفها خلال الماء. يبين الشّكل 35.10 بعض أنماط الموجة المتولّدة من مصدر متحرك بسرعات مختلفة. لاحظ أنه بعد أن تتخطى سرعة المصدر سرعة الموجة، تنتج زيادة السّرعة حرف V ضيّقا * كما هو موضح في الشكل 34.10 المبين.



الشّكل 34.10
نمط موجة مثاليّ مصنوع من حشرة تسبح بسرعة أكبر من سرعة الموجة.

* الأمواج المنحنية التي تنتجها القوارب في الماء أكثر تعقيدًا مما يشار إليه هنا. تخدم معالجتنا المثالية هنا مناظرة لإنتاج أمواج صادمة في الهواء تكون أقلّ تعقيدًا.



الشّكل 35.10

أنماط نموذجيه مصنوعة من حشرة تسبح بسرعات متدرجة. يحدث التطابق عند الأطراف فقط عندما تسبح الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الموجة.

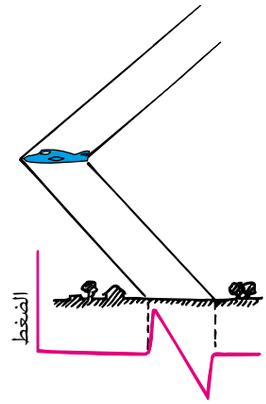
الشّكل 36.10

الموجة الصادمة للرصاصة المخترقة للوح من الزجاج. ينحرف الضّوء عند مروره خلال الهواء المضغوط الذي يصنع الموجة الصادمة، والذي يجعلها مرئية. إذا أنعمت النظر فسترى الموجة الصادمة الثانية التي تنتج عند ذيل الرصاصة.

في حين يولّد قارب السباق موجة منحنية في بعدين على سطح الماء عندما يشقّ طريقه خلاله. وبالمثل، تولّد الطائرة موجة صادمة في ثلاثة أبعاد عندما تطير أسرع من الصّوت. كما تنتج الموجة المنحنية عن تداخل دوائر تشكّل حرف V. فإنّ الموجة الصادمة *(Shock Wave)* تنتج عن تداخل كرات تشكّل مخروطًا. وكما تنتشر الموجة المنحنية حتى تصل إلى شاطئ البحيرة، فإنّ المخروط المندفع المتولّد من الطائرة فوق الصّوتيّة ينتشر حتى يصل الأرض.وقد تتسبب الموجة المنحنية في بللك وصدمك عند مرورها بجانبك إذا كنت على الشاطئ. ويمكنك القول مجازيًا: لقد تعرضت "لانفجار مائيّ".

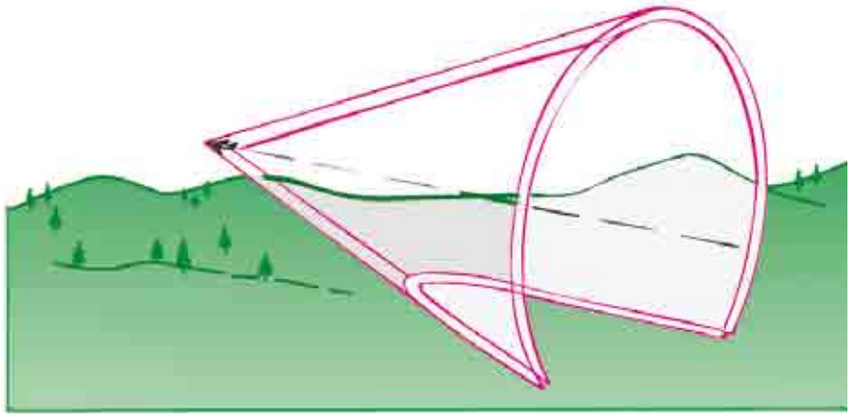
وبالمثل، عند انطلاق قذيفة الهواء المضغوط المخروطية من خلف الطائرة فوق الصّوتيّة، ووصولها إلى المستمعين على الأرض في الأسفل، فإنّهم يصفون الصّوت الحاد الذي يسمعونه بأنه انفجار صوتيّ.

يألف المتزلج على الماء حقيقة وجود انحدار على شكل – V، مجاور لأعلى السّنام للموجة المنحنية على هذا الشكل. وينطبق الشيء نفسه على الموجة الصادمة التي تتكوّن من مخروطين هما: 1- المخروط ذو الضغط العالي عند مقدمة الطائرة فوق الصّوتيّة 2- المخروط ذو الضغط المنخفض الذي عند ذيل الطائرة. تظهر حواف هذين المخروطين في صورة الرصاصة فوق الصّوتيّة في الشّكل 36.10. يرتفع الضغط ارتفاعًا حادًّا أكبر من الضّغط الجويّ بين هذين المخروطين، ثم ينخفض فجأة إلى أدنى من الضّغط الجويّ قبل أن يعود بسرعة إلى الوضع الطّبيعيّ عند ذيل المخروط الدّاخليّ (الشّكل 37.10). يعزز تتابع الضّغط المرتفع والضّغط المنخفض الفجائيّ الأزيز الصّوتيّ.



الشّكل 37.10

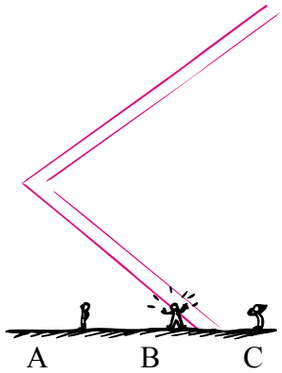
تتكون الموجة الصادمة في الواقع من مخروطين؛ مخروط ضغط عالٍ وتكون قمته عند الانحناء، ومخروط ضغط منخفض قمته عند الذيل. يأخذ رسم ضغط الهواء عند مستوى الأرض بين المخروطين شكل حرف N.



الشّكل 38.10

الموجة الصادمة.

وهناك فكرة شائعة ولكنها غير صحيحة، وهي أنّ الأزيز الصّوتيّ ينتج عندما تكسر الطّائرة حاجز الصّوت. أي لحظة تجاوز الطّائرة سرعة الصّوت فقط. وهذا يشبه تمامًا القول إنّ القارب ينتج الموجة المنحنية عندما يتجاوز أمواجه. وهذا غير صحيح. أمّا ما يحدث فهو أنّ الموجة الصادمة وأزيزها الصّوتي الناتج يرتدان باستمرار خلف الطائرة التي تنتقل أسرع من الصّوت، مثلما ترتد الموجة المنحنية وراء قارب السّباق. في الشّكل 39.10: المستمع *B* في وضعية سماع الانفجار الصّوتيّ، أمّا المستمع *C* فقد سمعها قبل لحظة، في حين أنّ المستمع *A* سيسمعها قريبًا. وقد تكون الطّائرة التي أحدثت هذه الموجة الصادمة قد اندفعت خلال حاجز الصّوت قبل ساعات!



الشّكل 39.10
الموجة الصادمة لم تصل إلى المستمع عند A، ولكنها وصلت الآن المستمع عند B، وكانت قد وصلت إلى المستمع عند C.

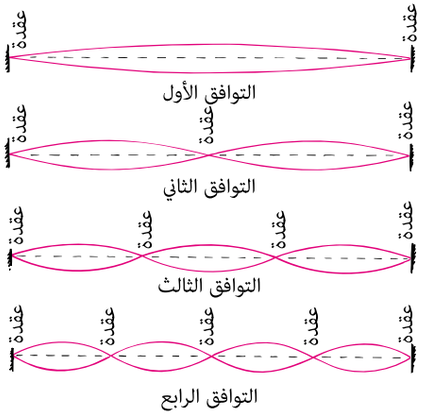
لا تخلط بين فائق الصّوت وفوق الصّوتيّ؛ ففائق الصّوت له علاقة بالسرعة، أي أسرع من الصّوت، في حين أنّ فوق الصّوتيّ له علاقة بالتّردد، أي تردد أعلى من الذي نستطيع سماعه.

لا يحتاج مصدر الصّوت أن يكون "ضوضائيًّا" حتى ينتج موجة صادمة. طالما ينتقل الجسم أسرع من الصّوت، فإنّه يحدث صوتًا. تُحدث الرّصاصة فوق الصّوتيّة دويّا عند عبورها من فوق، وهذا انفجار صوتيّ طفيف. ولكن، إذا كانت الرّصاصة أكبر، وأحدثت تشوهات (اضطرابات) في مسار الهواء، فإنّ الدّوي يشبه الانفجار بشكل أكبر. وعندما يضرب المروّض في السّيرك الأسد بالسّوط، فإنّ دوي السّوط هو في الحقيقة انفجار صوتيّ نتج لأنّ رأس السّوط يتحرك بسرعة أكبر من سرعة الصّوت. كل من الرّصاصة والسّوط ليسا مصدرين للصوت وحدهما، ولكن عندما يتحركان بسرعات فوق صوتية، فإنّهما ينتجان أصواتًا عند توليدهما أمواجًا صادمة.

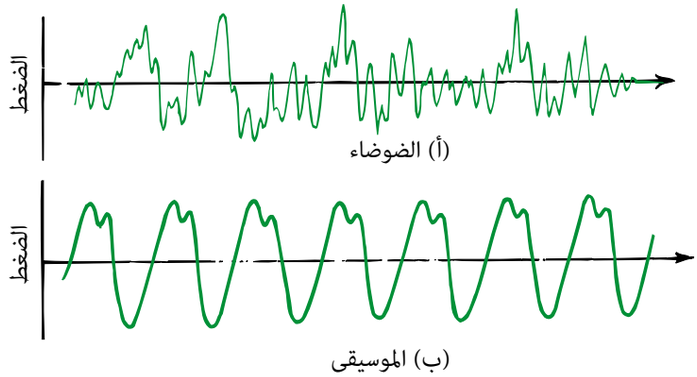
10.10 الأصوات الموسيقيّة

معظم الأصوات التي نسمعها هي ضوضاء؛ ومثال ذلك أثر سقوط جسم، وإغلاق الباب بشدة، وصوت الدّراجة، ومعظم الأصوات في شوارع المدن المكتظة. تقابل الضّوضاء الاهتزازات غير المنتظمة لطبلة الأذن النّاتجة عن مصدر يهتز دون انتظام. يبين الشكلان 14.10أ و14.10ب تغير ضغط الهواء على طبلة الأذن. في الجزء أ، نرى النمط غير المنتظم للضوضاء. وفي الجزء ب، نرى أنّ الصّوت الموسيقيّ له أشكال تتكرّر دوريًّا. إنّ هذه النّوتات دورية، أو "نوتات" موسيقية. (ولكن الأجهزة الموسيقيّة نفسها تعمل ضوضاء!) مثل الرسوم التي يمكن رؤيتها على شاشة راسم الذبذبات عندما يلتقط إشارة كهربائية من الميكروفون إلى هذا الجهاز المفيد.

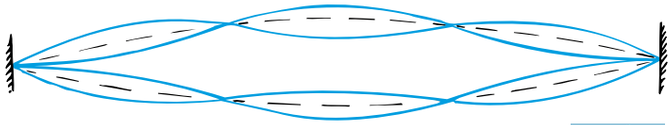
الشّكل 40.10
الفيزيائية ليندا Lynda، مدرسة الفيزياء في كلية سانتاروزا Santa Rosa مندمجة تمامًا في فيزياء الموسيقى.



الشّكل 42.10
أنماط الاهتزاز لوتر الجيتار.



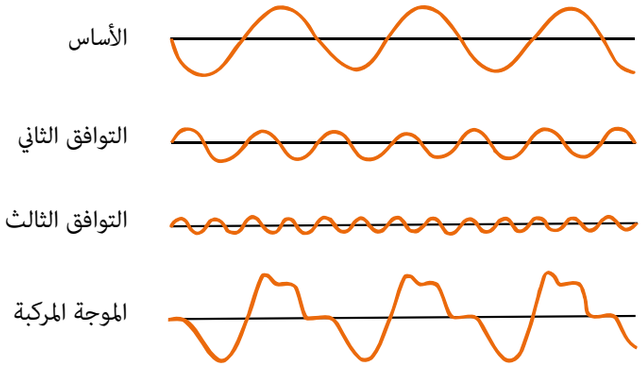
الشّكل 41.10
رسوم تمثيلية للضّوضاء والموسيقى.



الشّكل 43.10

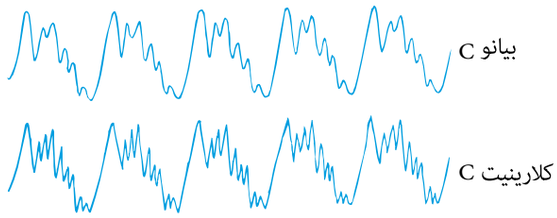
الاهتزاز المركّب للنّمط الأساس والتّوافقيّ الثّالث.

من يقدر الموسيقى أكثر؛ الذي يفهمها، أم المستمع العادي؟



الشّكل 44.10

اتحاد أمواج جيب لإنتاج موجة مركبة.



الشّكل 45.10

تختلف الأصوات من البيانو والكلارنيت في النوعية.

يمكننا التّمييز بين نغم كلّ من البيانو والكلارنت بدرجة النغم (التّردد) المتساوية. لكلّ من هذه النّغمات صوت مميز يختلف في **الجودة** أو الجَرْس. أو مزيج من التوافقيات المختلفة في الشّدة. تتكون معظم الأصوات الموسيقيّة من تراكب عدة ترددات تسمّى **نغمات جزئية**، أو ببساطة جزئية. يسمّى أخفض تردد **التّردد الأساس**، وهو يحدّد درجة النّغم كالنوتة. وتسمّى النغمات الأليفة الجزيئية التي تتكون من عدد كامل من التّردد الأساس **توافقيات**. ويكون النّغمُ الذي له ضعف التّردد الأساس توافقيًّا ثانيًا. في حين يكون النّغمُ الذي له ثلاثة أضعاف التّردد الأساس توافقيًا ثالثًا. وهكذا (الشّكل 42.10)*. وتعطي مختلف النّغمات الأليفة الجزئية النوتة الموسيقيّة خصائصها النوعية. وهكذا، فإذا ضربنا منتصف (C) على البيانو، فإنّنا ننتج نغمة أساسية ترددها 262 هرتز تقريبًا، وخليطًا من النغمات الجزئية من اثنتين، وثلاثة، وأربعة، وخمسة، إلى آخره مضروبة في التّردد الأساس للوسط (C). يحدّد العدد والعلو النّسبيّ للنغمات الأليفة الجزيئية جودة الصّوت المرتبط بالبيانو. عمليًّا، يتكون الصّوت في أيّ جهاز موسيقيّ من الأساس والجزئيات. إنّ النغمات الصّافية هي تلك التي لها تردد أحاديّ. ويمكن إنتاجها إلكترونيًّا؛ فمثلًا، تنتج الأجهزة الإلكترونية لضبط الصّوت، نغمات صافية . وخليطًا من هذه النغمات الصّافية لإنتاج الكثير من مختلف الأصوات الموسيقيّة. تتحدّد جودة النّغم بوجود مختلف الجزئيات وبشداتها النّسبيّة. تدرك الأذن مختلف الجزئيّات، وتميّز الأصوات المختلفة التي ينتجها البيانو والكلارنت. ويكون لزوج من النغمات بالتّردد نفسه جودةٌ مختلفةٌ بسبب اختلاف الجزئيّات أو شدّاتها النّسبيّة.

ومن المدهش أنّنا نستطيع تمييز الجهاز الموسيقي الذي عُزِفَ به عند سماع الموسيقى الصادرة عنه ومعرفة النوتات التي عزفت أيضا، إضافة إلى معرفة ارتفاع الصّوت النّسبيّ. وبغض النظر عما إذا كان العزف مباشرًا أم إلكترونيًّا، فإنّ آذاننا تستطيع تحليل إشارة الصّوت إلى أجزائها تلقائيًّا. يتم إنجاز هذا العمل بهذه الروعة وبتحليل فوريه (*Fourier*) الذي نختم به دراستنا للصّوت.

لمعلوماتك

■ اكشط قرصًا مضغوطًا CD، وامسحه بمعجون أسنان بلطف. إنّ المادة الكاشطة التي تلمّع الأسنان يمكنها أيضًا صقل القرص آثار الكشط عنه.

الشّكل 46.10

هل يسمع كل مستمع الموسيقى نفسها؟

* ليست النغماتُ الأليفة الجزئية الموجودة في النغم المركب جميعها مضاعفًا عدد صحيح. وعلى عكس التوافقيات لآلة النفخ. فإنّ الآلات الوترية كالبيانو تنتج نغمات جزئية "مشدودة" والتي تكون توافقيات على نحو تقريبيّ وليس بالكامل.

تحليل فوريه

لقد اكتشف الرّياضيّ الفرنسي جوزيف فوريه Joseph Fourier أحد أهم الاكتشافات في الموسيقى عام 1822م، وهو أنّ حركة الموجة يمكن اختزالها إلى موجات جيبية بسيطة. إنّ موجة الجيب هي أبسط الموجات، ولها تردد مفرد، كما هو مبين في الشّكل 44.10. وحيث إنّ الأمواج الدورية جميعها مهما كانت معقدة، فإنّه يمكن تجزئتها إلى مكوناتها الأساسية من أمواج الجيب بسعات وترددات مختلفة. تسمّى هذه العملية الرياضية تحليلَ فوريه. وهنا لن نشرح رياضيات، ولكن سنشير ببساطة إلى أنّه يمكن إيجاد نغمة الجيب الصّافية التي تكون نغمة، كالكمان مثلا. عندما تسمع هذه النغمات الصّافية معًا، كما يحدث عند ضرب عدد من الشوكات الرنانة، أو باختيار عدد من المفاتيح في الأرغن الكهربائيّ، ستلاحظ أنّها تتّحد لإنتاج نغمة الكمان. تكون موجة الجيب الأقلّ ترددًا هي الأساس، وهي التي تحدّد درجة النّغم للنوتة. تشكل موجات الجيب الأعلى تردد الجزئيات، وهي التي تعطي النغمة خصائص الجودة النوعية. وهكذا، فإنّ هيئة الموجة لأيّ صوت موسيقيّ هي مجموع موجات جيب بسيطة.

وبسبب أنّ هيئة الموجة تتكون من العديد من أمواج الجيب المختلفة، ولكي ننسخ الصّوت بدقة من المذياع، أو شريط التسجيل، أو القرص المكثف، فعلينا أن نكون قادرين على تسجيل أكبر مدى من التّرددات قدر الاستطاعة. يتراوح مدى لوحة مفاتيح البيانو بين 27 هرتز إلى 4200 هرتز، ولكن لنسخ موسيقى طبق الأصل، يجب أن يحتوي النّظام الصّوتيّ على مدى من التّرددات حتى 20,000 هرتز. وكلما كبر مدى التّرددات لنظام صوت كهربائيّ، فإنّ المخرج الموسيقي سيقترب من الصّوت الأصلي. وهكذا، فإنّ المدى الواسع من التّرددات هو الذي يمكن أن ينتج نظامًا صوتيًّا عالي الدقة.

تقوم الأذن تلقائيًّا بصنف من تحليل فوريه. إنها تصنّف الخليط المركّب من نبضات الهواء التي تصل إليها وتحولها إلى نغمات صافية. ونحن نعيد اتحاد المجموعات المختلفة من هذه النغمات الصّافية عندما نسمعها. يحدّد مزيج النغمات التي ركّزنا عليها ما نسمعه في حفل موسيقيّ. يمكننا توجيه اهتمامنا إلى أصوات الأجهزة المختلفة وتمييز أضعف النغمات من أشدها، ويمكننا كذلك أن نسرّ بالتفاعل المعقد للأجهزة. ومع ذلك، نستطيع كشف الضجيج للآخرين من حولنا: إن هذا من أعظم النعم!

ملخّص المصطلحات

الاهتزاز Vibration: تذبذب مع الزّمن.

الموجة Wave: تذبذب في المكان والزمان معًا.

السّعة Amplitude: (الاتساع) للموجة أو الاهتزاز، أعظم إزاحة على أيّ جانب من موقع الاتزان (نقطة التّصف).

طول الموجة Wavelength: المسافة بين قمتين، أو بطنين متتاليين، أو أيّ جزأين متماثلين متتابعين من الموجة.

التّردد Frequency: لجسم أو وسط مهتز، هو عدد الاهتزازات في وحدة الزّمن. أمّا للموجة فهو عدد القمم التي تمر بنقطة معينة في وحدة الزّمن.

هرتز Hertz: الوحدة العمليّة للتّردّد؛ الهرتز الواحد يساوي ترددًا واحدًا لكلّ ثانية.

الدّورة Period: الزّمن اللازم لحصول اهتزاز واحد، أو الزّمن اللازم لتكمل الموجة دورة كاملة، وتساوي 1/التّردّد.

سرعة الموجة Wave speed: السّرعة التي تتخطى بها موجة نقطة معينة. سرعة الموجة = التّردد × طول الموجة.

الموجة العرضيّة Transverse wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز متعامدًا (عرضيًّا) على الاتجاه الذي تنتقل فيه الموجة. يتكون الضّوء من أمواج عرضية.

الموجة الطّوليّة Longitudinal wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز موازيًا (طوليًّا) لاتجاه انتقال الموجة. تكون أمواج الصّوت طولية.

التّضاغط Compression: منطقة كثيفة للوسط، تنتقل من خلالها الموجة الطولية.

التّخلخل Rarefaction: منطقة تخلخل، أو منطقة ضغط خفيف للوسط الذي تنتقل من خلاله الموجة الطّوليّة.

درجة النّغم Pitch: البصمة الذاتية لتردد الصّوت.

الانعكاس Reflection: عودة موجة الصّوت، الصدى.

الترداد Reverberation: إعادة صدى الصّوت.

الانكسار Refraction: انحناء الموجة، إما خلال وسط غير منتظم، أو انتقالها من وسط إلى آخر بسبب الاختلاف في سرعتها.

الاهتزاز القسريّ Forced vibration: بدء الاهتزازات في جسيم بواسطة قوة مهتزة .

التّردد الطّبيعيّ Natural frequency: التّردد الذي يميل الجسم المرن للاهتزاز به طبيعيًّا، ومن ثم نحتاج إلى الحد الأدنى من الطّاقة لإنتاج اهتزاز قسريّ، أو لاستمرار الاهتزاز بهذا التّردد.

الرّنين Resonance: استجابة الجسم عندما يتساوى التّردّدان: القسريّ والطّبيعيّ.

التّداخل Interference: خاصية لأنواع الموجات جميعها التي لها طول الموجة نفسها عادة. ينتج التّداخل البنّاء من تعزيز القمة إلى القمة، وينتج التّداخل الهدّام عن اختزال قمة – بطن.

الضّربات Beats: سلسلة من التعزيزات والإلغاءات المتناوبة التي تنتج من التّداخل لموجتين تختلفان قليلًا في ترددهما، وتسمع على شكل خفقان في أمواج الصّوت.

الموجة الواقفة Standing wave: يتشكّل نمط موجة مستقرة في الوسط عند مرور مجموعتين من الأمواج المتماثلة خلال وسط في اتجاهين متعاكسين.
أثر دوبلر Doppler effect: تغير في تردد موجة متحركة نتيجة حركة المرسل أو المستقبل.
الموجة المنحنية Bow wave: الموجة المتكوّنة على شكل حرف V من جسم متحرك عبر سطح سائل بسرعة أكبر من سرعة الموجة.
الموجة الصّادمة Shock wave: الموجة المتكوّنة على شكل مخروط من جسم متحرك بسرعة صوتية فائقة خلال مائع.
الانفجار الصّوتيّ Sonic boom: علو الصّوت النّاتج عن الموجة الصادمة.
الجودة Quality: النغمة المميزة للصوت الموسيقي، والذي يحكم وبالشدة النسبية للنغمات الأليفة الجزئية وعددها. النّغمة الأليفة الجزئية **Partial tone:** أحد التّرددات الموجودة في نغم مركب. عندما يكون النغم الجزئيّ مضاعف عدد صحيح لأقلّ تردد، فسيكون توافقيًا.
التّردد الأساس Fundamental frequency: أقلّ تردد للاهتزاز، أو التوافقي الأول. يصنع اهتزاز الوتر قطعة مفردة.
التوافقيّ Harmonic: النّغم الجزيئيّ الذي هو مضاعف عدد التردد الأساس. الاهتزاز الذي يبدأ بتردد الاهتزاز هو التوافق الأول، ضعف الأساس هو التوافقيّ الثّاني، وهكذا على التتابع.

أسئلة مراجعة

1.10 الاهتزازات والأمواج

1. ما مصدر الأمواج جميعها؟
2. ميّز بين أجزاء الموجة المختلفة: الدورة، والسّعة، وطول الموجة، والتّردد.
3. كيف ترتبط الدورة والتّردد معًا؟

2.10 الحركة الموجيّة

4. بكلمة واحدة، ما الذي يتحرك من المصدر إلى المستقبل في حركة الموجة؟
5. هل يتحرك الوسط الذي تنتقل الموجة فيه مع الموجة؟ هاتِ أمثلة لدعم إجابتك.
6. ما العلاقة بين كلّ من التّردد، وطول الموجة، وسرعتها؟

3.10 الأمواج الطّوليّة والعرضيّة

7. في أيّ اتّجاه تكون اهتزازات الموجة العرضيّة بالنسبة إلى اتّجاه انتقال الموجة، وفي الموجة الطّوليّة؟
8. ميّز بين التضاغط والتخلخل.

4.10 أمواج الصّوت

9. في أي الوسطين ينتقل الصّوت أسرع: في الهواء السّاخن أم الهواء البارد؟ دافع عن إجابتك.
10. كيف تقارن سرعة الصّوت في الماء بسرعته في الهواء؟ وكيف تقارن سرعة الصّوت في الفولاذ بسرعته في الهواء؟

5.10 انعكاس الصّوت وانكساره

11. ما قانون انعكاس الصّوت؟
12. ما التّردد؟
13. كيف ترتبط سرعة الموجة مع ظاهرة الانكسار؟
14. هل يميل الصّوت إلى الانحناء إلى الأعلى أم إلى الأسفل عندما تكون سرعته بالقرب من الأرض أقلّ من سرعته في الأعلى؟
15. هناك فرق بين الطريقة الخاملة التي نرى محيطنا فيه أثناء النهار والطريقة النشطة التي نحسه بها في أثناء الليل بكشافات الضّوء. أيّ هاتين الطريقتين تشبه أكثر الطريقة التي يدرك بها الدلفين محيطه؟

6.10 الاهتزازات القسرية والرّنين

16. لماذا يكون صوت الشوكة الرنانة عند ضربها أعلى إذا وضعت مقابل سطح طاولة؟
17. ميّز بين الاهتزازات القسرية والرّنين.
18. عندما تسمع المذياع، لماذا تسمع محطة واحدة فقط في الزمن الواحد بدلًا من سماع عدة محطات معًا؟
19. لماذا تسير الجيوش بخطوات غير منتظمة عند عبور جسر؟

7.10 التّداخل

20. ما أنواع الأمواج التي تبدي تداخلًا؟
21. ميّز بين التّداخلين: البنّاء والهدّام.
22. ماذا يعني قولك إن موجة خارج الطور مع موجة أخرى؟
23. ما الظّاهرة الفيزيائيّة التي تشكّل أساس الضّربات؟
24. ما العقدة؟ وما البطن؟

8.10 ظاهرة دوبلر

25. في ظاهرة دوبلر، هل يتغير التّردد؟ هل يتغير طول الموجة؟ هل تتغير سرعة الموجة؟
26. أين يمكن ملاحظة ظاهرة دوبلر: في الأمواج الطّوليّة، أم في الأمواج العرضيّة، أم في كليهما؟

9.10 الأمواج المنحنية والانفجار الصّوتيّ

27. كيف تقارن سرعة مصدر الموجة بسرعة الموجات نفسها عندما يتكوّن حاجز الصّوت؟ كيف يمكن مقارنتهما عند تكوّن موجة منحنية؟
28. كيف يعتمد شكل V لموجة منحنية على سرعة مصدرها؟
29. يحدث الانفجار الصّوتيّ فقط عندما تكسر طائرة حاجز الصّوت. هل هذه العبارة صحيحة؟ دافع عن إجابتك.

10.10 الأصوات الموسيقيّة

30. ميّز بين الصّوت الموسيقيّ والضّوضاء.

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما مصدر حركة الموجة؟
2. ● إذا ضاعفنا تردد جسم مهتز، فماذا يحدث لدورته؟
3. ● إذا غمست إصبعك عدة مرات في بركة ماء وتكوّنت موجات، فما الذي يحدث لطول الموجة إذا غمست إصبعك بتكرار أكثر؟
4. ● كيف تقارن تردد جسم صغير مهتز طاف فوق الماء مع عدد الأمواج التي تمرّ من جانبه في كلّ ثانية؟
5. ● ما نوع الحركة التي يمكنك أن تعطيها لمقدمة خرطوم ماء الحديقة بحيث يقترب الماء النافذ من منحنى جيبيّ؟
6. ● ما نوع الحركة التي تمنحها لزنبرك مشدود لإنتاج موجة عرضيّة، وموجة طولية؟
7. ● إذا فتحت صنبور غاز عدة ثوانٍ فسيسمع شخص على بعد عدة أمتار انبعاث الغاز قبل أن يشمه. إلامَ يشير هذا حول سرعة الصّوت وحركة الجزيئات للوسط الناقل له؟
8. ● تستطيع القطة سماع صوت بترددات حتى 70,000 هرتز. وترسل الخفافيش أصواتًا ذات ترددات عالية حتى 120,000 هرتز وتستقبلها. أيّ الحيوانات تسمع أصواتًا ذات أمواج طولية أقصر، القطط أم الخفافيش؟
9. ● ماذا يعني أنّ محطة إذاعة هي "101.1 على مقياس FM"؟
10. ● إذا كان تردد الصّوت من المصدر A هو ضعف التّردد من المصدر B، فقارن بين الأطوال الموجيّة للصوت من المصدرين.
11. ● افترض أنّ لموجة الصّوت التّردد نفسه لموجة كهرومغناطيسية. أيهما لها موجة أطول؟
12. ● يمكنك ملاحظة الدخان من بندقية بدء السّباق من الواقف على منصة الحلبة قبل سماع صوت الإطلاق. فسّر.
13. ● في المباريات الأولمبية، يُستخدم الميكروفون لالتقاط الصّوت من بندقية الانطلاق، ومن ثمَّ يرسل إشارة كهربائية للمتحدثين في كلّ زاوية من مضمار السّباق. لماذا؟
14. ● في اللحظة نفسها التي توجد منطقة ضغط عال خارج الشّعبة المهتزة للشوكة الرنانة، ما الموجود بين الشعبتين؟
15. ● لماذا يكون هناك هدوء تام بعد سقوط الثّلج؟
16. ● إذا رنّ الجرس داخل كأسه، فلن نسمعه إذا كان مفرغًا من الهواء، ولكننا نستطيع رؤيته. إلامَ يشير هذا حول خصائص الصّوت والضّوء؟
17. ● لماذا يوصف القمر بالكوكب الصّامت؟
18. ● عندما تصبّ ماءً في كأس، في الوقت الذي تنقر بتكرار عليها بملعقة، عند ملء الكأس المقروعة. هل يزيد تردد الصّوت أم ينقص؟ (ما الذي عليك فعله للإجابة عن هذا السّؤال؟)
19. ● إذا كانت سرعة الصّوت تعتمد على تردده، فهل تستمع في صالة موسيقى إذا كنت جالسًا في الدور الثاني؟
20. ● إذا تضاعف تردّد الصّوت، فماذا يحدث لسرعته؟ وما الذي يحدث لطول موجته؟ دافع عن إجابتك.
21. ● لماذا ينتقل الصّوت بسرعة أكبر في الهواء السّاخن؟
22. ● لماذا ينتقل الصّوت بسرعة أكبر في الهواء الرطب؟ (مساعدة: عند درجة الحرارة نفسها، تكون جزيئات الماء -البخار لها المعدل نفسه لطاقة الحركة التي للجزيئات الثقيلة من النيتروجين والأكسجين في الهواء. إذن، كيف تقارن معدل سرعات جزيئات H_2O بما لجزيئات النيتروجين والأكسجين؟).
23. ● لمَ يكون الصدى أضعف من الصّوت الأصليّ؟
24. ● ما الخطآن الفيزيائيّان في فيلم علمي يبين حدوث انفجار في الفضاء البعيد ويمكنك رؤيته وسماعه في الوقت نفسه؟
25. ● هناك قاعدة بسيطة عملية لتقدير المسافة بالكيلومترات بين المراقب ووميض البرق وهي بقسمة عدد الثواني في الفترة بين الوميض وسماع الصّوت على ثلاثة. هل هذه القاعدة صحيحة؟
26. ■ إذا أرسل اضطراب أحاديّ في منطقة مجهولة المسافة الأمواج الطّوليّة والعرضيّة، وكل منهما تنتقل بسرعة متميزة عن الأخرى في ذلك الوسط، كالزلازل في الأرض، فكيف يمكن تقدير المسافة بين المراقب والاضطراب؟
27. ● لماذا يخالف الجنود الموجودون في نهاية استعراض طويل خطى الجنود في المقدمة؟
28. ● ما الخطورة التي يتسبب بها النّاس الجالسون في شرفات قاعات الموسيقى عند ضربهم الأرض بأرجلهم بإيقاعات منتظمة؟
29. ● لماذا يكون صوت الكنار ناعمًا مقارنة بصوت البيانو؟
30. ● إذا أمسكت شوكة رنانة بثبات على سطح طاولة فسيصبح الصّوت الصّادر عنها أعلى. لماذا؟ كيف يؤثر هذا في طول الفترة الزّمنية التي تستمر الشّوكة في الاهتزاز بها؟ فسّر.
31. ● ما المبدأ الفيزيائيّ الذي يستخدمه مانويل عندما يتناغم مع التّردد الطّبيعيّ للأرجوحة؟

32. ● السّيتار، جهاز موسيقيّ هنديّ، له مجموعة من الأوتار تهتز وتنتج موسيقى حتى دون نقرها. تكون هذه "الأوتار التأثرية" مماثلة للأوتار المتأرجحة ومثبتة أسفلها. ما تفسيرك؟
33. ● ينقل جهاز خاص الصّوت بطورٍ معاكس مع الصّوت من مثقاب ضوضائيّ إلى مشغل المثقاب بواسطة سماعات الأذن. ومع ضوضاء المثقاب، يستطيع المشغل سماع صوتك بسهولة في حين لا تستطيع أنت سماعه، فسّر.
34. ■ يمكن لموجتي صوت بالتردد نفسه أن تتداخلا معًا، ولكن ينبغي أن تختلفا في التردد لإحداث ضربات. لماذا؟
35. ■ يمشي صديقك إلى جانبك 50 خطوة واسعة في الدقيقة، أمّا أنت فتمشي 48 خطوة في الدقيقة. إذا بدأتما معًا بالخطوة نفسها، فهل تلتقيان مرة أخرى؟
36. ■ افترض أنّ ضابط البيانو سمع ثلاث ضربات في الثانية عندما سُمح لاحتاد الصّوت من شوكة رنانة مع نغمة البيانو التي يجري ضبطها. وبعد أنّ شدّ الوتر قليلا، سمع خمس ضربات في الثانية. فهل عليه شدّ الوتر أم إرخاؤه؟

37. ■ بدأت صافرة قاطرة سكة حديد ساكنة في الانطلاق. ثم بدأت التّحرك نحوك.
أ-هل يزداد التّردد الذي تسمعه، أم ينقص، أم يبقى كما هو؟
ب-ماذا عن طول الموجة التي تسمعها؟
ج-ماذا عن سرعة الصّوت في الهواء بينك وبين القاطرة؟

38. ■ عندما تضغط على زمارة سيارتك عند قيادتها نحو مستمع واقف فإنّه يسمع زيادة في ترددها. هل يسمع هذا الشخص زيادة في تردد الزمارة إذا كان هو أيضًا في سيارة تتحرك بالسرعة نفسها وفي اتجاه حركتك نفسه؟ فسّر.

39. ● كيف تساعد ظاهرة دوبلر الشّرطة على كشف السّيارات المتجاوزة للسّرعة المسموح بها؟

40. ● وجد الفلكيون أنّ الضّوء المنبعث من عنصر معين عند أحد حواف الشّمس له تردد أعلى قليلا من الضّوء المنبعث من ذلك العنصر في الطرف الآخر. ماذا تستفيد من هذه الأقيسة حول حركة الشّمس؟

41. ● هل صحيح أنّ ظاهرة دوبلر هي تغير في سرعة الموجة بسبب حركة المصدر؟ (لمَ يعدّ هذا السّؤال اختبارًا للقراءة الاستيعابية كما هو اختبار للمعرفة الفيزيائيّة؟)

42. ● عندما تزيد الطّائرة الفائقة الصّوت من سرعتها، فهل تتّسع الزّاوية المخروطيّة للموجة الصّادمة، أم تضيق، أم أنّها تبقى ثابتة ؟

43. ● إذا كان صوت الطّائرة لا يسمع من جزء من السّماء، ولكن يمكن رؤيتها، فهل هذا يعني أنّ الطّائرة تطير بسرعة أعلى من سرعة الصّوت؟ فسّر.

44. هل يحدث الانفجار الصّوتيّ في اللحظة التي تزيد سرعة الطّائرة فيها على سرعة الصّوت؟ فسّر.

45. ■ لماذا لا تنتج الطّائرة التي تطير بسرعة تحت صوتيّة انفجارًا صوتيًا مهما كان ضجيجها؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● عَدّت ممرضة 72 نبضة قلب في دقيقة واحدة. بيّن أنّ دورة نبضات القلب وترددها هما 0.83 ثانية و1.2 هرتز، على الترتيب.

2. ● نعلم أنّ السّرعة تساوي v = المسافة/الزمن. بيّن أنه عندما تكون المسافة المقطوعة هي ، وزمن الانتقال هو دورة واحدة T (والتي تساوي 1 / التّردد) فستحصل على $v = f\lambda$.

3. ● تطهو أفران الموجات الحرارية (الميكروويف) الطعام باستخدام الموجات الدقيقة بتردد 2.45 جيجا هرتز (جيجا هرتز=10^9 هرتز). بيّن أنّ طول هذه الموجات هو 12.2 سم.

4. ● لعدة سنوات، تحيّر علماء البحار في اكتشاف أمواج صوتيّة بواسطة ميكروفونات تحت الماء في المحيط الهادئ. وكانت الأمواج التي تسمى أمواج T من أصفى الأصوات في الطبيعة. وأخيرًا اقتفى الباحثون آثار مصدر هذه الأصوات فوجدوا أنّها البراكين التي تحت الماء والتي ترنّ الفقاقيع الصاعدة من أعمدتها كأنابيب الأرجن. إنّ التّردّد النّموذجيّ لأمواج T - هو 7 هرتز. إذا علمت أنّ سرعة الصّوت في الماء 1530 م/ث، فبيّن أنّ طول موجة T - هو 219 م.

5. ● تمسح مركبة صوتيّة عمق المحيط بالأمواج فوق الصّوتيّة والتي تنتقل بسرعة 1530م/ث في ماء البحر. بين أنه إذا كان زمن التّأخير للصّدى من أعماق المحيط 6 ثوان، فإنّ عمق الماء 4590م.

6. ● يطلق خفّاش يطير في كهف صوتًا ويستقبل صداه بعد 0.1 ثانية. بيّن أنّ المسافة إلى أحد جدران الكهف هي 17 م.

7. ● طرقت سوزي قطعة خشب عندما كانت على بعد 85م من حائط قرميديّ كبير. وفي كلّ مرة كانت تصيب الخشب، تسمع صدى بعد 0.5 ثانية. استنادا إلى هذا، بيّن أنّ سرعة الصّوت 340 م/ث.

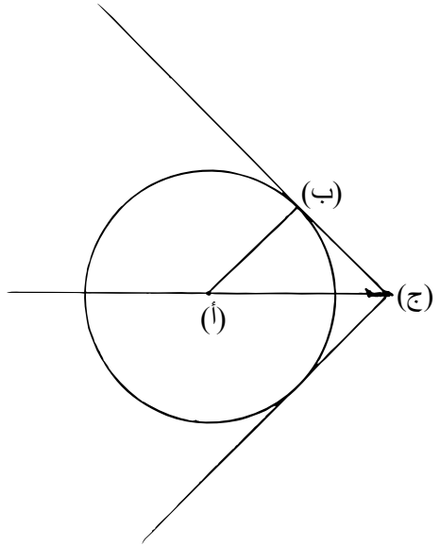
8. ● تخيّل أنّ ناسكًا متقدمًا في السّن يعيش في الجبال، وقبل ذهابه إلى النّوم يصرخ "انهض". وكان يسمع صدى الصّوت من أقرب جبل بعد 8 ساعات. بيّن أنّ بُعْدَ الجبل هو 5000كم تقريبًا.

9. ● عند نقر لوحة مفاتيح نوتة ترددها 256 هرتز أ- بيّن أنّ دورة اهتزاز واحدة لهذه النوتة هو 0.00391 ثانية ب- بعد مغادرة الصّوت الجهاز بسرعة 340 م/ث، بيّن أنّ طول الموجة في الهواء هو 1.33م.

10. ■ أ- افترض أنّ شخصًا أحمق أخذ يعزف على لوحة مفاتيح الجهاز تحت الماء، حيث سرعة الصّوت 1500 م/ث. بيّن أنّ طول موجة نغمة منتصف - C في الماء هو 5.86 متر. ب- فسّر لماذا منتصف C (أو أي نغمة أخرى) له موجة أطول في الماء مما هي عليه في الهواء.

11. ● ما ترددات الضربات المحتملة مع الشّوكات الرّنّانة التي لها ترددات 256، و259 و261 هرتز؟

12. ■ كما هو مبين في الرسم، فإنّ نصف الزّاوية للموجة المخروطيّة الصّادمة المتولّدة من الطّائرة فوق الصّوت هي 45°. ما سرعة الطّائرة بالنسبة إلى سرعة الصّوت؟



أنشطة استكشافية

1. اربط أنبوبًا من المطاط أو زنبركًا أو حبلًا إلى دعامة ثابتة وهزها لإنتاج موجات واقفة. انظر إلى عدد العقد التي يمكن إنتاجها.
2. افحص أيًّا من أذنيك لها سمع أفضل بتغطية إحداهما وإيجاد البعد الذي تستمع به الأذن غير المغطاة. وذلك بسماعها صوت تكّات السّماعة. كرّر التجربة بالأذن الأخرى. لاحظ أيضًا كيف تتحسن حساسية سمعك عندما تضع يديك حول أذنيك.
3. قم بالنشاط المقترح في الشّكل 24.10 بنظام مكبرات الصّوت. ببساطة، اعكس مدخلات الأسلاك إلى إحدى السّماعتين بحيث تكون الاثنتان بأطوار متعاكسة. عند عزف الصّوت ووضع السّماعتين وجهًا لوجه، يكون انخفاض الصّوت مدهشًا حقًّا! إذا كانت السّماعتان معزولتين جيدًا، فإنه لا يمكنك سماع أيّ صوت أبدًا.
4. تحتاج للقيام بهذا النشاط إلى مكبرات صوت معزولة (دون صندوق) ولوح من الخشب العاكس، وورق مقوى - كلما كان أكبر كان أفضل-. اعمل فتحة في منتصف اللوح بحجم السماعة. استمع إلى الموسيقى من السّماعة المعزولة، ثم اسمع الفرق عندما توضع مقابل الفتحة. يقلل اللوح كمية الصّوت من خلف السّماعة التي تتداخل مع الصّوت الآتي من الأمام، منتجًا صوتًا كاملا. والآن، عرفت سبب تثبيت السمّاعة في صندوق.
5. بلل إصبعك وافركه ببطء حول حافة كأس رقيقة من الزّجاج، في حين تمسك بقاعدة الكأس بثبات فوق طاولة بيدك الأخرى. يثير احتكاك إصبعك الأمواج الواقفة في الكأس، بالضبط مثل الأوتار في الفيولين من احتكاك قوس الفيولين. جرب ذلك بوعاء فلزّيّ.
6. إذا أرجحت صفّارة من أيّ نوع فوق رأسك على شكل دائرة، فإنّك لا تسمع إزاحة دوبلر. أمّا أصدقاؤك من حولك فسيسمعون. وسيزداد التّردد عندما تقترب منهم، وينقص عندما تبتعد. ثم بدّل المواقع مع صديق حتى تتمكن من سماعها.
7. حدّد أقلّ تردّد للصّوت الذي تستطيع سماعه، ثم استمر في مضاعفة التّردد حتى ترى عدد النغمات التي يغطيها صوتك.
8. انفخ في أعلى علبتين فارغتين متماثلتين، لمعرفة هل للنغمات الناتجة التّردد نفسه أم لا. ثم ضع إحداهما في الثلاجة وجرّب مرة أخرى. ينتقل الصّوت ببطء أكثر في الهواء البارد الكثيف وتكون النغمة أخفض. جرّب ولاحظ.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل اللاحق.

اختر الإجابة الأصح في كلّ ما يلي:

1. عندما ندرس المسافة التي يتأرجح بها البندول إلى الأمام وإلى الخلف، فإنّنا نتحدث عن:
   أ. التّردد.
   ب. الدورة.
   ج. طول الموجة.
   د. السّعة.
2. إذا كان تردد موجة معينة هو 30 هرتز، فإنّ دورته هي:
   أ. $\frac{1}{30}$ ثانية.
   ب. 30 ثانية.
   ج. أكثر من 30 ثانية.
   د. لا شيء مما ذكر.
3. يهتز التّيّار الكهربائيّ المتناوب في أوربا 50 دورة في الثانية. إنّ تردّد هذه الاهتزازات هي:
   أ. 50 هرتز، وبدورة $\frac{1}{50}$ ثانية.
   ب. $\frac{1}{5}$ هرتز، وبدورة 50 ثانية.
   ج. 50 هرتز، وبدورة 50 ثانية.
   د. $\frac{1}{50}$ هرتز، وبدورة $\frac{1}{50}$ ثانية.
4. إذا غمست إصبعك مرارًا في سطح ماء راكد، فإنّك تنتج أمواجًا. وكلما زاد تكرار غمس إصبعك:
   أ. قلّ تردّد الموجة وزاد الطّول الموجيّ.
   ب. ازداد تردّد الموجة وقصر الطّول الموجيّ.
   ج. (أ + ب).
   د. لا شيء مما ذكر.
5. يكون الاهتزاز عبر الموجة الطّوليّة في اتجاه:
   أ. مواز لاتجاه الموجة.
   ب. متعامد على اتجاه الموجة.
   ج. كليهما.
   د. لا شيء مما ذكر.
6. واحد مما يلي يعدّ مثالًا مألوفًا للموجة العرضيّة:
   أ. الصّوت.
   ب. الضّوء.
   ج. كلاهما.
   د. لا شيء مما ذكر.
7. عندما يُضبَط جهاز المذياع على إشارة الراديو القادمة، فسوف يحدث:
   أ. انكسار.
   ب. اهتزاز قسريّ.
   ج. رنين.
   د. حيود.

8. عند تعرض الصّوت أو الضّوء للتداخل، فمن الممكن أحيانًا:
أ. حصول سعة أكبر من مجموع السّعات.
ب. أنْ تلغى تمامًا.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.
9. ما لا يمكن حدوثه في ظاهرة دوبلر هو التّغيّر في:
أ. التّردد بسبب الحركة.
ب. سرعة الصّوت بسبب الحركة.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.
10. أزيز الصّوت هو نتيجة الـ..... الموجيّ.
أ. تداخل.
ب. رنين.
ج. تراكب.
د. انعكاس والانكسار.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١. ج، ٢. ج، ٣. ب، ٤. ب، ٥. ج، ٦. ب، ٧. د، ٨. ب، ٩. د، ١٠. ب

اكتشاف المزيد

شيافيرنيا، كريس وتوم روسنغ. علم الضوء: فيزياء للفنون البصرية. نيويورك: سبرنغر، 1999. قراءات ممتعة لاثنين من علماء الفيزياء.

لمعرفة المزيد عن علم الصوتيات حول قاعات الحفلات الموسيقية، ارجع إلى http://www.concerthalls.org

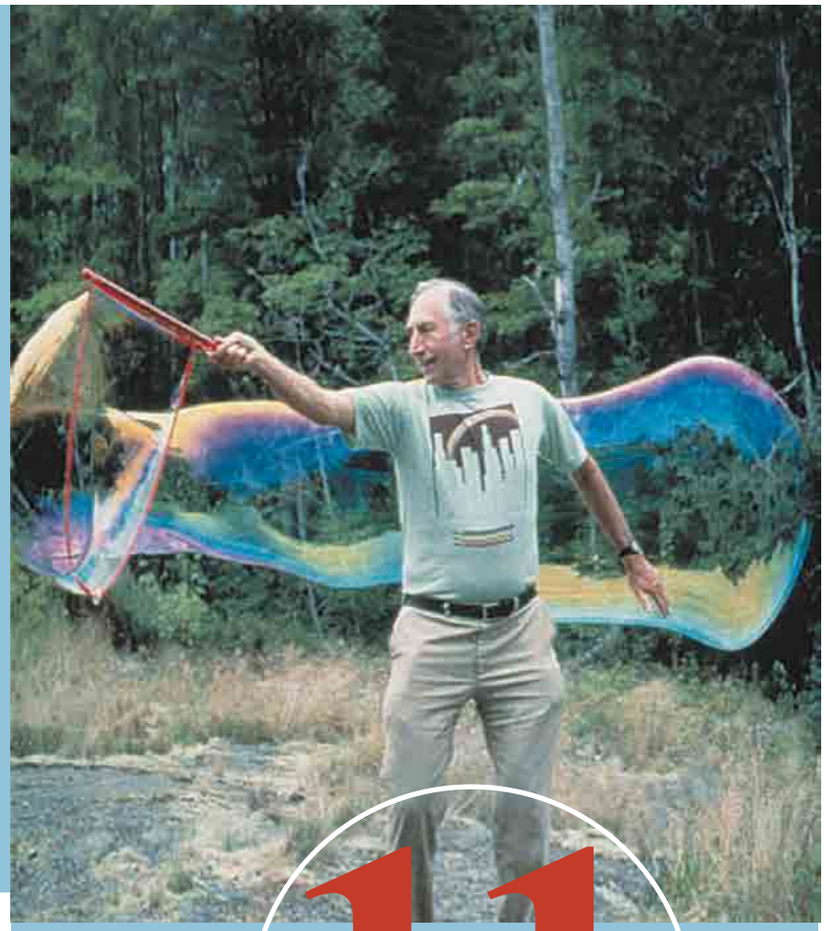
الفصل 10 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 10.1، 10.5، 10.6، 1027، 10.28، 10.30، 10.31

دروس تعليمية
- الأمواج والاهتزازات
- تأثير دوبلر

أشرطة فيديو
- الأمواج الطولية والمستعرضة
- انكسار الصوت
- الرنين
- الرنين والجسور
- التداخل والضربات
- تأثير دوبلر

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



الضَّوء

11

1.11 الطّيف الكهرومغناطيسي

2.11 المواد الشّفّافة والمواد المعتمة

3.11 الانعكاس

4.11 الانكسار

5.11 اللون

6.11 التّشتّت

7.11 الاستقطاب

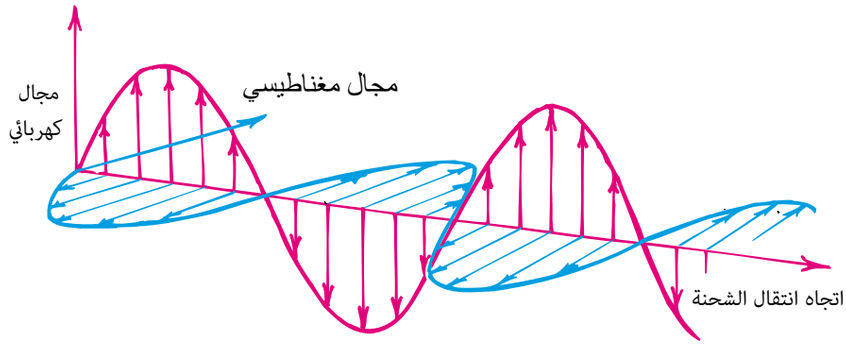
■ الضَّوء هو الشّيء الوحيد الذي يمكن أن نراه. ولكن ما الضَّوء؟ نحن نعلم أنّ الشّمس هي المصدر الأوليّ للضَّوء خلال النهار، أمّا المصدر الثّانويّ فهو سطوع السّماء. وهناك مصادر أخرى مألوفة مثل الفتيلة البيضاء الساخنة في المصابيح الكهربائية، والغازات المتوهجة في الأنابيب الزّجاجيّة، واللهب. لقد وجدنا أنّ مصدر الضَّوء هو حركة الإلكترونات المتسارعة؛ فالضَّوء ظاهرة كهرومغناطيسية، وهو جزء ضئيل من كم كبير، أو مدى واسع من الأمواج الكهرومغناطيسيّة يسمى الطّيف الكهرومغناطيسيّ. سنبدأ دراستنا للضَّوء ببحث خصائصه الكهرومغناطيسيّة، وكيفيّة تفاعله مع المواد، وكيفيّة انعكاسه، كما سنتناول طبيعته الموجية العرضية، وكيفيّة انكساره، إضافة إلى كيفية تشكّل قوس المطر الرائع بألوانه. ونختم هذا الفصل المثير بظاهرة الاستقطاب.

1.11 الطّيف الكهرومغناطيسي

إذا هززت عصا من طرفها ذهابًا وإيابًا في ماء راكد فإنك تصنع أمواجًا على سطح الماء. وبالمثل، إذا هززت قضيبًا مشحونًا كهربائيًّا في الفضاء الفارغ، فإنك تصنع أمواجًا كهرومغناطيسية. وقد تعلمنا في الفصل التاسع سبب حدوث ذلك: إنّ اهتزاز القضيب المشحون يصنع تيارًا كهربائيًّا ينتج بدوره مجالًا مغناطيسيًّا. والمجال المغناطيسيّ المتغيّر يستحثّ مجالًا كهربائيًّا؛ إنّ الحثّ الكهرومغناطيسيّ، والمجال الكهربائيّ المتغيّر بدوره ينتجان مجالًا مغناطيسيًّا متغيّرًا. كما أنّ المجالات المغناطيسيّة والكهربائيّة المهتزة يولد أحدهما الآخر لصنع **موجة كهرومغناطيسيّة (Electromagnetic Waves)**.

الشّكل 1.11

إذا هزّ جسم مشحون ذهابًا وإيابًا فسينتج موجة كهرومغناطيسيّة.

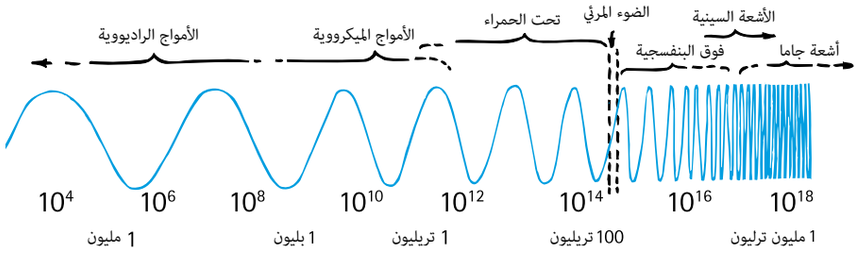


الشّكل 2.11

يكون المجالان الكهربائيّ والمغناطيسيّ للموجة الكهرومغناطيسيّة متعامدين أحدهما على الآخر، ومتعامدين كذلك على اتجاه حركة الموجة.

الضّوء طاقة محمولة على الموجة الكهرومغناطيسيّة المنبعثة من الإلكترونات المهتزة في الذرة.

تتحرك الأمواج الكهرومغناطيسيّة جميعها في الفراغ بالسّرعة نفسها، ولكنها تختلف في التردد فقط. وتصنّف الأمواج الكهرومغناطيسيّة وفق التردد، من الأمواج الرّاديويّة إلى إشعاعات جاما؛ وهذا هو الطّيف الكهرومغناطيسيّ (الشّكل 3.11). لقد تم قياس أمواج كهرومغناطيسية من تردد 0.01 Hz إلى الترددات الرّاديويّة حتى 108 مليون (Hz). بعدها تبدأ الترددات فوق العالية (UHF)، ثم موجات الميكروويف، ثمّ الأمواج تحت الحمراء، وغالبا ما تسمى الأمواج الحراريّة. ثم أمواج الضّوء المرئيّ، والتي تشكّل أقلّ من واحد في المئة مليون من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسيّ المقيس. وكلما زاد تردد الموجة، أصبح طولها أقلّ*.



الشّكل 3.11

يشكل الطّيف الكهرومغناطيسيّ مدى مستمرًّا من الموجات يمتد من الأمواج الرّاديويّة إلى أشعّة جاما. إنّ الأسماء الوصفية لهذه الأجزاء هي مجرد تصنيفات تاريخية، حيث يكون للموجات جميعها الطبيعة نفسها؛ ولكنها تختلف في التردد وطول الموجة فقط ، إضافة إلى أنّ الموجات كلّها لها السّرعة نفسها.

* العلاقة هي $c = f\lambda$، حيث c هي (ثابت) سرعة الضّوء، وf التردد، وλ طول الموجة. يوصف صوت المذياع عادة بالتردد. في حين يوصف الضّوء بطول الموجة. في هذا الكتاب، سنعتمد مفهومًا واحدًا لوصف الضّوء هو التّردّد.

■ **نقطة فحص**

هل صحيح أنّ الموجة الرّاديويّة هي موجة ضوء ذات تردد منخفض؟ وهل الموجة الرّاديويّة أيضًا موجة صوت؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم، لا: كلّ من الأمواج الرّاديويّة والضّوئيّة هي موجات كهرومغناطيسية نشأت عن اهتزاز الإلكترونات. وللأمواج الرّاديويّة تردّد أقلّ من أمواج الضّوء. لذا يمكن اعتبار الأمواج الرّاديويّة أمواجًا ضوئية ذات تردد منخفض (وفي المقابل يمكن اعتبار الأمواج الضّوئيّة أمواجًا راديويّة ذات تردد مرتفع). أمّا الشقّ الثاني من السؤال فهو أنّ موجة الراديو لا يمكن اعتبارها موجة صوت، وهي تنتج عن اهتزازات ميكانيكية للمادة كما عرفنا في الفصل السابق (لا تخلط بين موجة المذياع وموجة الصّوت التي يبعثها مكبر الصّوت).

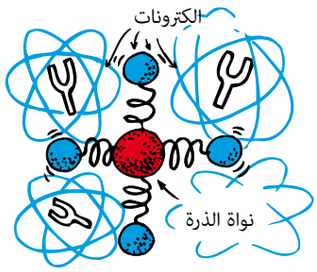
■ 2.11 المواد الشّفّافة والمواد المعتمة

تطلق الإلكترونات المهتزة معظم الموجات الكهرومغناطيسيّة. وعند سقوط الضّوء على المادة، تجبر بعض الإلكترونات فيها على الاهتزاز. تنتقل اهتزازات الإلكترونات إلى اهتزازات إلكترونات أخرى في المادة، وهذا يشبه الطريقة التي ينتقل بها الصّوت (الشّكل 4.11).

الشّكل 4.11
كما تجبر موجة الصوت مُستَقبِل الصّوت على الاهتزاز، فإنّ موجة الضّوء تجبر الإلكترونات في المواد على الاهتزاز أيضا.

تسمح المواد مثل الزّجاج والماء بمرور الضّوء من خلالها دون امتصاص. وفي خطوط مستقيمة عادة. إنّ هذه المواد شفافة للضّوء. ولفهم كيفية اختراق الضّوء للمواد الشّفّافة؛ تخيل أنّ الإلكترونات في الذرات كما لو أنها متصلة بالنواة الذرية بزنبركات (الشّكل 5.11)* وتبدأ موجات الضّوء السّاقطة العمل على هزّ الإلكترونات.

ينتقل الضّوء في الهواء أسرع مليون مرة من الصّوت.



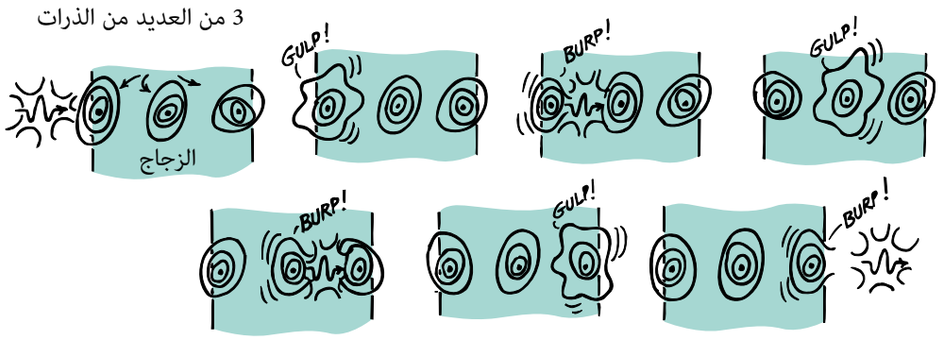
الشّكل 5.11
يكون لاهتزازات إلكترونات الذرات ترددات طبيعية معينة. ويمكن نمذجتها كجسيمات مربوطة بالنواة الذرية بزنبركات. ونتيجة لذلك، يمكن القول إنّ الذرات والجزيئات تسلك سلوكًا يشبه الشّوكة الرّنّانة الضّوئيّة.

تشبه اهتزازات الإلكترونات في المادة اهتزازات الأجراس المقروعة والشّوكات الرنانة. وعند قرع الجرس، يهتز عند تردد معين. وهكذا تفعل الإلكترونات في الذرات والجزيئات. إنّ للذرات والجزيئات المختلفة "ثوابت زنبركيّة" مختلفة. وللإلكترونات في الزّجاج تردد اهتزاز طبيعيّ في مدى فوق البنفسجيّ. عندما تسقط الأشعّة فوق البنفسجية في ضوء الشّمس على الزّجاج، يحدث الرّنين عندما تتعاظم الموجة باتساع كبير لاهتزاز الإلكترون مثلما يزداد الاتساع في الأرجوحة عند دفع شخص بتردد الرّنين. ويمكن أن تحتفظ الذرات الرّنانة في الزّجاج بطاقة الضّوء فوق البنفسجيّ مدة طويلة من الزّمن تقدّر بنحو 100 جزء من مليون جزء من الثانية. خلال هذا الزمن، تتعرض الذرة لمليون اهتزاز تقريبًا، ثمّ تصطدم مع ذرات أخرى، وتحول الطّاقة الممتصة إلى طاقة حراريّة. وهكذا يصبح الزّجاج غير شفاف لفوق البنفسجيّ. إنّ الزّجاج يمتص الضّوء فوق البنفسجي.

* بالطبع، لا ترتبط الإلكترونات حقيقة بزنبركات. سنعرض تصور "نموذج الزنبرك" للذرة هنا لمساعدتنا على فهم تفاعل الضّوء مع المادة. تكمن قيمة هذا النموذج ليس فيما إذا كان "صحيحًا" بل في أنه "مفيد" - في تفسير المشاهدات والتنبؤ بأخرى. هذا النموذج المبسط الذي نعرضه هنا (تهتز إلكترونات الذرة كما لو أنها زنبركات بفترة زمنية بين امتصاص الطّاقة وإعادة إطلاقها) مفيد جدًا لفهم كيفية مرور الضّوء من خلال المواد الشّفّافة.

الشّكل 6.11

تبدأ موجة الضّوء السّاقط على لوح زجاج بهزّ الجزيئات منتجة سلسلة من الامتصاصات وإعادة البثّ، والتي تمرّر طاقة الموجة عبر المادة إلى الجهة الأخرى. وبسبب التّأخّر بين الامتصاص والبث في المادة، ينتقل الضّوء ببطء أكثر في المادة منه عبر الفضاء الفارغ.



لمعلوماتك

- **تكون المواد مثل الزّجاج شفافة للمخلوقات التي ترى الجزء "المرئيّ" من الطّيف. أمّا المخلوقات الأخرى التي لها القدرة على الرؤية لمدى ترددات مختلفة فإنّها ترى الزّجاج معتمًا والمواد الأخرى شفافةً.**

الشّكل 7.11

عند إطلاق الكرة المرتفعة واصطدامها بالأخريات، فإنّ الكرة التي تنطلق من الجانب الآخر ليست الكرة نفسها التي بدأت بنقل الطّاقة. وبالمثل، فإنّ كلّ فوتون يخرج من لوح زجاج ليس الفوتون نفسه الذي سقط على اللوح. يختلف كلّ من الكرة المنطلقة والفوتون المنبعث عن الكرة والفوتون السّاقطين مع أنّ الكرتين متماثلتان، كما أنّ الفوتونين متماثلان كذلك.

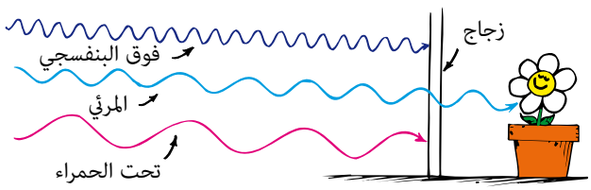
وعند ترددات موجية أقلّ، مثل ترددات الضّوء المرئيّ، تجبر الإلكترونات في الزّجاج على الاهتزاز باتساعات منخفضة. تحتفظ الذرات أو الجزيئات في الزّجاج بالطّاقة لزمن أقلّ، مع فرص قليلة للاصطدام مع الذرات أو الجزيئات المجاورة. وهناك القليل من الطّاقة التي تتحول إلى أخرى حراريّة. ويعاد إطلاق طاقة الإلكترونات المهتزة كضوء. ويصبح الزّجاج شفافًا لترددات الضّوء المرئيّ جميعها. يكون تردُّد الضّوء المنطلق من جزيء إلى جزيء آخر مماثلًا لتردد الضّوء الأصلي الذي أنتج الاهتزازات. ولكن يكون هناك زمن قليل يحدث فيه تأخير بين الامتصاص وإعادة الإطلاق.

يقلّل زمن التّأخير هذا معدّل سرعة انتقال الضّوء خلال المادة (الشّكل 6.11). ينتقل الضّوء ذو الترددات المختلفة بمعدل سرعات مختلفة. ونقول معدل سرعات لأنّ سرعة الضّوء في الفراغ 300,000 كيلو متر لكلّ ثانية. وتسمى هذه سرعة الضّوء *c. إنّ سرعة الضّوء في الهواء أقلّ قليلا من سرعتها في الفراغ، وعادة ما تقترب من *c*. ينتقل الضّوء، في الماء بنحو 75% من سرعته في الفراغ أو (0.75c). كما أنّ الضّوء ينتقل حتى بأقلّ من هذه السّرعة في بلورة كربيد السّليكون المسماة *الكاربورندوم (Carborundum)* (مادة شديدة الصلابة) عندما ينفذ من هذه المادة إلى الهواء. فهو ينتقل بسرعته الأصلية في هذه الحالة.**

إنّ الموجات تحت الحمراء، والتي لها ترددات أقلّ من تلك التي للضّوء المرئيّ تهزّ الجزيئات كلّها التي يتكوّن منها الزّجاج. وتتكون منها مواد عديدة أخرى وليس فقط الإلكترونات. تزيد هذه الاهتزازات الجزيئية الطّاقة الحراريّة ودرجة حرارة المواد. ولهذا السبب تسمّى الأمواجُ تحت الحمراء الأمواجَ الحراريّة. إنّ الزّجاج شفّاف للضّوء المرئيّ، ولكنه ليس شفّافًا للضّوء فوق البنفسجيّ أو تحت الحمراء.

الشّكل 8.11

يحجب الزّجاج الصّافي كلًّا من تحت الحمراء والبنفسجيّ، ولكنه شفّاف لترددات الضّوء المرئيّ جميعها.



* القيمة المقبولة هي 299,792 كم/ث، والتي غالبًا ما تُجبر إلى 300,000 كم/ث. (تقابل 186,000 ميل/ث).

■ **نقطة فحص**

1. لماذا يكون الزّجاج شفّافًا للضّوء المرئيّ ومعتمًا للضّوء فوق البنفسجيّ وتحت الحمراء؟
2. تظاهر في أثناء حضورك لحفل اجتماعي، أنك قمت بعدة وقفات لحظيّة لتحية أناس يمشون على نمط" موجتك" نفسها. كيف تتشابه هذه الحركة مع انتقال الضّوء خلال الزّجاج؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنّ التّردّد الطّبيعيّ لاهتزازات الإلكترونات في الزّجاج هي ترددات الضّوء فوق البنفسجي نفسها. وعليه، يحدث الرّنين في الزّجاج عندما يضاء الزّجاج بالأمواج فوق البنفسجية. تنتقل الطّاقة الممتصة للذرات الأخرى على هيئة حرارة، ولا يعاد إطلاقها على هيئة ضوء. ولهذا، فالزّجاج غير شفاف للترددات فوق البنفسجية في مدى الضّوء المرئيّ. تحدث الاهتزازات القسريّة للإلكترونات عند اتساعات صغيرة، وتكون الاهتزازات أكثر دقة، ويحدث إعادة إطلاق الضّوء بدلًا من توليد الحرارة. لذا، يكون الزّجاج شفافًا، ويجعل الضّوء ذا الترددات تحت الحمراء كامل الجزيء يهتزّ، بل يحدث رنين الإلكترونات. مرة أخرى، تتولد الحرارة ويكون الزّجاج غير شفاف.
2. يكون معدل سرعتك عبر الغرفة أقلّ، وذلك يؤخّر الزّمن المتعلق بوقفاتك اللحظية. وبالمثل، تكون سرعة الضّوء في الزّجاج أقلّ بسبب تأخّر الوقت في التّفاعل مع الذرات عبر المسار الذي تسلكه.

لمعلوماتك

■ لقد كان الفلكيّ الدنمركيّ أولي رويمر Ole Roemer، أول شخص يلاحظ التأخر في انتقال الضّوء، حيث رأى في عام 1675م أثر محدوديّة سرعة الضّوء "بعينه" بخسوف أحد أقمار المشتري بسبب زيادة المسافة بين الأرض والمشتري في مدى ستة أشهر. وبعد 300 سنة، أي في عام 1969م، عندما أظهر التّلفاز روّاد الفضاء عند نزولهم على سطح القمر، شاهد الملايين من الناس تأخير الزّمن في المحادثات (بسرعة الضّوء) بينهم وبين محطة السّيطرة على الأرض. لقد لاحظوا أثر السّرعة المحدودة للموجات الكهرومغناطيسيّة "بآذانهم".

إنّ معظم المواد من حولنا **معتمة**؛ **أي أنّها** تمتص الضّوء دون إعادة إشعاعه. وكلّ من المقاعد، والمكاتب، والناس معتم. تُحوّل طاقة الاهتزازات الناجمة عن سقوط الضّوء على ذرات المواد إلى طاقة حركية عشوائية؛ أي إلى طاقة حراريّة. وتصبح المادة ساخنة قليلا.

إنّ الفلزات معتمة للضّوء المرئيّ. لا ترتبط الإلكترونات الخارجية في ذرات الفلزات بذرة معينة، وهي حرة الحركة تقريبًا، وتتحرك خلال المادة جميعها (لهذا السّبب؛ الفلزات والحرارة موصلات للكهرباء). عند سقوط الضّوء على الفلزّ وبدء اهتزاز الإلكترونات الحرة، فإنّ طاقة هذه الاهتزازات لا ترتد بشكل زنبركيّ من ذرة إلى أخرى في المادة. إنها تنعكس. ولهذا تكون الفلزات لامعة.

إنّ الغلافَ الجويّ للأرض شفّافٌ لبعض الضّوء فوق البنفسجيّ، وكذلك للضّوء المرئيّ كلّه، ولبعض ضوء تحت الحمراء أيضًا، ولكنه غير شفّاف للضّوء فوق البنفسجيّ العالي التّردّد. وتسبب كميةُ الضّوء القليلة من فوق البنفسجيّ الحروقَ الشّمسيّة. فلو اخترق الضّوءُ فوق البنفسجيّ جميعه الغلافَ الجويّ فسنصبح كرقائق البطاطس المقلية. تكون الغيوم شبه نفاذة للضّوء فوق البنفسجي. ولهذا، يمكن أن تصاب بحروق شمسيّة في يوم غائم. إنّ الضّوء فوق البنفسجيّ مؤذ لجلدك، كما أنّه يحطم السّقوف المطلية بالقطران. لذا، فإنّك تعرف الآن سبب تغطية السّطوح بالحصباء.

هل لاحظت أنّ الأشياء تكون معتمة عندما تكون مبلولة أكثر مما لو كانت جافة؟ عندما يسقط الضّوء على سطح جاف، كالرمل مثلًا، فإنه يرتد مباشرة إلى عينيك. ولكن الضّوء السّاقط على سطح مبتل يرتد حول المناطق الشّفّافة المبتلة وداخلها قبل أن يصل إليهما. ماذا يحدث في كلّ ارتداد؟ إنّ ما يحدث هو امتصاص. وهكذا، فإنّ الرّمل والأشياء الأخرى المبلّلة تبدو معتمة.

الشّكل 9.11

تلمع الفلزّات لأنّ الضّوء الذي يشعّ عليها يجبر الإلكترونات الحرة على الاهتزاز، والتي بدورها تبث "أمواجها" الضّوئيّة كانعكاس.

■ **نقطة فحص**

ما الاحتمالان لضوء ساقط ولا يمتص؟

هل كانت هذه إجابتك؟

النفاذ و/أو الانعكاس. معظم الضّوء السّاقط على لوح من الزّجاج، مثلًا، ينفذ من خلال اللوح، ولكن بعضه ينعكس عن سطحه.

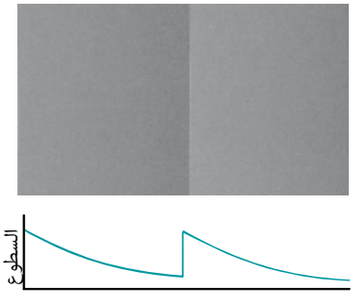
لمعلوماتك

يمتصّ الجلد الدّاكن أو الأسود الإشعاعات فوق البنفسجية قبل أن تخترق الجلد إلى أعماق أكثر. أمّا في الجلد الفاتح فإنّها تنتقل إلى أعمق من ذلك. يمكن أن يصبح الجلد الفاتح برونزيًّا عند تعرضه لأشعة فوق بنفسجية، مما يوفر حماية لمزيد من التعرض. أضف إلى هذا أنّ الإشعاعات فوق البنفسجية ضارة للعيون أيضًا.

العمى الجانبيّ

يمكن للعين البشرية أن تفعل ما لا تستطيع أيّ آلة تصوير فعله: فيمكنها تحديد درجات السّطوع من مدى 1-500 مليون. فمثلًا، الفرق في درجة السّطوع بين الشّمس والقمر هي مليون إلى واحد. ولكن بسبب الأثر المسمى العمى الجانبيّ، فإنّنا لا نرى الفرق الحقيقيّ في السّطوع. تمنع مواقع السّطوع البراقة في مجالنا البصري من جعل المواقع الباقية ساطعة أيضًا، لأنه عندما ترسل خلايا الاستقبال في شبكيتنا إشارة ساطعة قوية إلى المخّ، فإنّها ترسل إشارة أخرى لتصنّف استجاباتها. وبهذه الطريقة فإنّنا نزيل التّساوي في مجالنا البصريّ الذي يسمح لنا بتمييز التفاصيل بين المناطق السّاطعة جدًّا من جهة والمناطق المظلمة من جهة أخرى.

إنّ العمى الجانبيّ يزيد من فروق السّطوع في المواقع الحدّيّة في مجالنا البصريّ. وهذه الحدود تفصل بين شيء وآخر. وعليه، فإنّنا نظهر الفروق بدلا من التشابهات. وهذا موضح في المستطيلين المظللين إلى اليسار. هذان المستطيلان يظهران مختلفَيْن في السّطوع بسبب وجود حدّ يفصلهما. ولكن إذا حجبت الحدّ بقلم أو بإصبعك، فسيظهران بالسّطوع نفسه. جرّب هذا الآن؛ لأنّ كلًّا منهما لهما السّطوع نفسه. كلا المستطيلين مظلَّل من الفاتح إلى الغامق، من اليسار إلى اليمين. إنّ أعيننا تركز على الجدار الفاصل الذي يصل بين الحدّ المظلم من يسار المستطيل الغامق و يمينه. ولهذا، فإنّ نظام العين-المخّ عندنا يفترض أنّ تتمة المستطيل هو نفسه؛ نحن نهتم



بالحدّ ونتجاهل الباقي.

سؤال للتفكير: هل تشبه الطريقةُ التي تميز بها العين الحدود، وتعمل الفرضيات حول الأسباب وما بعدها - الطريقةَ التي نحكم بها على ثقافات الشعوب الأخرى؟ ألا نبالغ بهذه الطريقة بالفروق والاختلافات الهامشية السّطحية ونتجاهل التشابه والفروق الدقيقة الخفية فيها؟

3.11 الانعكاس

عند إضاءة هذه الصفحة سواء بضوء الشّمس أو ضوء مصباح، تبدأ إلكترونات ذرات هذه الصفحة الاهتزاز، وتعيد الإلكتروناتُ التي اكتسبت طاقة بث الضّوء الذي نرى به هذه الصفحة. يتعرض الضّوء **للانعكاس** (التسمية المناسبة انعكاس المرآة) عند إضاءة الصفحة بالضّوء الأبيض، فإنها تظهر بيضاء لأنّ الإلكترونات تبثّ الترددات المرئيّة جميعها، وتعكس الضّوء كلّه. ويحدث القليل من الامتصاص. أما الحبر على الورقة، فموضوع آخر، إنّه يمتص الترددات المرئيّة جميعها، ما عدا القليل من الانعكاس. ولهذا يظهر بلون أسود.

قانون الانعكاس (Law of Reflection)

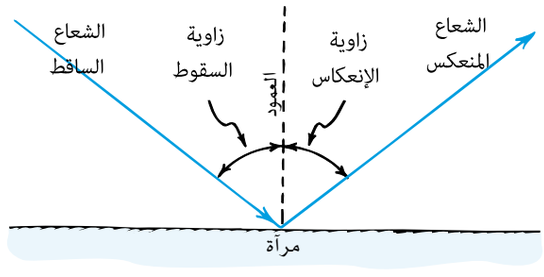
أيّ شخص يلعب البلياردو يعرف أنه عند ارتداد الكرة عن السّطح فإنّ زاوية السّقوط تساوي زاوية الارتداد. وينطبق هذا على الضّوء تمامًا؛ هذا هو قانون الانعكاس، وهو صحيح للزوايا كلّها.

زاويتا الانعكاس والسقوط متساويتان.

يوضح الشّكل 10.11 قانون الانعكاس؛ حيث تمثل الأسهم الأشعّة الضّوئيّة. وتقاس زوايا كلّ من السّقوط والإشعاعات المنعكسة عن سطح الانعكاس عادة من الخطّ العمودي للسّطح العاكس. ويسمّى هذا الخطُّ الوهميّ العمودَ. ويقع كلّ من الشّعاع السّاقط، والعمود المقام، والشّعاع المنعكس في مستوى واحد.

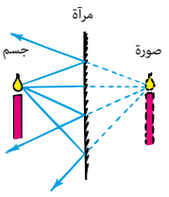
إذا وضعت شمعة أمام مرآة، فإنّ إشعاعات الضّوء تصدر عن اللهب في الاتجاهات كلها. يبيّن الشّكل 11.11 أربعة أشعّة من العدد اللامتناهي منها، والتي تصدر عن عدد لا نهائيّ من نقاط الشّمعة.

الشّكل 10.11
قانون الانعكاس.



عندما تصل هذه الأشعّة إلى المرآة، فإنّها تنعكس بزوايا تساوي زوايا سقوطها. تتفرق أشعّة اللهب. كما أنها تتفرق أيضًا عند انعكاسها عن المرآة. تبدو الأشعّة المتفرقة وكأنها منبعثة من نقطة خلف المرآة (الخطوط المتقطعة) وترى صورة الشمعة عند تلك النقطة. في الحقيقة، أشعّة الضّوء لا تأتي من تلك النقطة. ولذلك، تسمّى هذه النقطة الصورة الكاذبة. يبعد هذا الظل عن المرآة إلى جهة الخلف بمقدار بُعد الجسم عنها من الأمام، ويكون للصورة والجسم الحجم نفسه، ما دامت كانت المرآة مسطحة. ويطلق على هذه المرآة المسطّحة *المرآة المستويّة*.

عندما تكون المرآة منحنية فإنّ أحجام الأجسام وأبعادها لا تكون مساوية لأحجام الصور وأبعادها. لن ندرس المرايا المنحنية في هذا المقرر. ما عدا القول إنّ المرآة المنحنية تسلك سلوك مرايا مستوية متتابعة، كل واحدة لها اتجاه زاويّ مختلف قليلًا عن تلك التي بعدها. وتكون زاوية السّقوط مساوية لزاوية الانعكاس عند كلّ نقطة (الشّكل 13.11). لاحظ أنّ الخطوط العمودية عند نقاط مختلفة على السّطح لا تكون بعضها موازية لبعض في المرآة المنحنية، على عكس المرآة المستوية. (تظهر الخطوط العموديّة كخطوط سوداء متقطعة).

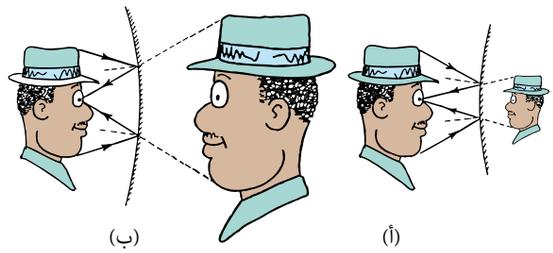


الشّكل 11.11
تتكوّن الصّورة الخياليّة خلف المرآة، وتقع في موضع التقاء امتدادات الأشعّة المنعكسة (الخطوط المتقطّعة).

الشّكل 12.11
يكون بعد صورة مارجوري Marjorie خلف المرآة مساويًا لبعدها من أمامها. لاحظ أنّ لون ملابسها لم يتغيّر، ويعدّ هذا دليلًا على أنّ الانعكاس لا يغيّر التّردّد. ومن المثير للاهتمام، أنّ محورها يسار – يمين لم يتغير مثل محور أعلى – أسفل. المحور الذي انعكس هو المقدمة – الخلف، كما هو مبين عن اليمين. ولهذا تبدو يدها اليسرى مقابل يدها اليمنى في الصورة.

وسواء أكانت المرآة مستوية أم منحنية، فإنّ نظام العين - المخّ لا يستطيع التمييز بين الجسم وصورته المنعكسة. ولهذا فإنّ خداع وجود الصّورة خلف المرآة (أو في بعض الحالات، أمام المرآة المحدبة) هو بسبب حقيقة أنّ الضّوء يسقط من الجسم على العين بالطريقة نفسها تمامًا. فيزيائيًّا، يسقط الضّوء كما لو أنّ الجسم حقيقة في مكان الصورة.

تكون صورتك خلف المرآة المستوية كما لو أنّ توأمك قد وقف خلف لوح زجاج صافٍ على مسافة خلف اللوح بمقدار ما أنت عليه من أمامه.



الشّكل 13.11
أ- تكون الصورة الخيالية في المرآة المحدبة (المرآة التي يكون انحناؤها نحو (الخارج) مصغرة وقريبة من المرآة أكثر من الجسم. ب- عندما يكون الجسم قريبًا من المرآة المقعرة (المرآة التي يكون انحناؤها إلى الداخل مثل «كهف») تكون الصورة خيالية مكبرة وبعيدة عن الجسم. وينطبق قانونا الانعكاس في الحالات كلّها.

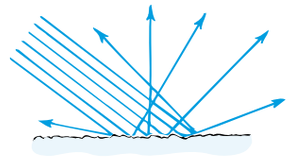
■ نقطة فحص

إذا كنت تريد التقاط صورة لظلك عندما تقف على بعد 5 أمتار أمام مرآة مستوية، فعلى أي بُعْدٍ تضع الكاميرا (آلة التصوير) لتحصل على أكبر تركيز؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ضع المسافة على بعد 10 أمتار، أي المسافة بين الكاميرا وصورتك.

ينعكس جزء فقط من الضَّوء الذي يسقط على السّطح . فمثلًا، عن سطح زجاجيّ شفاف نظيف ونقيّ، فإنّ الضَّوء السّاقط عموديًا على السّطح ينعكس منه 4% فقط عن كلّ سطح. في حين ينعكس نحو 90% من الضَّوء السّاقط على سطح مصقول ونظيف من الألومنيوم أو الفضة.



الشّكل 14.11
الانعكاس غير المنتظم. على الرّغم من أنَّ انعكاس كلّ شعاع مفرد يخضع لقانون الانعكاس، فإنّ العديد من زوايا السّطح المختلفة التي تتعرض لها أشعّة الضَّوء عند سقوطها على سطح خشن تنتج انعكاسات في العديد من الاتجاهات.

الانعكاس غير المنتظم (Diffuse Reflection)

الشّكل 15.11
صحن شبكة الأسلاك مفتوح على شكل قطع مكافئ هو عاكس غير منتظم لأمواج الضَّوء القصيرة، ولكنه عاكس مصقول للأمواج الرّاديويّة الطويلة.

ومقابل الانعكاس المنتظم هناك انعكاس غير منتظم يحدث عند سقوط الضَّوء على سطح خشن. وينعكس في الاتجاهات جميعها (الشّكل 14.11). إذا كان السّطح أملس، والمسافات بين الارتفاعات المتتالية أقلّ من ($\frac{1}{8}$) طول موجة الضَّوء السّاقط. فهناك فرصة ضئيلة للانعكاس غير المنتظم. ويقال إنّ السّطح مصقول. وعلى هذا يمكن أن يكون السّطح مصقولًا للإشعاعات ذات الأمواج الطويلة، وخشنًا للإشعاعات ذات الأمواج القصيرة. إنّ "صحن" شبكة الأسلاك المبين في الشّكل 15.11 خشن جدًّا للضَّوء المرئيّ ولا يشبه المرآة. ولكنه في الوقت نفسه مصقول وعاكس ممتاز للأمواج الرّاديويّة الطويلة الموجة.

إنّ انعكاس الضَّوء عن هذه الصفحة هو انعكاس غير منتظم. وقد تكون هذه الصفحة ملساء لأمواج الراديو، ولكنها خشنة لأمواج الضَّوء. إنّ الملاسة شيء نسبي لأطوال موجات الإشعاعات المضيئة. تتعرض إشعاعات الضَّوء السّاقطة على هذه الصفحة إلى الملايين من السّطوح المنبسطة في الاتجاهات كلّها. ولهذا فإنّ الضَّوء السّاقط ينعكس في الاتجاهات جميعها. وهذا مفيد؛ لأنه يمكّننا من رؤية هذه الصفحة وأشياء أخرى، من اتجاهات ومواقع مختلفة. فمثلًا، تستطيع أن ترى الطريق أمام سيارتك في الليل بسبب الانعكاس غير المنتظم عن سطح الطريق الخشن. ولكن عندما تكون الطريق مبتلة فستكون ملساء أكثر، ويكون الانعكاس غير المنتظم ضئيلًا، ويتدنى مستوى الرؤية. إننا نرى معظم ما في بيئتنا نتيجة الانعكاس غير المنتظم.

الشّكل 16.11
منظر مكبر لسطح ورقة عادية.

■ 4.11 الانكسار

كما تعلمنا من البند 2.11، يتباطأ الضَّوء عندما يخترق الزّجاج، وينتقل بسرعات مختلفة في المواد المختلفة*. إنه ينتقل بسرعة 300,000 كم/ث في الفراغ، وبسرعة أقلّ قليلًا في الهواء، في حين ينتقل بنحو ثلاثة أرباع هذه السّرعة في الماء. ويحدث انحناء للضَّوء ما لم يكن سقوطه عموديًّا على سطح الاختراق، وتسمى هذه الظاهرة الانكسار

لفهم أفضل لانحناء الضَّوء في أثناء الانكسار؛ انظر إلى زوج عجلات اللعبة المبينة في الشّكل17.11. يتدحرج الزّوج من جانب الممر الأملس إلى المرج الأخضر. إذا التقى الزّوج بالمرج عند زاوية، كما يبين الشّكل، فسينحرف عن طريق الخطّ المستقيم.

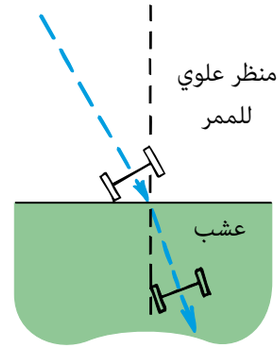
* يعبر عن الاختلاف بين سرعة الضَّوء في الفراغ وسرعته في المواد بمعامل الانكسار للمادة (n):

n = سرعة الضَّوء في الفراغ / سرعة الضَّوء في المادة

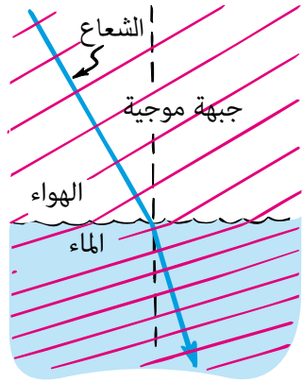
مثلًا، تبلغ سرعة الضَّوء في الماس 124,000 كم/ث. وعليه، يساوي معامل الانكسار للماس (n)

$$n = \frac{300{,}000}{124{,}000} = 2.42$$

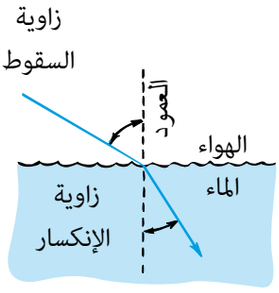
في حين يساوي معامل الانكسار للفراغ 1.



الشّكل 17.11
يتغير اتجاه انزلاق العجلتين عندما تتباطأ عجلة قبل أن تتباطأ الأخرى.



الشّكل 18.11
يتغير اتجاه موجات الضّوء عندما يتباطأ جزء من الموجة قبل أن يتباطأ الجزء الآخر.



الشّكل 19.11
الانكسار. ترتبط زاويتا السّقوط والانكسار بقانون سنل (Snell's Law)(انظر الملحوظة).

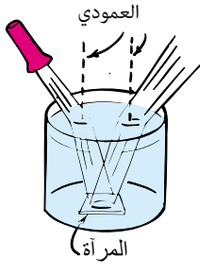
لاحظ أنّ العجلة على الجانب الأيسر تتباطأ أوّلًا عند تفاعلها مع العشب على المرج. في حين تحافظ العجلة اليمنى على سرعتها العالية وهي على الممر. يتمحور التدحرج حول العجلة اليسرى لأنّه يكون في الاتجاه نفسه. وهكذا، فإنّ اتجاه تدحرج العجلتين ينحني في اتجاه عموديّ. وهو الخط الأسود المتقطع العموديّ على كلّ من حدود العشب والممر في الشّكل 17.11.

يبين الشّكل 18.11 كيف تنحني موجه الضّوء بطريقة مماثلة. لاحظ اتجاه الضّوء المشار إليه بالسهم الأزرق (شعاع الضّوء). ولاحظ أيضًا *الجبهة الموجية* المرسومة بزاوية قائمة على الشعاع. (إذا كان مصدر الضّوء قريبًا فستبدو الجبهة الموجية دائرية. ولكن إذا كان بعد المصدر كبعد الشّمس، فستكون الجبهات الموجية عمليًا خطوطًا مستقيمة). تكون الجبهات الموجية عمودية دائمًا على أشعّة الضّوء. إن انحناء الموجة (صوت أم ضوء) هو نتيجة تغير السّرعة*.

يبيّن الشّكل 20.11 حزمة من الضّوء تدخل الماء إلى اليسار وتخرج من اليمين. سيكون المسار هو نفسه لو أنّ الضّوء دخل من جهة اليمين وخرج من جهة اليسار. إنّ مسارات الضّوء تكون معكوسة لكلّ من الانكسار والانعكاس. إذا رأيت عيني أحدهم بجهاز انعكاسيّ أو انكساري، مثل المرآة أو المنشور، أمكن لذلك الشخص أن يراك أيضًا بالطريقة نفسها. (إلا إذا كان الجهاز الضوئيّ يعمل في اتجاه واحد).

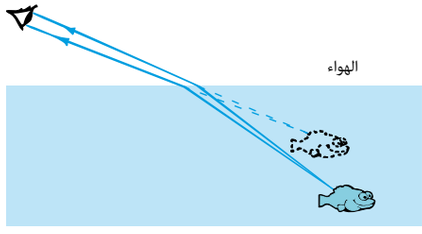
يتسبب الانكسار في العديد من الأوهام؛ كظهور العصا منحنية عندما تكون مغمورة جزئيًّا في الماء. يظهر الجزء المغمور أقرب إلى السّطح مما هو عليه في الحقيقة. والشيء نفسه يحدث عندما تنظر إلى سمكة في الماء. تظهر السّمكة بجوار السّطح وأقرب مما هي عليه في الحقيقة (الشّكل 21.11). إذا نظرنا مباشرة إلى أسفل في الماء، فسيبدو الجزء المغمور على عمق 4 أمتار تحت سطح الماء، وكأنه على عمق 3 أمتار بسبب الانكسار. كما أنّ الأجسام المغمورة تبدو مكبرة.

يكون شعاع الضّوء دائمًا على زاوية قائمة مع جبهته الموجية.



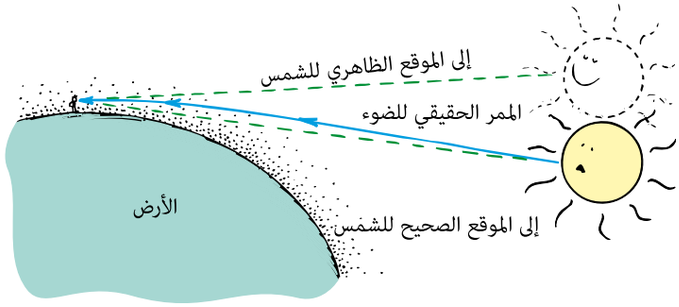
الشّكل 20.11
عندما يتباطأ الضّوء بانتقاله من وسط إلى آخر، كما يفعل عند انتقاله من الهواء إلى الماء، فإنّه يميل نحو العموديّ، ولكن عندما تزداد سرعته عند انتقاله من وسط إلى آخر، كانتقاله من الماء إلى الهواء، فإنّه يميل بعيدًا عن العموديّ.

على الرّغم من أنّ سرعة الموجة وطولها يتغيران عند تعرضهما للانكسار فإنّ التردد يبقى ثابتًا. لا يغير الانكسار لون الضّوء.



الشّكل 21.11
بسبب الانكسار، يبدو الجسم المغمور أقرب إلى السّطح مما هو عليه في الواقع.

* يدعى قانونُ الانكسار قانونَ سنل: نسبة إلى العالم الفلكي الرياضي الدانمركي ويلبرود سنل Willebrord Snell الذي عاش في القرن السّابع عشر: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ حيث n_1 و n_2 معاملا الانكسار للوسطين على جانبي السّطح. أمّا θ_1 و θ_2 فهما زاويتا السّقوط والانكسار على الترتيب. إذا علمت مقادير ثلاثة من هذه المتغيرات، أمكنك حساب مقدار المتغير الرابع من هذه العلاقة. للتفسير الموجي للانكسار (والحيود) اقرأ عن مبدأ هايجنز *Huygens* ص558 – 560، الفيزياء المفاهيمية – الطبعة العاشرة (*Conceptual Physics – 10th edition*).



الشّكل 22.11
بسبب الانكسار في الغلاف الجوي، تبدو الشّمس أعلى في السّماء عندما تكون بالقرب من الأفق .

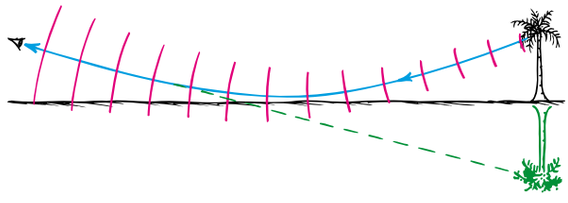
الشّكل 23.11
تتشوه الشّمس بالانكسار التفاضلي.

من الروائع العديدة للفيزياء حمرة الخسوف التام للقمر، الناجمة عن غروب الشّمس التي تحيط بالعالم وشروقها. إنّ هذا الانكسار يضيء القمر، ولولاه لكان القمر مظلمًا.

يحدث الانكسار في الغلاف الجويّ الأرضيّ. كلما راقبنا غروب الشّمس نرى الشّمس لعدة دقائق قبل أن تغيب تحت الأفق (الشّكل 22.11). يكون الغلاف الجويّ خفيفًا في الأعلى وكثيفًا في الأسفل. وبسبب انتقال الضّوء بسرعة أكبر في الهواء الخفيف من انتقاله في الهواء الكثيف فإنّ جزءا من الجبهات الموجية لضوء الشّمس تنتقل أسرع عند ارتفاعات عليا من الأجزاء القريبة من الأرض. تنحني أشعّة الضّوء بتغير كثافة الغلاف الجوي تدريجيًّا. ومن ثم تنحني أشعّة الضّوء تدريجيًّا وتتبع مسارًا منحنيًا أي. نكسب دقائق إضافية من النهار كلّ يوم. زد على ذلك. عندما تكون الشّمس أو القمر بالقرب من الأفق. وتنحني الأشعّة من الجانب السّفليّ أكثر من الأشعّة من الجانب العلويّ. فهذا ينقص القطر العمودي. وتبدو الشّمس بشكل إهليلجيّ (الشّكل 23.11).

يحدث السّراب عندما يبدو الضّوء المنكسر كضوء منعكس. إنّه منظر مألوف في الصحراء. عندما يبدو فوق خطّ البصر وكأنه انعكاس عن الماء من الرمال البعيدة. ولكن عندما تقترب مما بدا لك ماء تراه رملًا جافًّا. فما الذي حدث؟ يكون الهواء ساخنًا بالقرب من سطح الرمل. وباردًا أعلى منه. ينتقل الضّوء أسرع خلال الهواء الساخن الخفيف. بالقرب من سطح الرمل أكثر من انتقاله في الهواء البارد الكثيف الأعلى. ولهذا. فإنّ جبهات الموجة بالقرب من الأرض أسرع مما هي عليه فوق الرمل. وتكون النتيجة انحناء (الشعاع الضوئي) إلى الأعلى (الشّكل 24.11). وهكذا. نرى منظرًا مقلوبًا يبدو فيه وكأن انعكاسًا حدث على سطح الماء. نرى سرابًا يتكون من ضوء حقيقيّ ويمكن تصويره (الشّكل 25.11). السراب ليس حيلة عقلية كما يفكر العديد.

عندما ننظر إلى جسم فوق فرن ساخن أو فوق رصيف حار. نرى آثار وميض متموج. ويعزى هذا إلى اختلاف كثافة الهواء بسبب تغيرات في درجة الحرارة. تتلألأ النجوم من تغيرات متشابهة في السّماء. وعند مرور الضّوء من خلال الطبقات غير المستقرة في الغلاف الجويّ.

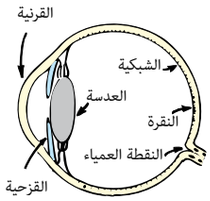


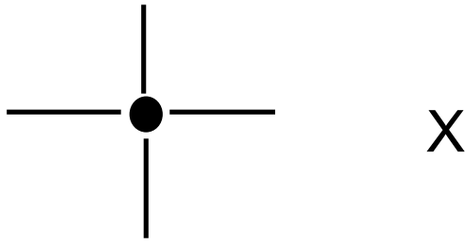
الشّكل 24.11
يكتسب الضّوءُ الصادر عن أعلى الشجرة في الهواء الساخن والأقلّ كثافة بالقرب من الأرض سرعةً. عندما يلامس الضّوء سطح الأرض ويميل إلى الأعلى، فسيرى الملاحظ سرابًا.

الشّكل 25.11
السّراب. ظهور الطّريق مبتلة ليس انعكاسًا للسماء من الماء، ولكنه انكسار ضوء السّماء خلال الهواء الساخن الأقلّ كثافة بالقرب من سطح الطّريق.

عيناك

مع التقنية الموجودة الآن كلّها، فإنّ أروع جهاز بصري معروف هو العينان. يدخل الضّوء من خلال القرنية، والتي تعمل نحو 70%من انحناءات الضّوء الضرورية قبل أن تمرره إلى البؤبؤ (الثقب، أو الفتحة في القزحية). ثم يمرّ الضّوء من خلال العدسة التي تزوده بقوة الميلان الإضافية اللازمة لتركيز الصورة للأجسام القريبة من الشّبكيّة الحسّاسة جدًّا. (حديثًا فقط تمّ تصنيع كواشف لها حساسية للضّوء أعلى من حساسية العين).





تظهر الصّورة في مجال النظر بعد خروجها من العين على الشّبكيّة.

كما أنّ هذه الشّبكيّة غير منتظمة. وتسمّى للنقطةُ التي في منتصفها النقرةَ (Fo-vea). وهي المنطقة التي تكون فيها الرؤية حادّة جدًّا. وفيها سترى تفاصيل أكثر من أيّ جزء في الشّبكيّة. إضافة إلى وجود نقطة أخرى على الشّبكيّة حيث تحمل الأعصاب المعلومات الخارجة من العين جميعها في طريقها إلى المخّ: هذه هي نقطتك العمياء. ويمكنك البرهنة أنّ لك نقطة عمياء في كلّ عين. ببساطة، ضع هذا الكتاب على طول ذراعك، أغلق عينك اليسرى، انظر إلى النقطة المدورة وإلى إشارة × عن يمينها، بعينك اليمنى فقط. الآن، حرك الكتاب ببطء نحو وجهك، مع بقاء عينك مثبتة على النقطة، وستصل إلى موقع من 20 – 25 سم من عينك حيث تختفي الإشارة × . كرر الآن العملية نفسها مع بقاء العين اليسرى مفتوحة، انظر الآن إلى الإشارة × وستختفي النقطة. ولكن، لاحظ أنّ مخّك يغطي على الخطوط المتقاطعة.

من المدهش أنّ مخك يغطّي المنظر المتوقع حتى مع بقاء إحدى العينين مغلقة بدلًا من عدم رؤية شيء. يغطي مخّك الخلفية المناسبة كثيرًا.

إذا كرّرت ما سبق على أجسام صغيرة بخلفيات مختلفة، فسترى ما هو غير موجود وليس ما هو موجودا فقط!

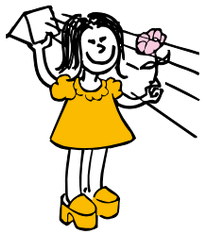
لا ترتبط مستقبلات الضّوء في شبكيتك مباشرة بالعصب البصريّ، ولكنها ترتبط مع العديد من الخلايا الأخرى. ومن خلال هذه الوصلات، تدمج كميات معينة من المعلومات وتحلل على الشّبكيّة. وبهذه الطريقة، تُعالَج المعلومات قبل إدخالها إلى العصب البصريّ، ومن ثمّ إلى الجسم الرّئيس للمخّ. وهكذا، فإنّ بعض أعمال المخّ تحدث في عينيك؛ من المدهش أن تقوم عيناك ببعض «تفكيرك».

نقطة فحص

إذا كانت سرعة الضّوء متماثلة في الهواء عند درجات حرارة وكثافات مختلفة، فهل يبقى النهار أطول قليلًا والنجوم متلألئة في الليل؟ وهل يبقى السّراب؟ وهل تبقى الشّمس منخفضة قليلًا عند الغروب؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا.



الشّكل 26.11

ينفصل ضوء الشّمس الذي يمرّ من خلال المنشور إلى طيف ملون. وتعتمد ألوان الأشياء على لون الضّوء الذي ينيرها.

5.11 اللون

لون الورد الجوريّ أحمر، ولون البنفسج أزرق. تأسر الألوان الفنانين وعلماء الطبيعة أيضًا. أما للعلماء، فإنّ ألوان الأجسام ليست في موادها نفسها، ولا حتى في الضّوء الذي ينبعث منها أو تعكسه. اللون هو خبرة فسيولوجية. وهو كما تراه عين الناظر. وهكذا، فعندما نقول إنّ لون الورد الجوريّ أحمر فإنّنا نعني بدقة أنه يظهر بلون أحمر. إنّ العديد من الكائنات الحية ومنها الناس لديهم رؤية مشوّهة للون (عمى الألوان) أي أنّها لا ترى الورد الجوري أحمر اللون.

تُدرك التّرددات المختلفة للضّوء كألوان مختلفة. إنّ أقلّ تردد يراه معظم الناس هو اللون الأحمر، وأعلى تردد يظهر أنّ معظم الناس تراه هو البنفسجيّ، وبينهما عدد غير متناهٍ من تدرجات الألوان.

الألوان التي تشكّل الطّيف الذي اتفق على تصنيف درجاته إلى سبعة ألوان هي: الأحمر، والبرتقالي، والأصفر، والأخضر، والأزرق، والنيلي، والبنفسجي. وإذا مزجت هذه الألوان معًا فستبدو بيضاء. إنّ اللون الأبيض من الشّمس هو لون مركب من الترددات المرئيّة جميعها.

إنّ معظم الأجسام من حولنا تعكس الضّوء بدل إطلاقه. ما عدا مصادر الضّوء مثل الشّمع، والليزر، أو أنابيب الغازات المفرغة، إنها تعكس جزءًا من الضّوء السّاقط عليها. إنّه الجزء الذي يعطيها لونها.

الانعكاس الانتقائيّ (Selective Reflection)

إنّ الورد الجوريّ لا يطلق الضّوء، بل يعكسه. وإذا مرّرنا ضوء الشّمس خلال منشور، ثم وضعنا بتلة الجوريّ الأحمر الغامق في عدة مناطق من الطّيف، فستظهر البتلة بلون بنّيّ أو أسود في مناطق الطّيف جميعها، ما عدا المنطقة الحمراء. وفي الجزء الأحمر من الطّيف تبدو البتلة حمراء، ولكن السّاق والأوراق الخضراء تبدو سوداء اللون. وهذا يبيّن أنّ للبتلة مقدرة على عكس الضّوء الأحمر، ولكنها لا تستطيع عكس بقية الألوان. والأوراق الخضراء تعكس اللون الأخضر. وبالمثل، لا تستطيع عكس بقية الألوان. وعند تسليط ضوء أبيض على الجوريّ، تظهر البتلة حمراء والأوراق خضراء؛ لأنّ البتلة تعكس اللون الأحمر. أمّا الأوراق الخضراء فتعكس الجزء الأخضر من الضّوء الأبيض. ولمعرفة سبب عكس الأجسام ألوان ضوء محددة سنركز اهتمامنا على الذرة.

ينعكس الضّوء على الأجسام بطريقة تشبه "انعكاس" الصّوت من شوكة رنّانة. عندما نجعل شوكة رنانة تهتز عند وضعها قرب شوكة مهتزة. وقد تهتزّ الشّوكة الرّنّانة حتى عندما لا يتساوى الاهتزازان، على الرّغم من السّعات القليلة للاهتزاز. وينطبق الشيء نفسه على الذرات والجزيئات؛ فقد تجبر الإلكترونات على الاهتزاز من المجالات الكهربائية للموجات الكهرومغناطيسيّة. وعندما تبدأ الإلكترونات في الاهتزاز فإنّها تبدأ في إطلاق موجاتها الكهرومغناطيسيّة، كإطلاق الشّوكات الرّنانة الأمواج الصّوتيّة.

من المدهش أنّ بتلات معظم الأزهار الصفراء كالنرجسيات تعكس حزمة واسعة من الترددات. إنّ الألوان المنعكسة عن معظم الأجسام ليست ألوانًا نقية وحيدة التّردّد ولكنها مزيج من التّردّدات.

يمكن أن يعكس الجسم ترددات موجودة أصلًا في ضوء الإنارة فقط. يطلق المصباح المتوهج ضوءًا بمعدل تردد أقلّ من الترددات التي في ضوء الشّمس، معززًا رؤية الاحمرار بهذا الضّوء. وفي نسيج يوجد به قليل من اللون الأحمر، يكون هذا اللون أكثر ظهورًا تحت مصباح متوهج، أكثر مما لو كان تحت مصباح فلوريّ. يكون ضوء المصباح الفلوريّ أكثر توافرًا على التّرددات العالية، ومن ثم يتعزز اللون الأزرق بهذا الضّوء. إنّ كيفية ظهور اللون يعتمد على مصدر الضّوء (الشّكل 30.11).

النّفاذ الانتقائيّ (Selective Transmission)

يعتمد لون الجسم الشّفاف على لون الضّوء الذي ينفذ منه. يبدو لونُ قطعة زجاج حمراء أحمرَ لأنها تمتص ألوان الضّوء الأبيض جميعه ما عدا الأحمر، وهكذا ينفذ اللون الأحمر. وبطريقة مشابهة يظهر لونُ قطعة زجاج زرقاء أزرقَ لأنها تنفذ بشكل رئيس اللون الأزرق وتمتص الألوان الأخرى. تحتوي هذه القطع الزّجاجية على أصباغ (*Pigments*) وخضب؛ جسيمات دقيقة تمتص الضّوء انتقائيًّا عند ترددات معينة، وتنفذه انتقائيًّا عند ترددات أخرى. يُمتص بعض ترددات الضّوء من هذه الأصباغ. ويُعاد إطلاق الباقي من ذرة إلى أخرى في الزّجاج. إنّ طاقة الضّوء الممتص تزيد الطّاقة الحركية للذرات، ويسخن الزّجاج. لا يوجد لون للزجاج العادي لأنه ينفذ ترددات الضّوء المرئيّ جميعها بالتساوي.

الشّكل 27.11

■ يعكس المربع الأعلى الألوان التي تنيره جميعها. يكون أبيض اللون في ضوء الشّمس. وعندما ينار بضوء أزرق يظهر بلون أزرق. يمتص المربع الآخر الألوان المنيرة له جميعها. ويكون أسخن من المربع الأبيض عند تعرضهما لضوء الشّمس.

لمعلوماتك

■ يكون الكربون في العادة أسود اللون، ولكن ليس عند ارتباطه بالماء في الغذاء كالخبز والبطاطس. يُزال الماء عند تحميص الخبز أكثر من اللازم، ولهذا يكون الخبز المحمص المحروق أسود اللون.

الشّكل 28.11

يمتصّ الفرو الأسود للأرنب الطّاقة الإشعاعية السّاقطة من ضوء الشّمس جميعها، ولهذا، يبدو أسود اللون. أمّا الجزء الأبيض من الفرو فإنّه يعكس الضّوء للترددات جميعها، لذا، يبدو أبيض اللون.

ينتج اللون الأبيض عند مزج الألوان جميعها. أي أنّ اللون الأسود يعني غياب الألوان كلّها.

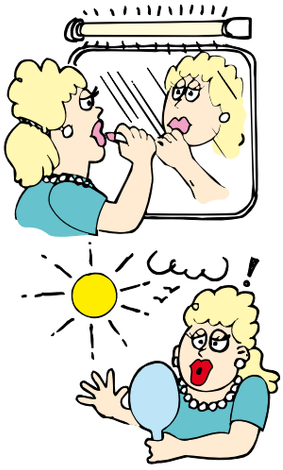
الشّكل 29.11
الطّاقة التي لها تردد الضّوء الأزرق هي التي تنفذ فقط. طاقة الترددات الأخرى، أو طاقة اللون المتمم الأصفر، تمتص وتسخن الزّجاج.

نقطة فحص

1. لماذا تصبح أوراق الورد الجوري أكثر سخونة من البتلات عند إضاءتها بالضّوء الأحمر؟
2. عند إضاءة البتلات بالضّوء الأخضر. لِمَ تظهر بتلات الجوري الأحمر سوداء اللون؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

1. تمتص الأوراق الضّوء الأحمر بدل عكسه. ولهذا تصبح الأوراق أسخن.
2. تمتص البتلات الضّوء الأخضر بدل عكسه. ولأنّ الأخضر هو اللون الوحيد الذي يضيء الجوري. ولا يحتوي على أيّ لون أحمر يعكسه. فإنّه لا يبقى هناك أي لون. لذا. تظهر البتلات بلون أسود.

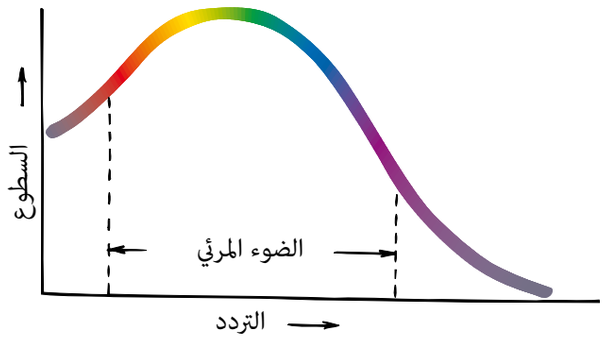


الشّكل 30.11
يعتمد اللون على مصدر الضّوء.

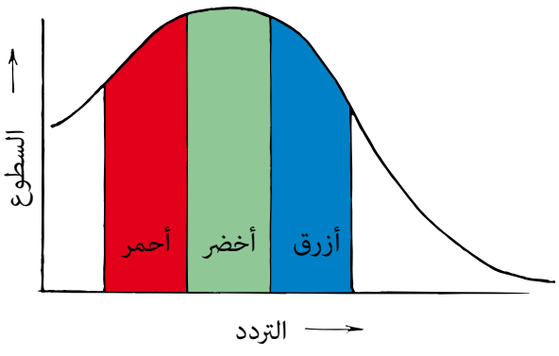
مزج ألوان الضّوء

يتحلّل الضّوء الأبيض بالمنشور إلى طيف ألوان قوس المطر. إنّ توزيع ضوء الشّمس غير متساو (الشّكل 31.11). ويكون الضّوء أكثر شدة في منطقة الجزء الأخضر من الطّيف. كم هو رائع أن أعيننا قد تطورت ليكون لها أعظم حساسية في هذا المدى! ولهذا يكون لون سيارة الإطفاء أصفر. ولون كرات التنس أخضر لكي نراهما بشكل أفضل.

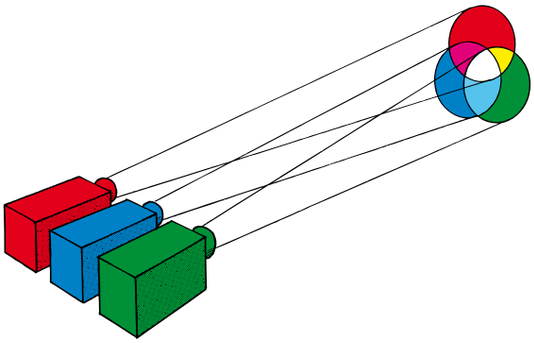
تمتزج الألوان جميعها لإنتاج اللون الأبيض. ومن المثير أن هذا اللون ينتج عن اتحاد كلّ من الضّوء الأحمر والأخضر والأزرق فقط. ويمكننا فهم ذلك بتقسيم منحنى إشعاع الشّمس إلى ثلاث مناطق. كما في الشّكل 32.11. توجد ثلاثة أنواع من المستقبلات بشكل مخروطي في العين. لإدراك اللون. يحفز كلّ نوع ترددات معينة من الضّوء: فالضّوء ذو الترددات المنخفضة المرئيّة ينبه المخروط الحساس للترددات المنخفضة فيظهر أحمر اللون. في حين ينبه الضّوء المتوسط الترددات المخروط الحساس للترددات المتوسطة فيظهر باللون الأخضر. أمّا الضّوء العالي الترددات فينبه المخروط الحساس للترددات العالية فيظهر أزرق اللون. وإذا نبّهت هذه المخاريط الثلاثة بالتساوي فسنرى اللون الأبيض.



الشّكل 31.11
منحنى إشعاع ضوء الشّمس هو رسم السّطوع مقابل التردد. تكون ذروة سطوع ضوء الشّمس في منطقة الأصفر – الأخضر، والتي هي في وسط المدى المرئيّ.



الشّكل 32.11
منحنى إشعاع ضوء الشّمس مقسم إلى ثلاث مناطق هي: الأحمر، والأخضر والأزرق. هذه هي الألوان الأولية المضافة.



الشّكل 33.11
إضافة اللون بمزج الأضواء الملونة. عند إشعاع الأضواء الأحمر والأخضر والأزرق من ثلاث آلات عرض على شاشة بيضاء، ينتج تداخل الأجزاء ألوانًا مختلفة. وينتج الأبيض عندما تتطابق الثلاثة.

من المثير ملاحظة أنّ "السّواد" الذي تراه من أكثر المشاهد ظلامًا على أنبوب التلفزيون هو ببساطة لون وجه الأنبوب نفسه، وعندما يضاء يكون رماديًّا أكثر من كونه أسود، ولكن بسبب حساسية أعيننا للمغايرة للأجزاء المضادة على الشّاشة فإنّنا نرى اللون الرّماديّ أسود.

أسقط كلًّا من اللون الأحمر والأخضر والأزرق على شاشة حيث تتداخل جميعًا لإنتاج اللون الأبيض. إذا تداخل لونان أو أضيفا فسينتج لون آخر. (الشّكل 33.11.) وإنْ أضفنا كميات مختلفة من الأحمر والأخضر والأزرق، فيمكننا عندئذ إنتاج أيّ لون في الطّيف. ولهذا، تسمى الألوانُ: الأحمر والأخضر والأزرق **الألوانَ الأساسية المضافة (Additive Primary Colors)**. إنّ الفحص عن قرب للصورة على معظم أنابيب التلفاز الملون يكشف أنّ الصورة هي تجميع لنقاط معينة صغيرة أبعادها أقلّ من ملمتر واحد. وعند إضاءة الشّاشة فإنّ بعض هذه النقاط تظهر حمراء، وبعضها الآخر خضراء، والآخر زرقاء، وينتج مزيج هذه الألوان الأساسية مدى واسعًا من الألوان عن بعد بالإضافة إلى اللون الأبيض.

الشّكل 34.11
تظهر كرة الجولف البيضاء بهذا اللون عندما تضاء بالأحمر والأخضر والأزرق بمقدارٍ متساوٍ. لماذا تظهر ظلال زرقاء داكنة وبنفسجية وصفراء؟

الألوان المتممة (Complementary Colors)

هذا ما يحدث عند اتحاد لونين أو ثلاثة من الألوان الأساسية المضافة:

أحمر + أزرق = أرجوانيًّا
أحمر + أخضر = أصفر
أزرق + أخضر = سماويًّا

نقول إنّ البنفسجي هو عكس الأخضر، والأزرق الداكن عكس الأحمر، والأصفر عكس الأزرق. إنّ إضافة أيّ لون إلى عكسه ينتج اللون الأبيض.

البنفسجي + الأخضر = الأبيض (= الأحمر + الأزرق + الأخضر).
الأزرق الداكن + الأحمر = الأبيض (= الأزرق + الأخضر + الأحمر).
الأصفر + الأزرق = الأبيض (= الأحمر + الأخضر + الأزرق).

عند إضافة لونين معًا ينتج اللون الأبيض، ويسمى هذان اللونان **لونين متمّمَيْن**. ولكل لون لون متمّم، وإنْ مُزجا معًا ينتج اللون الأبيض.

تستخدم حقيقة وجود لون متمّم ولون آخر ينتجان الأبيض عند اتحادهما، في إضاءة المسارح وإضفاء البهجة على الأداء، عند تسليط الضوءين الأزرق والأصفر على الممثلين، مثلًا، ينتج أثر اللون الأبيض، ما عدا غياب لون أو اثنين، كما في الظلال. إنّ ظلال المصباح الأزرق المضاء بمصباح أصفر، تظهر أصفر اللون. وبالمثل، فإنّ الظّلّ السّاقط من اللون الأصفر يظهر بلون أزرق. يا لروعة هذه الظاهرة!

يمكننا رؤية هذا الأثر في الشّكل 34.11. حيث سلّط كلّ من الضّوء الأحمر والأخضر والأزرق على كرة جولف. لاحظ الظلال المسقطة من الكرة. يسقط الظّلّ الأوسط من نقطة الضّوء الأخضر، وهي غير معتمة لأنها مضاءة من الضوءين الأحمر والأزرق لإنتاج اللون البنفسجي. يظهر الظّلّ المسقط من الضّوء الأزرق أصفر؛ لأنه مضاء من الضّوءين الأحمر والأخضر. هل ترى سبب ظهور الظل السّاقط من الضّوء الأحمر بالأزرق الداكن؟

الشّكل 35.11
يعرض بول Paul ألوانًا مختلفة عند إضاءتها فقط بمصابيح؛ أحمر وأخضر وأزرق. هل يمكن تفسير ظهور ألوان أخرى ناتجة؟

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ **حلّ مسائل**

عينات مسائل

1. من الشّكلين 33.11 و34.11، جد المتمم للأزرق الداكن والأصفر والأحمر.
2. أحمر + أزرق داكن = _____
3. أبيض - أزرق داكن = _____
4. أبيض - أحمر = _____

الحلول:

1. الأحمر والأزرق والأزرق الداكن
2. الأبيض
3. الأحمر
4. الأزرق الداكن، ومن المدهش معرفة أنّ لون البحر هو الأزرق الداكن، وهو نتيجة إزالة الأحمر من ضوء الشّمس الأبيض.

إنّ الترددات الطبيعية لجزيئات الماء تتطابق مع تردد الضَّوء تحت الأحمر. وعليه، فإنّ الضَّوء تحت الأحمر يمتص بالكامل من الماء - لذا، يظهر باللون الأزرق المخضر أو الأزرق الداكن.

مزج الأصباغ الملونة

يعرف كلّ فنان أنه عند مزج الدهانات ذات اللون الأحمر والأخضر والأزرق، لا يَنتج اللون الأبيض بل لون بنيّ داكن كلون الوحل. وبالتأكيد لا ينتج عن مزج اللونين الأحمر والأخضر اللون الأصفر. لذا، فإنّ قواعد إضافة الألوان الضّوئيّة لا تنطبق هنا. إنّ مزج الأصباغ اللونية في الدهانات يختلف تمامًا عن مزج الأضواء. إنّ الأصباغ جسيمات صغيرة جدًّا تمتص ألوانًا محددة. فمثلًا، الأصباغ اللونية التي تنتج اللون الأحمر، تمتص اللون المتمم الأزرق الداكن. لذا فإنّ أيّ شيء مدهون بالأحمر يمتص الأزرق الداكن. ولهذا السبب يعكس الأحمر. وأخيرًا، فقد تم طرح الأزرق الداكن من الضَّوء الأبيض. وإنْ دُهِن شيء باللون الأزرق فإنّه سيمتص اللون الأصفر. ولذا يعكس الألوان جميعها ما عدا الأصفر. وإذا أزلت اللون الأصفر من الأبيض فستحصل على اللون الأزرق. تسمى الألوان: البنفسجي، والأزرق الداكن، والأصفر **الألوانَ الأولية المطروحة (Subtractive Primary Colors)**. إنّ الألوان المختلفة التي تراها في الصور الملونة في هذا الكتاب أو غيره من الكتب هي نتيجة النقاط من الأرجواني والسماوي والأصفر. الضَّوء ينير هذا الكتاب، وضوء بعض الترددات مطروحًا منه الضَّوء المنعكس. إنّ قواعد طرح الألوان تختلف عن قواعد إضافة (ألوان) الضَّوء.

لماذا نرى السّماء زرقاء؟

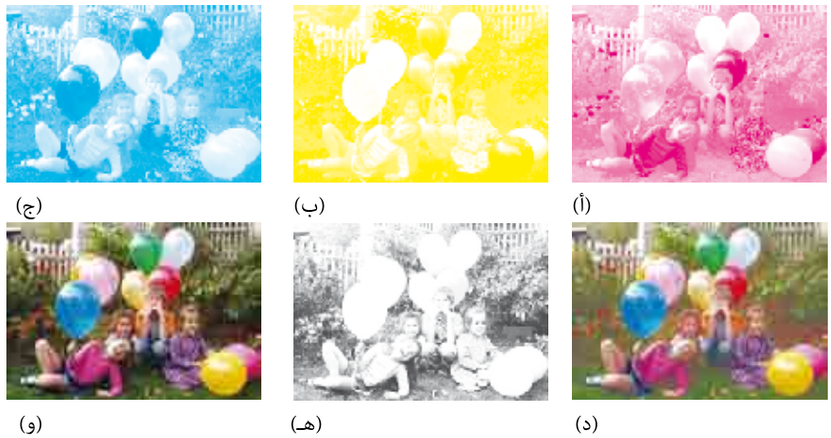
لا تنتج الألوان جميعها بإضافة الضَّوء أو طرحه. بعض الألوان مثل زرقة السّماء، هو نتيجة الاستطارة الانتقائية*. خذ الصّوت مثلًا مشابهًا: إذا وجهت حزمة من تردد صوت معين نحو شوكة رنانة لها تردد مشابه، فستبدأ الشوكة الرنانة الاهتزاز، وتعيد توجيه الحزمة في اتجاهات متعددة

الشّكل 36.11

النظر من خلال عدسة مكبرة، يُرى اللون الأخضر على صفحة مطبوعة كنقاط زرقاء داكنة وصفراء.

الشّكل 37.11

تمثل الألوان الجميلة للببغاء العديد من ترددات ألوان الضَّوء. ولكن الصورة هي مزيج من الأصفر والأرجواني والسماوي والأسود فقط.



(أ) (ب) (ج)

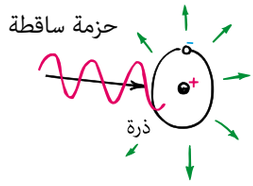
(د) (هـ) (و)

الشّكل 38.11

تستخدم ثلاثة ألوان فقط (إضافة إلى الأسود) لطباعة الصور الملونة - (أ) الأرجواني. (ب) الأصفر. (ج) الأزرق المخضر. إنّ اتحاد هذه الألوان ينتج الألوان المبينة في (د). ينتج إضافة الأسود (هـ) الصورة النهائية في (و).

* يسمى هذا النوع من الاستطارة، *استطارة ريلي Rayleigh*. وهو يحدث كلما كانت الجسيمات المستطيرة أصغر من طول موجة الضَّوء السّاقط. ولها تردد رنيني على تردد أعلى من ذلك الذي للضَّوء المستطار..

الإشعاع المستطير



الشّكل 39.11

تسقط حزمة من الضّوء على ذرة فتزيد الحركة الاهتزازية للإلكترونات في الذرة. وبدورها تعيد الإلكترونات المهتزة بث الضّوء إلى الاتجاهات كلّها. وهذا ما يسمّى باستطارة الضّوء.

تستطير الشّوكة الرنانة الصّوت. تحدث عملية مشابهة للضّوء المستطير من الذرات والجسيمات التي تكون بعيدة بعضها عن بعض. وهذا ما يحدث في الغلاف الجويّ.

نحن نعلم أنّ الذرات تسلك سلوك شوكات رنانة ضوئية صغيرة جدًّا: فهي تعيد بثّ موجات الضّوء التي تسلط عليها. تسلك الجسيمات المتناهية في الصّغر سلوكًا مشابهًا. كلما صغر الجسيم زاد تردد الضّوء الذي يبعثه. وهذا يشبه الطريقة التي تطلق بها الأجراس الصغيرة أصواتًا أعلى (حادة) من الأصوات التي تطلقها الأجراس الكبيرة. إنّ جزيئات النيتروجين والأكسجين التي تشكل معظم الغلاف الجوي هي كالأجراس الصغيرة التي ترن بترددات عالية عندما تعطى الطّاقة من ضوء الشّمس. ومثل صوت الأجراس، فإنّ الضّوء المعاد بثه يرسل الضّوء في الاتجاهات جميعها. ويقال للضّوء المعاد بثه بأنه *استطار* في الاتجاهات كافة.

من بين الترددات المرئيّة من ضوء الشّمس، يكون البنفسجي هو الأكثر استطارة من الأكسجين والنيتروجين في الغلاف الجويّ. وتكون استطارة الألوان الأخرى وفق الترتيب الآتي: الأزرق، ثم الأخضر، ثم الأصفر، ثم البرتقاليّ، ومن ثمَّ الأحمر. يستطير الأحمر بمقدار ($\frac{1}{10}$) استطارة البنفسجي، على الرّغم من أنّ البنفسجي يستطير أكثر من الأزرق. وبما أنّ أعيننا غير حساسة للضّوء البنفسجي، فإنّ الضّوء الأزرق المستطير هو الغالب على رؤيتنا. ولهذا، نرى السّماء زرقاء!

الشّكل 40.11

تعطينا استطارة الضّوء ذي التردد العالي، في هواء نظيف سماء زرقاء. عندما يكون الهواء مليئًا بجسيمات أكبر من جزيئات الأكسجين والنيتروجين، يستطير الضّوء ذو الترددات المنخفضة التي تضاف إلى استطارة الضّوء ذي التردد العالي ليعطينا سماء مائلة للون الأبيض.

في يوم صاف وجافٍّ تكون السّماء زرقاء غامقة أكثر منها في يوم صاف ورطب. إنّ سماءَ المناطق التي يكون هواؤها في الطبقات العليا جافًّا جدًّا كإيطاليا واليونان- زرقاءُ جميلة، مما ألهم الرّسامين على مدى قرون. وفي المناطق التي يحتوي فيها الغلاف الجوي على جسيمات كثيرة من الغبار، وجسيمات أخرى أكبر من جزيئات الأكسجين والنيتروجين، فإنّ الضّوء ذا الترددات المنخفضة يتعرض لاستطارة كبيرة لا يستهان بها. وهذا يجعل السّماء تبدو أقلّ زرقة مع مظهر يميل إلى البياض. وبعد عاصفة سطحية كبيرة، حيث تترسب الجسيمات العالقة في الهواء وتُغسل، تظهر السّماء زرقاء داكنة.

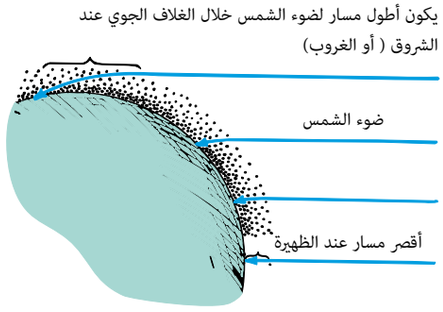
إنّ الغيوم الرّمادية فوق المدن الكبيرة هي نتيجة الجسيمات التي تطلقها عوادم السيارات، ومحركات الشاحنات، والمصانع. حتى في الوضع المثالي، فإنّ السيارة النموذجية تطلق أكثر من 100 بليون جسيم في الثانية. ومعظم هذه الجسيمات غير مرئية، ولكنها تتصرف كمراكز صغيرة تلتصق عليها الجسيمات الأخرى. هذه هي المستطيرات الأساسية للضّوء المنخفض التردد مع الجسيمات الكبرى. ومن هنا، يحدث الامتصاص بدل الاستطارة، وتظهر الغيوم الرمادية.

يسخّن السّناج (Soot) الغلاف الجويّ بامتصاص الضّوء، في حين يُبَرّد مناطق محلية أخرى بحجبه ضوء الشّمس من الوصول إلى الأرض. تسبب جسيماتُ السّناج الموجودة في الهواء الأمطارَ الشديدةَ في إحدى المناطق، وجفافًا وعواصف غبار في مناطق أخرى.

لماذا يكون غروب الشّمس أحمر اللون؟

إنّ الضّوء الذي لا يستطير هو الضّوء النافذ. ولأنّ الأضواء الأحمر والبرتقالي والأصفر هي الأقلّ استطارة في الغلاف الجويّ وذات ترددات منخفضة، فإنّها تنفذ الترددات من خلال الهواء. ولأنّ استطارة اللون الأحمر هي الأقلّ، فإنّه ينفذ خلال الغلاف الجوي أكثر من أي لون آخر. وعليه، فكلما كان الغلاف الجوي الذي تنتقل فيه حزمة ضوء الشّمس أكثر سمكًا، احتاج إلى وقت أطول ليستطير أجزاء الضّوء ذات الترددات العالية. ومن ثم ينتقل الضّوء الأحمر في الغلاف الجوي انتقالًا أفضل، كما يبين الشّكل 41.11. ينتقل ضوء الشّمس خلال الغلاف الجوي أفضل عند الغروب، ولهذا يبدو غروب الشّمس أحمر اللون.

تكون الألوان من المناطق البعيدة باهتة، وتزول الفروق بين الألوان. ولهذا، تكون الصور الملونة بصورة عامة أكثر تعبيرًا من صور الأبيض والأسود للمنظر نفسه.



عند الظهيرة، يقطع ضوء الشّمس أقلّ مسافة خلال الغلاف الجوي ليصل إلى سطح الأرض. وتستطير كمية قليلة فقط من الأزرق. وهذا يجعل الشّمس تظهر مائلة إلى الاصفرار. ومع تقدم النهار، تنحدر الشّمس إلى الأسفل في السّماء، كما يشير الشّكل 41.11. ويكون المسار خلال الغلاف الجوي أطول، ويستطير مزيدًا من فوق البنفسجي والأزرق من ضوء الشّمس. وتصبح الشّمس أكثر احمرارًا تدريجيا، وتنتقل من الأصفر إلى البرتقالي، وأخيرا إلى البرتقالي - الأحمر عند الغروب. ويكون غروب الشّمس وشروقها ملونًا بشكل غير عادي بعد الثوران البركاني بسبب وجود عدد كبير من الجسيمات في الغلاف الجوي.

الشّكل 41.11
يجب أن تنتقل أشعّة الشّمس كيلو مترات أكثر في الغلاف الجوي حين الغروب منها عند الظهيرة. ونتيجة لذلك، يستطير الأزرق أكثر حين الغروب منه عند الظهيرة. وفي الوقت الذي تصل فيه أشعّة الشّمس البيضاء الأرضَ، فإنّ الضّوء ذا التردد المنخفض فقط يبقى لينتج غروب شمس أحمر.

لماذا تبدو الغيوم بيضاء؟

تتكون الغيوم من عناقيد من قطرات الماء بأحجام مختلفة تنتج العديد من الألوان المستطيرة. تميل العناقيد الصغيرة إلى إنتاج الغيوم الزرقاء، أمّا الأكبر قليلًا فتنتج الغيوم الخضراء، في حين تنتج أكبر العناقيد الغيوم الحمراء، لتتكوّن الغيوم البيضاء أخيرًا. تهتز الإلكترونات القريبة بعضها من بعض في هذه العناقيد بالطور نفسه، وهذا يؤدي إلى شدة ضوء مستطير أعلى، مما لو كانت هذه الإلكترونات تهتز منفصلة بعضها عن بعض. وفي النهاية، تكون الغيوم ناصعة!

تمتص قطرات العناقيد الكبيرة معظم الضّوء السّاقط عليها. ولهذا، تكون شدة الاستطارة أقلّ. وهكذا تظهر الغيوم التي تحتوي على عناقيد كبيرة رمادية عميقة ومعتمة، تتسبب الزيادة في حجم هذه العناقيد إلى نزولها كقطرات مطر. وهكذا يتمّ الحصول على المطر.

في المرة القادمة عندما تجد نفسك مندهشًا من لون السّماء الأزرق الصافي، أو سررت من حجم الغيوم الناصعة، أو بمراقبة غروب الشّمس الجميل، فكر في الشّوكات الرنانة الضّوئيّة المتناهية الصغر المهتزة بعيدًا. ستتمتع بهذه الروائع الطبيعية اليومية أكثر!

الشّكل 42.11
تتكون الغيمة من قطرات ماء بأحجام مختلفة. تستطير أصغر القطرات الضّوء الأزرق، في حين تستطير القطرات المتوسطة الحجم الضّوء الأخضر، أمّا القطرات الأكبر فتستطير الضّوء الأحمر، لتكون النتيجةُ النهائية غيمةً بيضاء.

الشّكل 43.11
تظهر الموجة زرقاء داكنة بسبب امتصاص مياه البحر للضّوء الأحمر. يبدو الرذاذ عند قمة الموجة أبيض اللون كالغيوم؛ لأنه مكون من قطرات ماء بأحجام مختلفة وتستطير ترددات الضّوء المرئيّ جميعها.

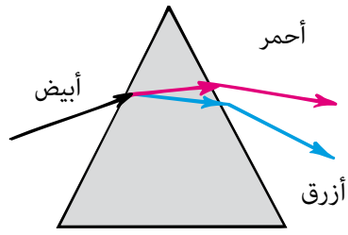
■ نقطة فحص

1. ما اللون الذي تظهر عليه السّماء، لو أنّ الجزيئات في السّماء تستطير مع الضّوء ذي التردد المنخفض أكثر من استطارتها من الضّوء ذي التردد العالي؟ ماذا يكون لون غروب الشّمس أيضًا؟
2. تبدو الجبال البعيدة المظلمة مائلة للزرقة. ما مصدر زرقتها؟ (مساعدة: ماذا يوجد بيننا وبينها على وجه الدّقّة؟).

هل كانت هذه إجاباتك؟

1. إذا استطارت الترددات المنخفضة فإنّ السّماء تظهر مائلة إلى البرتقاليّ – الأحمر عند الظهر. ويستطير الأحمر أكثر حين الغروب بسبب المسافات الطويلة التي يقطعها ضوء الشّمس، وتظهر الشّمس مائلة إلى الأزرق وفوق البنفسجي، وهكذا سيبدو غروب الشّمس أزرقَ!
2. إذا نظرنا إلى الجبال البعيدة المظلمة، فإنّ القليل من ضوئها يصل إلينا، وتسيطر زرقة الغلاف الجوي بيننا وبين الجبال. إنّ الزرقة هي «السّماء» على ارتفاعات منخفضة بيننا وبين الجبال. ولهذا تظهر الجبال البعيدة زرقاء.

6.11 التّشتّت



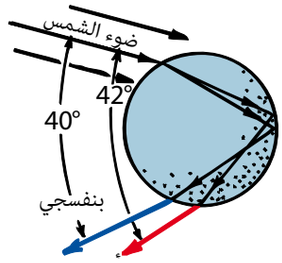
الشّكل 44.11
يجعل التّشتّت من المنشور مكونات الضّوء الأبيض واضحة.

رأينا أنّ الضّوء يُمتصّ حينما يكون له **نفس ذبذبات** الإلكترونات في الذرات والجزيئات للمادة. وتكون هذه المادة معتمة للضّوء. تذكر أنّ النفاذية تحدث للضّوء ذي الترددات بالقرب من ترددات الرّنين للمادة (وليس مساويًا لها). يتباطأ الضّوء نتيجة تتابع الامتصاص / وإعادة البثّ. وكلما كان تردد الضوء قريبًا من تردد الإلكترونات في الذرات تباطأ الضوء أكثر. هذا موضح في الشّكل 6.11. إنّ النتيجة المهمة هي أنّ الضّوء ذا التردد العالي يسير أبطأ من الضّوء ذي التردد المنخفض في الوسط الشفاف. يسير الضّوء البنفسجي أبطأ بمقدار 1% من الضّوء الأحمر في الزّجاج العادي. وتسير ألوان الضّوء من الأحمر إلى البنفسجي بسرعات نسبية لكلّ منها في الزّجاج.

وبسبب أنّ الضّوء الذي له ترددات مختلفة يسير بسرعات مختلفة في المواد الشّفّافة، فإنّ ألوان الضّوء المختلفة تنكسر بكميات متفاوتة. وعند انكسار الضّوء الأبيض مرتين، كما في المنشور، يكون تباعد ألوان الضّوء ملاحظًا بشكل جيد. يسمّى تباعدُ الضّوء إلى ألوان مرتبة وفق التردد **التَّشتّت** (الشّكل 44.11). وبسبب هذا التّشتّت يظهر قوس المطر.

قوس المطر (Rainbow)

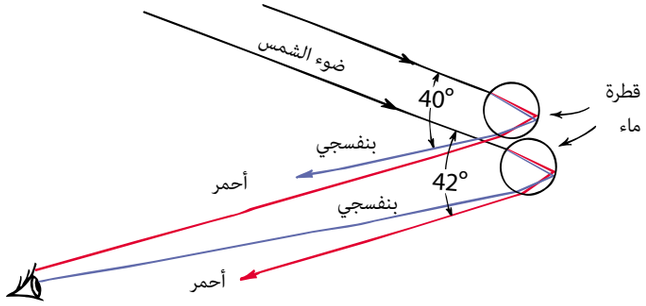
ولكي نتمكن من مشاهدة قوس المطر، يجب أن تشعّ الشّمس على قطرات من الماء أو على مطر ساقط، حيث تعمل القطرات مناشير تشتت الضّوء. وعندما تواجه قوس المطر، فإنّ الشّمس تكون خلفك في الجانب المقابل من السّماء. عند رؤيتك القوس من طائرة في منتصف النهار، يظهر القوس كدائرة كاملة. وكما سنرى، فإنّ أقواس المطر جميعها تظهر كدائرة كاملة لو لم تعترضها الأرض في طريقها.



الشّكل 45.11
تشتت ضوء الشّمس بقطرة مطر واحدة.

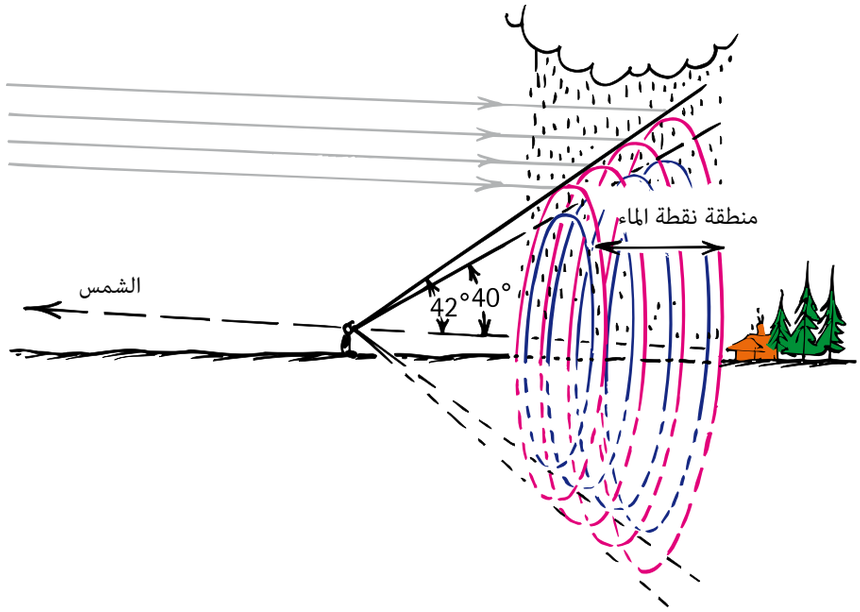
يمكنك رؤية كيف أنّ قطرة الماء تشتت الضّوء في الشّكل 45.11. اتبع شعاع الشّمس منذ دخوله القطرة عند سطحها العلوي. ينعكس بعض الضّوء (غير ظاهر). في حين ينكسر الباقي في الماء. عند الانكسار الأول، يتشتّت الضّوء إلى ألوان الطّيف. يكون الأحمر أقلّ انحرافًا بعكس البنفسجي الأكثر انحرافًا. وعندما يصل الضّوء إلى الطرف المقابل للقطرة، ينكسر كلّ لون جزئيًّا إلى الهواء مرة أخرى (غير ظاهر) وينعكس جزئيًّا في الماء. وعند وصوله إلى السّطح السّفليّ للقطرة، فإنّ كلّ لون ينعكس جزء منه مرة أخرى وينكسر جزئيًّا مرة أخرى إلى الهواء. إنّ الانكسار عند السّطح الثاني، كما هو الحال في المنشور، يزيد من التّشتّت الذي حدث عند السّطح الأول* .

على الرّغم من أنّ كلّ قطرة تشتت كامل ألوان الطّيف، فإنّ الملاحظ يستطيع رؤية لون أحاديّ من أيّ قطرة (الشّكل 46.11).



الشّكل 46.11
ينتج عن سقوط ضوء الشّمس على قطرتين من المطر ضوء مشتت. يرى الناظر ضوءًا أحمرَ من القطرة العليا وضوءًا بنفسجيًّا من القطرة السّفلى. تنتج ملايين القطرات كامل الطّيف المرئيّ.

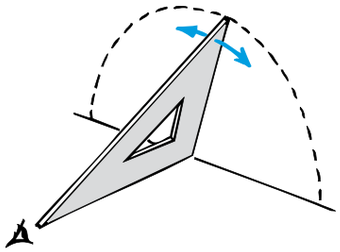
* للتسهيل: نشير إلى أنّ الشعاع الأحمر يتشتت عند 42°. وفي الحقيقة، يمكن أن تأخذ الزاوية بين الشعاعين السّاقط والمنعكس أي من 0 إلى 42° (تقابل الزاوية 0 عودة الشعاع على نفسه أي بانعكاس 180°) إنّ أكبر تركيز لشدة الضّوء للأحمر هي بالقرب من الزاوية العظمى 42°. كما في الشّكلين 45.11 و46.11.



الشّكل 47.11
عندما يكون موضع عينك بين الشّمس (بعيدًا إلى اليسار، غير ظاهرة) ومنطقة قطرات الماء، فإنّ قوس المطر الذي تراه هو طرف مخروط في ثلاثة أبعاد، يمتد خلال منطقة قطرات الماء. يتشتت البنفسجي من القطرات التي تصنع زاوية 40° مع السّطح المخروطي، يشاهد الأحمر من القطرات التي تصنع زاوية 42° مع السّطح المخروطي، وتظهر الألوان الأخرى بينهما على الترتيب. (يُشكل العدد الكبير من طبقات القطرات عددًا كبيرًا من الأقواس لاثنائية الأبعاد، مثل المجموعات الأربع الموضحة هنا.)

إذا وصل الضَّوء البنفسجي من قطرة واحدة إلى عين الملاحظ، فسيقسط الضَّوء الأحمر من القطرة نفسها في مكان آخر في اتجاه القدم. ولمشاهدة الضَّوء الأحمر يجب أن ينظر المرء إلى قطرة عالية في السّماء. إنّه يرى اللون الأحمر عندما تكون الزاوية بين شعاع ضوء الشّمس والضَّوء المتشتت هي 42°. أمّا اللون فوق البنفسجي فيراه عندما تكون الزاوية بين حزم الشّمس والضَّوء المتشتت هي 40°.

لماذا يشكّل الضَّوء المتشتت من القطرات قوسًا؟ تتطلب الإجابة عن هذا السؤال شيئًا من الهندسة. أولًا، إنّ قوس المطر ليس قوسًا مسطحًا في بعدين كما يبدو. في الواقع، إنه مخروط من الضَّوء المتشتت في ثلاثة أبعاد. إنّ قمة المخروط هي عند عينيك. ولفهم هذا: خذ مخروطًا زجاجيًّا، مثل شكل المخاريط الورقية التي تراها عند صنابير الشرب. إذا أمسكت رأس هذا المخروط الزّجاجي مقابل عينيك، فماذا سترى؟ هل ترى الكأس كدائرة؟ وهكذا يتكوّن قوس المطر. إنّ القطرات التي شتّتت ضوء قوس المطر نحوك جميعها تقع على شكل مخروط من طبقات مختلفة. وقطرات تحرف الأحمر نحو عينيك من الخارج. والبرتقالي تحت الأحمر. والأصفر تحت البرتقالي وهكذا، إلى البنفسجي. إلى السطح المخروطي الداخلي (الشّكل 47.11). وكلما كانت المنطقة التي تحتوي على قطرات الماء أسمك كانت الأطراف المخروطية التي تنظر من خلالها أسمك، وكان قوس المطر أشد.



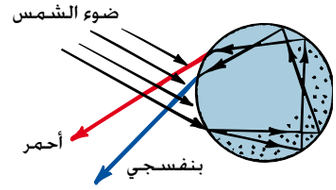
الشّكل 48.11
قطرات المطر على طول الخط المتقطع فقط تشتت الضَّوء الأحمر للملاحظ عند زاوية 42°، ومن ثم يشكل الضَّوء قوسًا.

الشّكل 49.11
ينتج عن انكسارات قطرات الماء وانعكاساتها ضوءٌ للزوايا حتى 42° جميعها، وبتركيز أكبر بين 40° و42°. لا يستطيع الضَّوء النفاذ من قطرات الماء عند زوايا أكبر من 42° إلا إذا تعرض لانعكاسين أو أكثر داخل القطرة. لذا تظهر السّماء ساطعة داخل قوس المطر أكثر منها خارجه. لاحظ قوس مطر ثانويًّا ضعيفًا.

يتقاطع مخروط رؤيتك مع قطرات الغيمة لتكوّن قوسك. يختلف قوس المطر الذي تراه دائمًا عن القوس الذي يراه شخص بجوارك قليلا. وهكذا، فعندما يقول صديقك: انظر ما أجمل قوس قزح! فعليك الإجابة: نعم، ولكن تحرك جانبًا لكي أراه أيضا؛ كلّ شخص يرى / ترى قوس المطر الخاص به / بها.

وهناك حقيقة أخرى حول قوس المطر خاصتك وهي أنّه يواجهك دائمًا مباشرة. فعندما تتحرك، يظهر القوس وكأنه يتحرك معك. لذا، لا يمكن الاقتراب من جانب القوس أو رؤية نهاية له كما في المنظر المبالغ فيه (الشّكل 47.11). لا يمكنك الوصول إلى نهايته. وهكذا، فإنّ القول "فتش عن قدر الذهب في نهاية قوس المطر" يعني طلب شيء لا يمكن الوصول إليه.

غالبًا، يمكن رؤية قوس ثانوي أكبر تكون ألوانه معكوسة عند زاوية أكبر هو القوس الأولي. لن نتناول هذا القوس الثانوي هنا، ولكننا نقول إنه تشكل في ظروف مشابهة وأنه نتيجة انعكاس ثنائيّ ضمن قطرات الماء (الشّكل 50.11). وبسبب هذا الانعكاس الإضافي (وفقدان انكسار إضافي) يكون القوس الثانوي باهتًا ومعكوسًا.



الشّكل 50.11
ينتج الانعكاس الثنائي في قطرة قوس ثانوي.

■ **نقطة فحص**

1. افترض أنك تشير إلى حائط وذراعك ممدودة. ثم حركت ذراعك حولك، بزاوية مقدارها $42°$ في اتجاه الحائط. إذا أدرت ذراعك دورة كاملة مع الاحتفاظ بالزاوية نفسها، فما الشّكل الذي تصنعه ذراعك؟
2. إذا كان الضّوء ينتقل في قطرات المطر بالسّرعة نفسها في الهواء، فهل ترى قوس المطر؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

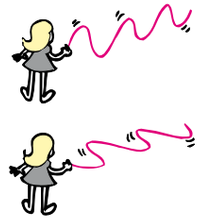
1. تصنع ذراعي مخروطًا، وحركة أصابعي دائرة كقوس المطر.
2. لا.

■ 7.11 الاستقطاب

كما عرفنا في الفصل العاشر، فإما أنْ تكون الموجات طولية أو عرضية. إنّ موجات الصوت طولية، وهذا يعني أنّ الحركة الاهتزازية للوسط تكون في اتجاه انتقال الموجة. أمّا حقيقة أنّ أمواج الضّوء تظهر **استقطابًا** فهذا يشير إلى أنّ أمواج الضّوء عرضية.

إذا هززت حبلًا إلى الأعلى والأسفل من جانب إلى آخر، كما هو مبين في الشّكل 51.11، فأنت تنتج أمواجًا عرضية على طول الحبل. ويكون مستوى الاهتزاز هو نفسه مستوى الموجة. إذا هُزّ الحبل إلى الأعلى والأسفل فإنّ الموجة تتذبذب في مستوى عموديّ. ولكن إذا هُزّ الحبل إلى الأمام والخلف، فإنّ تذبذبات الموجة تكون في مستوى أفقيّ. وعندئذٍ نقول إنّ هذه الموجة مستقطبة استوائيًّا. أي أنّ الموجة التي تنتقل عبر الحبل تكون محصورة في مستوى واحد. يعدّ الاستقطاب خاصية للموجة العرضية. (لا يحدث الاستقطاب للأمواج الطولية - لا يوجد شيء كالصوت المستقطب).

يمكن لإلكترون مهتز مفرد أن يطلق موجة كهرومغناطيسية تكون مستقطبة استوائيًّا. يماثل مستوى الاستقطاب الاتجاه الاهتزازي الإلكتروني وهذا يعني أنّ الإلكترون المسرع عموديًّا يطلق ضوءًا مستقطبًا عموديًّا.



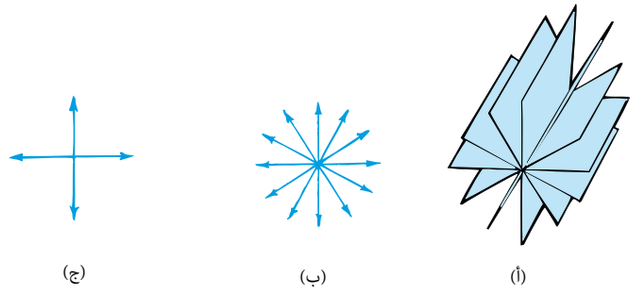
الشّكل 51.11
الموجة المستوية في المستوى المستقطب عموديًّا، والموجة المستوية في المستوى المستقطب أفقيًّا.

الشّكل 52.11
(أ) الموجة المستقطبة في مستوى عموديّ من اهتزاز شحنة عموديًّا. (ب) الموجة المستقطبة في مستوى أفقيّ من اهتزاز شحنة أفقيًّا.

أمّا الإلكترون المسرع أفقيًّا فيطلق ضوءًا مستقطبًا أفقيًّا (الشّكل 52.11).*

تطلق مصادر الضّوء المألوفة، كالمصباح المتوهج، والمصباح الفلوري، أو لهب شمعة، ضوءًا غير مستقطب، بسبب إطلاق الإلكترونات للضّوء في اتّجاهات عشوائية عديدة. وهناك عدد من مستويات الاهتزاز بعدد الإلكترونات المهتزة التي تطلقها. يبين الشّكل 53.11أ عدة تمثيلات لهذه المستويات. ويمكن تمثيل هذه المستويات بخطوط دائرية كالمبينة في الشّكل 53.11.ب (أو ببساطة أكثر، يمكن تمثيل المستويات بمتجهين متعامدين، كما في الشّكل 53.11.ج يمثل المتجه العموديّ المركبات العمودية للاهتزازات جميعها، في حين يمثل المتجه الأفقيّ المركبات الأفقية للاهتزازات جميعها. يمثل هذا النموذج البسيط في الشّكل 53.11 ضوءًا غير مستقطب، ويمثل الضّوء المستقطب بمتجه مفرد.

يحدث الاستقطاب للأمواج العرضية فقط. وفي الحقيقة، إنها طريقة مهمة لفحص ما إذا كانت الموجة عرضية أم طولية.



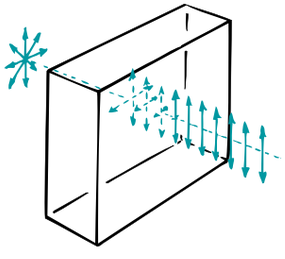
الشّكل 53.11
تمثيل للأمواج المستقطبة استوائيًّا.

لمعلوماتك

تنتشر خلفية الأمواج الميكروووية الكونية في الفضاء كلّه، وتقترب منا من الاتّجاهات كافة. إنها صدى الانفجار العظيم الذي جعل عالمنا يبدأ في التّشكّل قبل نحو 14 بليون سنة. أظهرت الدراسات الحديثة أنّ هذه الإشعاعات مستقطبة. كما أنّ نتائج الاستقطاب لا تتأثر بالجاذبية، إضافة إلى أنّها تزودنا بنظرة واضحة وتفصيلية حول بدايات الكون.

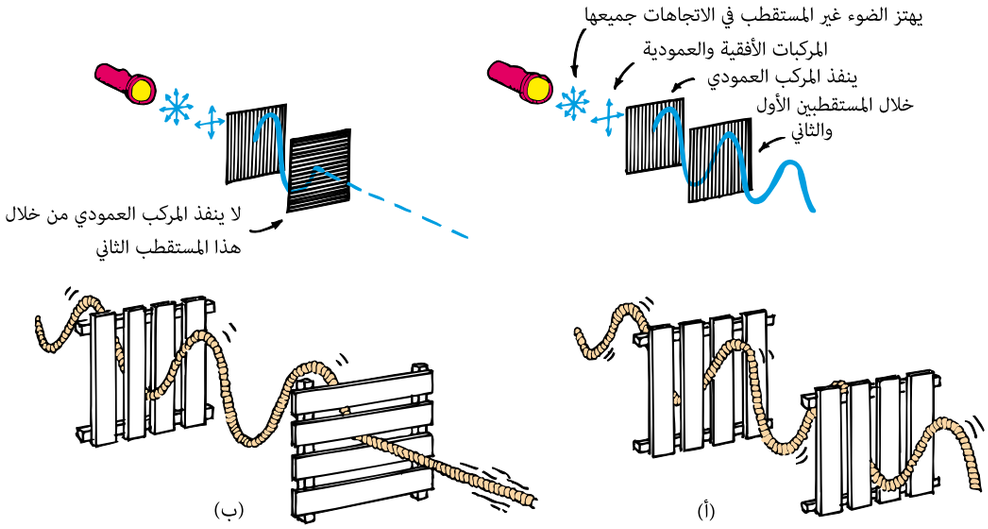
تمتلك البلوراتُ الشّفّافة - والتي لها شكل طبيعيّ غير مكعب جميعُها - خاصيةَ استقطاب الضّوء. تقسم هذه البلورات الضّوء غير المستقطب إلى حزمتين داخليتين مستقطبتين بزوايا قائمة بعضها على بعض. تمتص بعض البلورات حزمة، في حين تنفذ الجزء الآخر (الشّكل 54.11)؛ مما يجعلها مستقطبات ممتازة. إنّ الهيراباثيت (Herapathite) مثال على هذه البلورة. ترتّب بلورات الهيراباثيت دون المجهرية وتحفظ في صفائح سليلوزية. إنها تشكّل مرشحات بولاريود Polaraoid مشهورة في الوقاية من الشّمس. تتكون صفائح البولاريود الأخرى من جزيئات مصفوفة بدلًا من البلورات الصغيرة.

إذا نظرت إلى ضوء غير مستقطب من خلال مرشح بولاريود، فيمكنك إدارة المرشح في أي اتّجاه، ويظهر الضّوء دون تغيير. ولكن إذا كان الضّوء مستقطبًا، فإنّ إدارة المرشح يحجب الضّوء من النفاذ تدريجيًّا إلى منعه من النفاذ بالكامل. يُنفذ مرشح البولاريود المثالي 50% من الضّوء غير المستقطب السّاقط عليه، ويكون هذا هو الضّوء المستقطب. وعند وضع مرشحين من البولاريود، بحيث يكون محورًا الاستقطاب لهما مصفوفين في الاتّجاه نفسه، فإنّ الضّوء يمرّ من خلالهما، كما هو مبين في مثال الحبل المناظر (الشّكل 55.11أ). وإذا كان محوراهما يصنعان زاوية قائمة معًا فسنقول إنّ المرشحين متعامدان، ومعظم الضّوء لا ينفذ من هذين المرشحين (الشّكل 55.11ب). (هناك كمية قليلة من الأطوال الموجية القصيرة تنفذ عند استخدام مرشحات البولاريود المزدوجة، ويسمّى مثل هذا الوضع المستقطبَ الأوليّ. في حين يسمّى الثّاني محلّلَ الضّوء المستقطب.



الشّكل 54.11
يُمتص أحد مركبات الضّوء السّاقط غير المستقطب، منتجًا ضوءًا نافذًا مستقطبًا.

* يمكن أن يستقطب الضّوء دائريًا وإهليلجيًا. وكلاهما مستقطبان عرضيّان. ولكن لن نناقش هاتين الحالتين هنا.



الشّكل 55.11
يوضح تناظر الحبل أثر البولاروید المتعامد.

يكون معظم الضَّوء المنعكس عن السّطوح غير الفلزّيّة مستقطبًا. ويعدّ الوهج من الزّجاج أو الماء مثالًا جيدًا على ذلك. وما عدا الضَّوء السّاقط عموديًّا فإنّ اهتزازات الشّعاع المنعكس تكون موازية للسطح العاكس. إنّ اهتزازات جزء من الأشعّة التي تخترق السّطح تصنع زوايا قائمة للسطح (الشّكل 56.11). وتزودنا حركة الصخور المنزلقة إلى سطح بركة بتناظر مناسب؛ فعندما تضرب الصخور موازية للسطح، فإنها تنعكس بسهولة عنه. ولكن سطوحها تكون متعامدة مع السّطح، وتنكسر في الماء. وباستخدام نظارات البولاريود يمكننا جعل التوهج المنعكس من السّطوح خفيفًا. وتكون محاور الاستقطاب للعدسات عمودية لأنّ معظم التوهج ينعكس من السّطوح الأفقيّة.

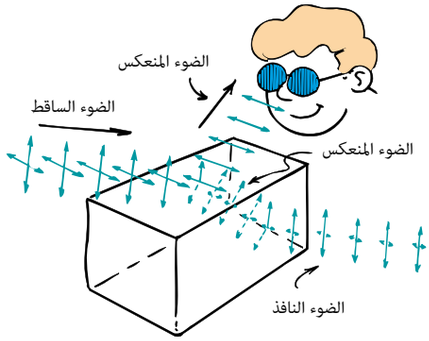
الشّكل 56.11
تحجب نظارات الشّمس البولاريود الضَّوء المهتز أفقيًّا. وعندما تنطبق العدسات بزوايا قائمة، فإنّ الضَّوء لا ينفذ.

■ **نقطة فحص**

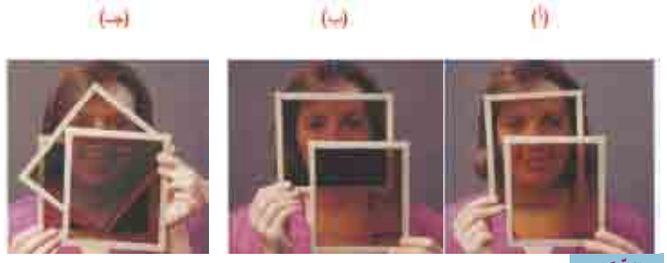
أيّ هذه النظارات مناسب أكثر لسائقي السّيارات؟ (تبين الخطوط المستقيمة محاور الاستقطاب).

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ النظارة أ هي الأفضل؛ لأنّ المحور العمودي يحجب الضَّوء المستقطب أفقيًّا، والذي يكون فيه معظم التوهج من السطوح الأفقية. أمّا النظارة ج فهي الأفضل لرؤية الأفلام في ثلاثة أبعاد.



الشّكل 57.11
يكون معظم الوهج من السّطوح غير الفلزّيّة مستقطبًا. تنعكس مركبات الضَّوء السّاقط والموازية للسّطح، وتنفذ مركبات الضَّوء العمودية من خلال السّطح للوسط. ولأنّ معظم الوهج الذي نراه يأتي من السّطوح الأفقية، فإنّ محاور الاستقطاب لنظارات البولاروید تكون عمودية.



الشّكل 58.11

ينفذ الضّوء عندما تكون محاور البولارويدات على الامتداد نفسه (أ-)، ولكنها تمتص عند إدارة أحد المحاور حتى يصبح بعضها متعامدًا مع بعض (ب). عند إدخال بولاروید ثالث بزاوية بين المستقطبين المتعامدين، ينفذ الضّوء مرة أخرى. (ج). (لمعرفة الجواب، بعد بعض التفكير، انظر الملحق ج- «مزيد عن المتجهات»).

ملخّص المصطلحات

الموجة الكهرومغناطيسيّة Electromagnetic wave: موجة حاملة للطاقة. تنبعث من اهتزازات الشحنات الكهربائية. (غالبًا إلكترونات) وتتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي متذبذبين. يولد أحدهما الآخر.

الطّيف الكهرومغناطيسيّ Electromagnetic spectrum: مدى من الموجات الكهرومغناطيسيّة تمتد في التردد من الأمواج الرّاديويّة إلى إشعاعات جاما.

شفاف Transparent: مصطلح يطلق على المواد التي يمرّ الضّوء من خلالها دون امتصاص. ويكون في خطوط مستقيمة على الأغلب.

معتم Opaque: خاصية امتصاص الضّوء دون إعادة انبعاثه (عكس الشّفاف).

الانعكاس Reflection: عودة أشعّة الضّوء عن سطح عاكس بطريقة بحيث تكون الزاوية التي يرجع بها شعاع معين مساوية للزاوية التي سقط بها على السّطح (يسمى انعكاس المرآة).

قانون الانعكاس Law of reflection: زاوية السّقوط = زاوية الانعكاس. يقع الشّعاعان السّاقط والمنعكس في مستوى عموديّ على السّطح العاكس.

الانعكاس غير المنتظم Diffuse reflection: انعكاس في اتجاهات غير منتظمة من سطح غير منتظم.

الانكسار Refraction: انحناء شعاع الضّوء المائل عندما يمرّ من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر. ويحدث هذا بسبب الفرق في سرعة الضّوء في الأوساط الشّفّافة. وعندما يكون التغير في الوسط فجائيًا (من الهواء إلى الماء). يكون الانحناء مفاجئًا أيضًا. كما أنّ الانحناء يكون تدريجيًّا عندما يكون التغير في الوسط تدريجيًّا (من الهواء الساخن إلى الهواء البارد) وهذا ما يعزى إليه تكوّن السراب.

الألوان الأوّليّة المضافة Additive primary colors: هي الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق. أي أنه يمكن إنتاج أيّ لون في الطّيف عند إضافتها بنسب معينة.

الألوان المتمّمة Complementary Colors: أيّ لونين ينتجان اللون الأبيض عند مزجهما .

الألوان الأوّليّة المطروحة Subtractive primary colors: الألوان الثلاثة التي تمتصها الأصباغ وهي: البنفسجي والأصفر والأزرق الداكن. أي أنّها تستطيع عكس أيّ لون في الطّيف عندما تُمزج بنسب معينة.

التّشتّت Dispersion: انفصال الضّوء إلى الألوان مرتبة بحسب التّردّد.

الاستقطاب Polarization: اصطفاف متجهات المجال الكهربائيّ العرضية التي تشكل الإشعاعات الكهرومغناطيسيّة. يسمّى اصطفاف هذه الاهتزازات لهذه الأمواج استقطابًا.

أسئلة مراجعة

1.11 الطّيف الكهرومغناطيسيّ

1. ما الفرق الرئيس بين أمواج الراديو والضّوء؟ وكذلك بين موجات الضّوء والأشعّة السّينية؟
2. كيف تقارن تردد الأمواج الكهرومغناطيسيّة مع تردد الإلكترونات المهتزة التي تنشئها؟

2.11 المواد الشّفّافة والمواد المعتمة

3. في أيّ منطقة من الطّيف الكهرومغناطيسيّ يقع تردد الرنين للإلكترونات في الزّجاج؟
4. ما مصير الطّاقة في الضّوء فوق البنفسجي السّاقط على الزّجاج؟
5. ما مصير الطّاقة في الضّوء تحت الأحمر السّاقط على الزّجاج؟ وما مصير الضّوء المرئيّ؟

6. كيف تقارن معدل سرعة الضّوء في الزّجاج بسرعة الضّوء في الفراغ؟
7. كيف تقارن سرعة الضّوء النافذ من لوح زجاجيّ بسرعة الضّوء السّاقط على الزّجاج؟

3.11 الانعكاس

8. ما قانون الانعكاس؟
9. بالنسبة إلى بعد الجسم أمام مرآة مستوية، كم يكون بُعْد الظل خلفها؟
10. هل ينطبق قانون الانعكاس على المرآة المنحنية؟ فسّر.
11. بأيّ معنى ينطبق قانون الانعكاس على الانعكاس غير المنتظم؟

4.11 الانكسار

12. ما الزاوية التي بين شعاع ضوئي وجبهته الموجبة؟
13. ما العلاقة التي بين الانكسار وسرعة الجبهة الموجبة؟
14. أين ينتقل الضّوء بشكل أسرع: في الهواء أم في الهواء الكثيف؟ ما أثر هذا الفرق في السّرعة لطول اليوم الضّوئيّ؟
15. ما السراب؟

5.11 اللون

16. أيّ الضوءين له تردد أعلى: الأحمر أم الأزرق؟
17. ما لون تردد الذروة للإشعاع الشّمسيّ؟ على أيّ لون تكون حساسية أعيننا أعلى ما يمكن؟
18. ما الألوان الأساسية الثلاثة؟ ما الألوان الثلاثة الأساسية المطروحة؟
19. لماذا يسمى اللونان الأحمر والأزرق الداكن ألوانًا متممة؟
20. لماذا تبدو السّماء ضاربة إلى البياض أحيانًا؟
21. لماذا تبدو الشّمس مائلة إلى الحمرة في الشروق والغروب، أمّا عند الظهيرة فلا؟
22. ما الدليل على أنّ الغيوم تتكون من جسيمات بأحجام مختلفة؟
23. ما الممتص من قبل الماء حتى يعطيه اللون الأزرق الداكن؟

6.11 التّشتّت

24. أيّ الضوءين ينتقل أبطأ في الزّجاج: الأحمر أم البنفسجي؟
25. ما الذي يمنع رؤية قوس المطر دائرة كاملة؟
26. لماذا يكون قوس المطر الثانوي أكثر تعتيمًا من القوس الرئيس؟

7.11 الاستقطاب

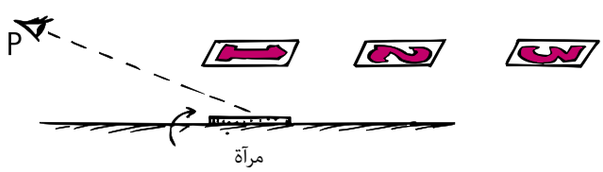
27. هل الاستقطاب خاصية للأمواج العرضية أم الطولية، أم لكليهما؟
28. كيف يكون اتجاه استقطاب الضّوء بالنسبة إلى اتجاه اهتزازات الإلكترونات المنتجة له؟
29. لماذا ينفذ الضّوء من خلال زوج من مرشحات البولاريود عندما يكون محوراهما متوازيين، ولكنه لا ينفذ عندما يكون المحوران متعامدين.
30. كم من الضّوء غير المستقطب ينفذ المرشح المثالي من البولاروید؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما المصدر الأساس للإشعاع الكهرومغناطيسيّ؟
2. ● أيّ مما يلي له طول موجة أكبر: الأمواج الضّوئيّة، أم الأشعّة السينية، أم الأمواج الرّاديويّة؟
3. ● أيهما له طول موجة أقصر: فوق البنفسجي أم تحت الحمراء؟ أيهما ذو تردد أعلى؟
4. ● نسمع الناس يتحدثون عن "فوق البنفسجي" و"تحت الحمراء". لِمَ تعدّ هذه المصطلحات مضللة؟ ولِمَ لا نسمع الناس يتحدثون كثيرًا عن الضّوء "الرّاديوويّ" وضوء "الأشعّة السّنيّة"؟
5. ● أيهما يحتاج إلى وسط فيزيائي للانتقال: الضّوء أم الصوت؟ أم أنّ كليهما يتطلب وسطًا فيزيائيًّا؟ فسّر.
6. ● هل تنتقل الأمواج الرّاديوويّة بسرعة الصوت، أم بسرعة الضّوء، أم بسرعة بين السرعتين؟
7. ● ما الشبه بين الأمواج الرّاديوويّة والضّوء؟ وما الاختلاف بينهما؟
8. ● ما دليلك على دعم فكرة أنّ الضّوء ينتقل في الفراغ؟
9. ● تتفاعل الأمواج القصيرة للضّوء المرئيّ عادة مع ذرات الزّجاج أكثر من الأمواج الطويلة. هل يميل زمن التفاعل هذا إلى زيادة معدل سرعة الضّوء في الزّجاج أم إلى تقليله؟
10. ● ما الذي يحدد ما إذا كانت المادة شفافة أم معتمة؟
11. ● يمكن أن تحدث حرقة الشّمس في يوم غائم، ولكنها لا تحدث في يوم مشمس إذا كنت خلف زجاج. فسّر.
12. ■ يقف بيتر *Peter* مقابل مرآة كبيرة ويثير الاهتمام باستعراض مضحك. كيف يستطيع الوقوف في منتصف الهواء ظاهريًا.

13. ● تنظر عين شخص عند النقطة أ إلى المرآة. أيّ البطاقات المرقمة تراها منعكسة في المرآة؟



14. • يرغب راعي بقر في إصابة مهاجمه بطلقة مرتدة من مرآة معدنية. لعمل هذا، هل عليه أن يصوب على صورة المهاجم في المرآة؟ فسّر.

15. • تضع الشاحنات عادة إشارة في الخلف تقول: إنْ لم ترَ مرآتي فلا يمكنني رؤيتك. فسّر هذه العبارة فيزيائيًّا.

16. • لماذا تكون الأحرف في مقدمة بعض السيارات مثلا "سيارات الإسعاف" بترتيب معكوس؟

تطبيقات

17. ■ نرى المطر وانعكاسه، فَلِمَ لا نرى أرجل الطير في الانعكاس؟

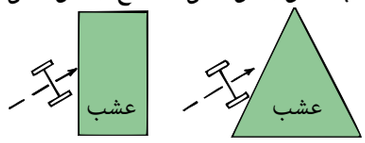
18. ■ ما أقلّ طول لمرآة مستوية حتى تستطيع رؤية كامل جسمك؟

19. ■ ما أثر بعدك عن المرآة المستوية في جوابك عن السؤال السّابق؟

20. ■ أمسك بمرآة جيب على بعد ذراع من وجهك، ولاحظ كم ترى منه. لرؤية المزيد من وجهك، هل من المفروض أن تكون المرآة أبعد عن وجهك أم أقرب إليه؟ أم هل يجب عليك تكبير المرآة؟ (جرّب وانظر).

21. ■ من مرآة يغطيها البخار، امسح ما يكفي منه لرؤية كامل وجهك. ما ارتفاع المنطقة الممسوحة مقارنة بأبعاد وجهك؟

22. ■ دَحْرِجْ زوجًا من عجلات لعبة بشكل مائل على سطح أملس على منطقتين من العشب: الأولى على شكل مثلث، والأخرى على شكل مستطيل، كما هو مبين. السطحان الأملسان مائلان بحيث إنه بعد التباطؤ تبدأ السّرعة في الازدياد عند خروجها نحو السطح الأملس مرة ثانية. أكمل الرسم بتوضيح مواقع العجلات داخل كل منطقة وعلى الوجه الآخر من المنطقة، لتحديد مساريهما.



23. ■ دخلت نبضة من الضَّوء الأحمر ونبضة أخرى من الضَّوء الأزرق إلى لوح زجاج في الوقت نفسه بشكل عمودي على سطحه. بدقة، أيهما سيخرج أولًا بعد مرورهما من خلال الزّجاج؟

24. ■ لا يكون القمر خلال الخسوف الهلالي مظلمًا بالكامل، ولكنه أحمر غامق اللون. فسِّر ذلك بدلالة الانكسار لغروب الشّمس وشروقها حول العالم؟

25. • افترض أنّ أشعّة الشّمس سقطت على نظارتين: الأولى للقراءة والأخرى شمسية سوداء. أيّ النظارتين ستكون أسخن؟ علل إجابتك.

26. • في محل لبيع الملابس مُضاء بمصابيح فلورية فقط، أصرّ أحد الزبائن على أن يجرب الملابس خلال النهار في الخارج لفحص ألوان الملابس. هل هو محقّ في طلبه؟ فسّر.

27. ■ يبين منحنى إشعاع الشّمس (الشّكل 32.11) أنّ أشد سطوع لضوئها يكون في منطقة الأصفر – الأخضر. إذن، لماذا نرى الشّمس تميل إلى الأبيض بدلًا من الأصفر - الأخضر؟ (مساعدة: خذ في الحسبان عرض منحنى إشعاع الشّمس).

28. ■ إذا عُطيّ كشاف ضوئيّ بحيث لا ينفذ الضَّوء الأصفر من فتيلته السّاخنة البيضاء، فما لون الضَّوء النافذ؟

29. ■ كيف تستخدم الأضواء الكاشفة في المسارح لجعل الملابس الصفراء للممثلين تتغير فجأة إلى اللون الأسود؟

30. • ما لون الحبر الذي تستعمله الآلة الطابعة الملونة النفاثة لإنتاج الألوان جميعها؟ هل تتشكل الألوان بإضافة الألوان أم بطرحها؟

31. ■ تجد أدناه صورة لمؤلفة العلوم سوزان Suzanne مع ابنها الذي يلبس الأحمر وابنتها التي تلبس الأخضر. وفي الأسفل الصورة السلبية للصورة نفسها، والتي تظهر ألوانًا مختلفة. ما تفسيرك؟

32. • تأمّل الشّكل 33.11 لترى العبارات الثلاث الأولى التالية صحيحة، ثم أكمل الكلمة الناقصة في العبارة الأخيرة. (تنتج الألوان جميعها بإضافة الضَّوء):

الأحمر + الأخضر + الأزرق = الأبيض.

الأحمر + الأخضر = الأصفر = الأبيض – الأزرق

الأحمر + الأزرق = البنفسجيّ= الأبيض – الأخضر.

الأخضر + الأزرق = الأزرق الداكن = الأبيض - _____.

33. • ما البديل الصحيح فيما يلي: يبدو الموز الناضج أسود عندما يضاء بـ: (أ) الأحمر. (ب) الأصفر. (ج) الأخضر. (د) الأزرق.

34. ■ عندما يشعّ ضوء أبيض على حبر أحمر ناشف على لوح زجاجيّ صافٍ، فإنّ اللون النافذ هو الأحمر. ولكن اللون المنعكس ليس أحمر. كيف يكون هذا؟

35. • حدّق مدة ثلاثين ثانية في العلم الأمريكي، ثم أعد التحديق في حائط أبيض. ما الألوان التي تراها في ظلّ العلم الذي يظهر على الحائط؟

36. ■ لماذا لا ترى النجوم خلال النهار؟

37. ■ لماذا تبدو السّماء زرقاء داكنة عندما تنظر إليها من ارتفاع شاهق؟ (مساعدة: ما صورة "السّماء" على القمر؟).

38. ■ لماذا يظهر دخان نار مائل إلى الزرقة مقابل الأشجار بالقرب من الأرض، ولكنه مائل إلى الاصفرار مقابل السّماء؟

39. ■ تشتّت الجسيماتُ الصغيرة كالأجراس الصغيرة الأمواجَ العالية التردد. أمّا الجسيماتُ الكبيرة كالأجراس الكبيرة فتشتّت الأمواجَ المنخفضة التردد. في حين تشتّت الجسيماتُ ذات الحجم المتوسط والأجراس المتوسطة التّردّداتِ المتوسطةَ. ما علاقة هذا بميل الغيوم إلى اللون الأبيض؟

40. ● تمتص الأجسامُ الكبيرة جدّا كقطرات الماء إشعاعاتٍ أكثر مما تشتّت. ما علاقة هذا باللون الداكن للغيمة الماطرة؟

41. ■ إذا علمت أنّ سمك الغلاف الجويّ للمشتري أكثر من 1000 كم، هل تتوقع أن ترى الشّمس بيضاء من سطح هذا الكوكب؟

42. ■ في أثناء تفسيرك لشخص على الشاطئ للون الماء الأزرق الداكن، في حين يشير هو إلى رأس قمة موجة مرتدة بيضاء، ويسألك: لماذا هي بيضاء؟ ما جوابك؟

43. ■ إذا وقفت وظهرك نحو الشمس، فسترى قوس المطر دائريًّا. هل يمكن أن تتحرك جانبًا، وترى القوس كجزء من إهليلج بدلًا من جزء من دائرة (مثلما يقترح الشّكل 47.11).

44. ● لا يرى مراقبان يقفان بينهما مسافة قوسَ المطر نفسه. فسّر.

45. ■ يمكن أن يكون منظرُ قوس المطر من طائرة دائرةً كاملة. أين يظهر ظلّ الطائرة؟ فسّر.

46. ● ما نسبة الضَّوء النافذ من مرشحين مثاليين من البولاريود أحدهما فوق الآخر ومحور الاستقطاب لكلّ منهما موازٍ للآخر إذا كان محورا الاستقطاب متعامدين؟

47. ■ كيف يمكن استخدام مرشح بولاريود واحد ليبين أنّ السّماء مستقطبة جزئيًّا؟ (من المثير جدًّا على عكس البشر، أن النحل والعديد من الحشرات تميز الضَّوء المستقطب، وتستخدم هذه المقدرة في الملاحة).

48. ♦ لا ينفذ الضَّوء من خلال مستقطبين يكون محورا استقطابها متعامدين. ولكن إذا وضعنا مستقطبًا ثالثًا بينهما بحيث يكون محور استقطابه مصفوفًا في المنتصف بينهما (يصنع محوره زاوية 45° مع محور استقطاب كل منهما)، فإنّ بعض الضَّوء ينفذ. لماذا؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● تجبر الإلكترونات على الاهتزاز في برج محطة إذاعة إلى أعلى وإلى أسفل البرج 535,000 مرة في كلّ ثانية. ما طول موجة أمواج الرّاديو المتكونة؟

2. ● وُجهت نبضة ضوء ليزر إلى القمر ورجعت إلى الأرض. إذا علمت أنّ المسافة بين الأرض والقمر 3.8×10^{8} متر، فبيّن أنّ زمن الرحلة (ذهابًا وإيابا) للضَّوء 2.5 ثانية.

3. ● أقرب نجم بَعْد الشّمس هو ألفا سنتوري (Alpha centauri) وهو على بعد 4.2×10^{16} متر. إذا كنا نستقبل رسالة من هناك في هذا اليوم فبيّن أنّ هذه الرسالة قد أرسلت قبل 4.4 سنة.

4. ● يبلغ تردد الضَّوء الأزرق-الأخضر نحو 6×10^{14} هرتز. استخدم العلاقة $c = f\lambda$ ، وبيّن أنّ طول هذه الموجة في الهواء 5×10^{-7} متر؟ ما طول هذه الموجة مقارنة بحجم الذرة، وهي في حدود 10^{-10} متر؟

5. ■ تستخدم بعض تجهيزات الرادار لتعقب الطائرات، ببثّ إشعاعات كهرومغناطيسية بطول موجة مقداره 3 سم. (أ) بيّن أنّ تردّد هذا الإشعاع 10 جيجاهرتز. (ب) بيّن أنّ الزّمن اللازم لوصول نبضة موجات الرّادار إلى طائرة على بعد 5 كم ورجوعها 3.3×10^{-5} ثانية.

6. ● علق عنكبوت بخيط من الحرير على مستوى العين على بعد 20 سم من أمام مرآة مستوية. إذا كنت خلف العنكبوت، وعلى بعد 50 سم أمام المرآة، فبيّن أنّ المسافة بين عينيك وصورة العنكبوت في المرآة 70 سم.

7. ■ عند سقوط ضوء عموديًّا على الزّجاج، ينعكس نحو 4% منه عند كل سطح. بيّن أنّ كمية الضَّوء النافذ من لوح زجاج هي 92% تقريبًا.

8. ■ تتناقص سرعة الضَّوء في بعض أنواع البلاستيك لتصبح (0.75) c). (أ) ما التغير في تردد الضَّوء في البلاستيك؟ (ب) ما التغير في طول موجته؟

أنشطة استكشافية

1. أيّ العينين تستخدمها أكثر؟ لاختبار أيهما أفضل؟ ارفع إصبعًا وذراعك ممدودة، وعيناك مفتوحتان، انظر أبعد من الإصبع إلى جسم ما. والآن، أغمض عينك اليمنى. إذا بدا وكأن إصبعك قفز إلى اليمين، فأنت تستخدم عينك اليمنى أكثر.

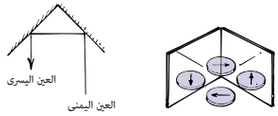
2. حدّق في قطعة من الورق الملوّن مدة 45 ثانية أو أكثر. ثم انظر إلى سطح أبيض مستو. ستجد أنّ المخاريط في مستقبلات شبكيتك تصبح مرهقة. لذا، فأنت ترى ما بعد الصورة للألوان المتتامة عندما تنظر إلى المنطقة البيضاء. ويعزى هذا إلى أنّ المخاريط المتعبة ترسل إشارات ضعيفة إلى المخّ. تنتج الألوان جميعها اللون الأبيض، في حين ينتج مزجُ الألوانِ جميعها ناقص أحد الألوان اللونَ المتممَ للون الناقص. جرّب وانظر!

3. قلّد غروب الشّمس: أضف عدة قطرات من الحليب إلى كأس ماء، وانظر إلى مصباح ضوء عبر الكأس. يبدو المصباح أحمر أو برتقاليًّا فاتحًا، في حين يبدو الضَّوء المتشتت من الجوانب أزرق. جرّب وانظر.

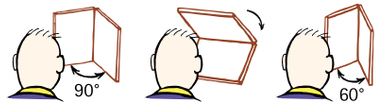
4. اكتب رسالة إلى أجدادك وأخبرهم عن أسباب زرقة السّماء، واحمرار شروق الشّمس وغروبها، وسبب لون الغيوم الأبيض في العادة. فسّر أنّ معرفة الأسباب تضيف إلى الإعجاب بالطبيعة ولا تنقص منها.

5. ضع مرآتين صغيرتين بحيث تصنعان زاوية قائمة معًا، ثم ضع قطعة نقدية بينهما. سترى أربع قطع نقدية. غيّر الزاوية بينهما وانظر إلى عدد صور القطع النقدية التي تراها. انظر إلى وجهك عندما تكون الزاوية عمودية، ثم اغمز. ماذا ترى؟ ستـــرى نفسك كما

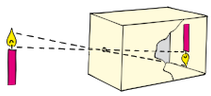
يراك الآخرون. ارفع صفحة مطبوعة إلى ارتفاع المرآتين وقارن مظهرها مع الانعكاس من مرآة واحدة.



6. أدر زوجًا من المرايا، واجعلهما متعامدتين. هل تدور صورتك أيضًا؟ ضع المرآتين بحيث تكون الزاوية بينهما 60° ويمكن رؤية وجهك. أدر المرآتين مرة أخرى وانظر ما إذا كانت صورتك تدور أيضًا؛ إنه لشيء مدهش!



7. صنع آلة تصوير بثقب صغير. الموضحة أدناه. اقطع أحد وجوه صندوق كرتون صغير، ثم غلّف هذا الوجه بورقة أو ورق مشمع. اثقب ثقبًا صغيرًا في الوجه المقابل. (إذا كان الكرتون سميكًا، اعمله من خلال قطعة من رقائق الألومنيوم موضوعة فوق فتحة في الصندوق.) وجّه آلة التصوير إلى جسم ساطع في غرفة مظلمة. سترى صورة مقلوبة على الورق الرقيق. إذا بدّلت الورق الرقيق في الغرفة المظلمة بفيلم تصوير غير مكشوف، فغطِّ الخلف بحيث لا يمر الضَّوء، ثم غطِّ الثقب بغطاء يمكن إزالته. أنت الآن جاهز لالتقاط صورة. تختلف أزمنة التعرض، ويعتمد ذلك في الأساس على نوع الفيلم وكمية الضَّوء. جرّب أزمنة تعرض مختلفة مبتدئًا بثلاث ثوانٍ. وجرّب أيضًا صناديق أخرى بأطوال مختلفة. سترى أنّ كلّ شيء تحت دائرة الضَّوء في صورتك، ولكن الصور لن تكون محددة وواضحة. إنّ العدسة في آلة التصوير التجارية هي أكبر كثيرًا من الثقب، لذا يدخل ضوء أكثر في زمن أقلّ. ومن هنا ظهر تعبير *لقطة خاطفة*.



اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيّدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقلّ. وإن لم تتمكن من ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل اللاحق.

اختر أفضل إجابة لكلّ مما يأتي:

1. يغطي طيف الموجات الكهرومغناطيسيّة مدى يمتد من الترددات الأقلّ إلى الأعلى. إنّ أصغر جزء في الطّيف الكهرومغناطيسيّ هو:
أ. الأمواج الرّاديويّة.
ب. الأمواج الميكروويّة.
جـ. الضَّوء المرئيّ.
د. إشعاعات جاما.

2. بكلام دقيق، تكون فوتونات الضَّوء التي تسقط على الزّجاج هي:
أ. نفسها التي تنتقل خلال الزّجاج وتخرج من الجانب الآخر.
ب. ليست نفسها التي تنتقل خلال الزّجاج وتخرج من الجانب الآخر.
جـ. التي تُمتص وتتحول إلى طاقة حراريّة.
د. التي تحيد.

3. ينطبق قانون الانعكاس على:
أ. الضَّوء.
ب. الصّوت.
جـ. الضّوء والصوت.
د. لا شيء مما ذكر.

4. عند مرور شعاع ضوئيّ عند زاوية من الهواء إلى الماء، يميل الشّعاع داخل الماء:
أ. نحو العمود.
ب. بعيدًا عن العمود.
جـ. إما بعيدًا أو في اتجاه العمود.
د. موازيًا للعمود.

5. لا يظهر الجوري الأحمر أحمر عند إضاءته فقط بـ:
أ. الضَّوء الأحمر.
ب. الضَّوء البرتقالي.
جـ. الضَّوء الأبيض.
د. الضَّوء الأزرق الداكن.

6. يتداخل كلّ من الضَّوء الأحمر، والأخضر، والأزرق الداكن لتكوين الضّوء:
أ. الأحمر.
ب. الأخضر.
جـ. الأزرق.
د. الأبيض.

7. عندما ينتقل الضَّوء من وسط إلى آخر وتتغير السّرعة، نسمّي هذه العملية:
أ. انعكاسًا.
ب. تداخلا.
جـ. تشتّتًا.
د. لا شيء مما ذكر.

8. عندما يسقط ضوء على منشور ينفصل الضَّوء إلى طيف. ونسمّي هذه العملية:
أ. استقطابًا.
ب. تداخلا.
جـ. تشتّتًا.
د. لا شيء مما ذكر.

9. يوضح قوس المطر خصائص:

أ. الانعكاس.
ب. الانكسار.
جـ. التّشتّت.
د. جميع ما ذكر.

10. يحدث الاستقطاب للموجات:
أ. الانتقالية.
ب. الطولية.
جـ. الانتقالية والطولية.
د. لا شيء مما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

إ10، ج9، ج8، ب7، د6، ج5، ب4، ج3، ب2، ج1

الفصل 11 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 11.2، 11.3، 11.10، 11.19، 11.33، 11.34، 11.41، 11.58

دروس تعليمية

- الضوء والتحليل الطيفي
- اللون

أشرطة فيديو

- الضوء والمواد الشفافة
- تكون الصور في المرآة
- نموذج الانكسار
- الظلال الملونة
- لون الشمس الأصفر- الأخضر عند الذروة
- لماذا تبدو السماء زرقاء في حين يكون غروب الشمس أحمر
- التداخل في فقاعة الصابون — قوس المطر
- الاستقطاب والعرض ثلاثي الأبعاد

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط