قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد تدريس هذا الكتاب بمدارسها الثانوية

فيز/٣٢٤

الفيزياء ٦

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

الطبعة الأولى التجريبية
١٤٣٢ هـ - ٢٠١١ م

McGraw Hill Education

العبيكان Obeikan

Original Title:
Physics
Teacher Wraparound Edition
By:
Paul W. Zitzewitz
Todd George Elliott
David G. Haase
Kathleen A. Harper
Michael R. Herzog
Jane Bray Nelson
Jim Nelson
Charles A. Schuler
Margaret K. Zorn

الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للأبحاث والتطوير

التحرير والمراجعة والمواءمة
د.أحمد محمد رفيع
زهير يوسف حداد
ربحي سعيد حميدي
رويدة مصطفى جابر

التعريب
موسى جابر عبابنة
هنادي لطفي القرعان
محي الدين جابر عبابنة

التحرير اللغوي
عمر الصاوي
أحمد عبدالمنعم عليان
حسن فرغلي

المواءمة المحلية لنسخة مملكة البحرين
د. سمير عبد سالم الخريسات
طه صافي

مراجعة نسخة مملكة البحرين
يوسف محفوظ
فاطمة الأحمد

إعداد الصور
د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

www.macmillanmh.com

Mc Graw Hill Education

العبيكان Obeikan

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

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

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٩م.

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

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

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المفدى

أخي المعلم/ أختي المعلمة

يأتي دليل المعلم لكتاب الفيزياء ٦ في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم وتحديثها في مملكة البحرين، والذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم تلك المادتين وتعلمهما.

لقد وضع هذا الدليل بحيث يرتبط مباشرة بكتاب الطالب، ويتضمن كمًّا كبيرًا من المعلومات والإرشادات المتعلقة باستراتيجيات التدريس والتقويم والمعلومات الإضافية، والعروض العملية بأشكالها المختلفة، فضلاً عن المصادر التقنية واستخدام الإنترنت، مما يوفر لك خيارات لا حصر لها في إنجاح عملية التعليم والتعلم وتنفيذها وفق أحدث الأساليب التربوية. وإننا نرجو منك خلال تنفيذك للدروس التركيزَ على مشاركة الطلبة الفاعلة، ومنها التعلم الذاتي، والعمل في مجموعات، والمشاركة في النقاشات، والنشاطات العملية، والعروض الصفية، والمشاريع البحثية وغيرها.

ونحن إذ نضع بين يديك هذا الدليل، فإننا نأمل أن يكون لك مرشدًا ومصدرًا مهمًّا في تخطيط الدروس، وتنفيذها، بما يتلاءم مع مستويات الطلبة، والبيئة الصفية، وأهداف المنهاج، وفي الوقت نفسه نرجو ألا يقيدك هذا الدليل، بل يكون مساعدًا على تنمية مهاراتك التعليمية، وإبراز قدراتك الإبداعية في وضع البدائل، حيثما رأيت ذلك مناسبًا.

والله نسأل أن يحقق هذا الدليل الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالانسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للانسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، والبس قناعاً (كمامة) وقفازات.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع ارشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتدي قناعًا (كمامة).	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل، التماس الكهربائي منسكبة، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، الصوف الفولاذي، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد القفازات وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي يمكن أن تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات، مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا، وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارات واقية، وقفازات، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم، إذا ابتلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الاسيتون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب المشتعل عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للاسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للإشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للاسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارات واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارات الواقية.

أدوات تدريس الفيزياء

جدول المحتويات

نسخة الطالب T1

نسخة دليل المعلم T5

مصادر المعلم في غرفة الصف T7

السلامة في المختبر T9

قائمة التجهيزات T11

جدول توزيع الحصص لمقرر الفيزياء 6 ..... T13

قائمة المحتويات 7

التهيئة

كتاب الفيزياء: يوضح للطلبة كيفية ارتباط الفيزياء بحياتهم وبالعالم من حولهم، ولقد جاء التصميم جذابًا وسهل المتابعة، ومن خلال العرض سيتم مراجعة الرياضيات ومهارات حل المسائل وتعزيزها.

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على تقديم أهداف الفصل.

الأهمية توفر إجابة مقنعة للسؤال التالي: لماذا نتعلم هذا؟

فكّر يُطرح فيه سؤال يربط محتويات الفصل بالحياة اليومية بحسب ما جاء في صورة غلاف الفصل.

نسخة الطالب

التدريب على حل المسائل

الأمثلة توفر للطالب نماذج لأمثلة محلولة على بعض المسائل الواردة في النص، وتوفر الاستراتيجيات باللون الأزرق أفكارًا مفيدة لحل المسائل.

المسائل التدريبية تعزز المفاهيم الواردة في النص بالإضافة إلى المفهوم في الأمثلة المحلولة.

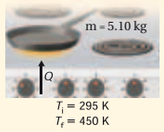
مسائل التحدٍّ تزوّد الطالب بالفرصة لتطبيق المبادئ التي تعلّمها على أمثلة أكثر تعقيدًا.

مثال 1

انتقال الحرارة إذا تم تسخين مقلاة من الحديد الصلب كتلتها 5.10 kg على موقد؛ فارتفعت درجة حرارتها من 295 K إلى 450 K، فما مقدار كمية الحرارة التي يكتسبها الحديد؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم تدفق الحرارة نحو المقلاة من قمة الموقد.



المعلوم	المجهول
$m = 5.10\ kg$ $\quad C = 450\ J/kg.K$	$Q = ?$
$T_i = 295\ K$ $\quad T_f = 450\ K$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن $m = 5.10\ kg$ ،$C = 450\ J/kg.K$ ،$T_i = 295\ K$ ،$T_f = 450\ K$

$$Q = m\,C\,(T_f - T_i)$$
$$= (5.10\ kg)\,(450\ J/kg.K)\,(450\ K - 295\ K)$$
$$= 3.6 \times 10^5\ J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الحرارة بوحدة J.
- **هل تدل الإشارة على شيء؟** زادت درجة الحرارة، لذا تكون Q موجبة.

مسائل تدريبية

3. عندما تفتح صنبور الماء الساخن، لغسل الأواني، فإن أنابيب المياه تسخن. فما مقدار كمية الحرارة التي يكتسبها أنبوب ماء نحاسي كتلته 2.3 kg عندما ترتفع درجة حرارته من 20.0 °C إلى 80.0 °C؟
4. يحتوي نظام التبريد لسيارة على 20.0 L من الماء. إذا علمت بأن كتلة لتر واحد من الماء تساوي 1kg، فأجب عما يأتي :
   a. إذا اشتغل المحرك حتى اكتسب 836.0 kJ من الحرارة، فما مقدار التغير في درجة حرارة الماء؟
   b. إذا كان الفصل شتاءً، ونظام التبريد في السيارة مملوءًا بالميثانول ذي الكثافة 0.80 g /cm³ فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الميثانول إذا اكتسب 836.0 kJ من الحرارة؟
   c. أيهما يُعد مبرِّدًا أفضل، الماء أم الميثانول؟ فسِّر إجابتك.

ربط الفيزياء بالحياة الواقعية

الإثراء العلمي يتناول الموضوعات التي يراها الطالب مثيرة للاهتمام، وتحتوي مواد هذه الموضوعات على مفاهيم فيزيائية متقدمة.
كيف تعمل الأشياء نصوص توضح للطالب كيف تُستخدم مبادئ الفيزياء في الأدوات والأجهزة المألوفة.

التجارب العملية

يوفر كتاب الفيزياء خبرة عملية من خلال عدة تجارب مختارة، تعكس طبيعة العلم بصورة عامة، وتزداد معها ثقة طلبتك وتنمو خبراتهم لاستكشاف تقدم العلم وتطبيق مبادئ الفيزياء التي تعلموها.

تجارب قصيرة

تجربة استهلالية توضع في بداية كل فصل، وهي طريقة فعالة وسهلة مهمتها تقديم محتويات الفصل للطالب.

تجربة توجد في كتاب الطالب وأخرى إضافية في كتاب المعلّم، وهي أنشطة سهلة العمل، وتساعد الطالب على فهم المبادئ الفيزيائية. ويمكن أن تجد تجربة واحدة على الأقل من هذا النوع في كل فصل.

تجارب متكاملة (مختبر الفيزياء)

يحتوي كل فصل على صفحتين من التجارب المتكاملة التي تستغرق حصة كاملة أو أكثر.

تجربة

الأنصهار

1. ضع إشارة A، وإشارة B على كأسين مصنوعتين من مادة جيدة العزل (مثل كؤوس الاستعمال لمرة واحدة المصنعة من الفلين الصناعي).
2. اسكب في كل كأس 75 ml من الماء عند درجة حرارة الغرفة، وامسح أي ماء منسكب.
3. ضع مكعب جليد في الكأس A، وماءً عند درجة التجمد في الكأس B حتى يتساوى مستوى الماء في الكأسين.
4. قس درجة حرارة الماء في كل كأس، وكرّر القياس بعد كل دقيقة حتى ينصهر الجليد.
5. سجل درجات الحرارة في جدول البيانات، ومثلها بيانيًّا.

التحليل والاستنتاج

6. هل يصل الماء في الكأسين إلى درجة الحرارة النهائية نفسها؟ لماذا؟

مختبر الفيزياء

التسخين والتبريد

عند وضع دورق ماء على صفيحة تسخين، فإنّ الحرارة تنتقل في البداية إلى الدورق، ثم إلى الماء في قاع الدورق بالتوصيل، ثم ينقل الماء الحرارة من القاع إلى أعلى، من خلال حركة الماء الساخن إلى القمة، بوساطة الحمل الحراري. وعند إزالة أو فصل مصدر الحرارة، يشع الماء طاقة حرارية حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة. وتعتمد السرعة التي يسخن بها الماء على كمية الحرارة المكتسبة، وكتلة الماء، والسعة الحرارية النوعية له.

سؤال التجربة

كيف يؤثر تزويد الماء بالطاقة الحرارية بمعدل ثابت في درجة حرارته؟

الأهداف

- تقيس درجة الحرارة، والكتلة بالوحدات الدولية.
- تنشئ الرسوم البيانية وتستخدمها للمساعدة على وصف تغير درجة حرارة الماء عند تسخينه وتبريده.
- تفسر أوجه التشابه، والاختلاف بين هذين التغيرين.

احتياطات السلامة

- احذر عند التعامل مع صفيحة السخان الكهربائي الحارة.

المواد والأدوات

سخان كهربائي (أو فب بنسن)
دورق زجاجي حراري سعته 250 ml
مقياسا درجة حرارة (غير زئبقيين)
ساعة وقف

الخطوات

1. شغل السخان الكهربائي على أعلى درجة حرارة ممكنة، أو كما يرشدك المعلم، وانتظر عدة دقائق حتى يسخن.
2. قس كتلة الدورق وهو فارغ.
3. املأ الدورق بمقدار 150 ml من الماء، ثم قس كتلة الدورق والماء.
4. احسب كتلة الماء في الدورق وسجلها.
5. اعمل جدولاً للبيانات.
6. سجل درجة الحرارة الابتدائية للماء والهواء في الغرفة. على ألاّ يلامس قاع مقياس الحرارة قاع الدورق أو جوانبه، أو الطاولة أو اليدين.
7. ضع الدورق على صفيحة السخان الكهربائي، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة 5 دقائق.
8. ارفع الدورق عن الصفيحة بحذر، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة عشر دقائق.
9. سجل درجة حرارة الهواء في نهاية الفترة(10 دقائق).
10. افصل قابس السخان الكهربائي.
11. اترك الأدوات عند الانتهاء حتى تبرد، وتخلص من الماء وفق إرشادات المعلم.

34

جدول البيانات

كتلة الماء	
درجة حرارة الهواء الابتدائية	
درجة حرارة الهواء النهائية	
التغير في درجة حرارة الهواء	

الزمن (دقائق)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد

التحليل

1. احسب التغير في درجة حرارة الهواء لتحديد، ما إذا كانت درجة حرارة الهواء متغيرًا خارجيًا.
2. مثّل بيانيًا العلاقة بين درجة الحرارة (المحور الرأسي) والزمن (المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لرسم المنحنى إذا أمكن ذلك.
3. احسب التغير في درجة حرارة الماء في حالة التسخين.
4. احسب الانخفاض في درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة.
5. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لارتفاع درجة الحرارة، من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على زمن تسخين الماء.
6. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لانخفاض درجة الحرارة، من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على الزمن من لحظة إبعاد مصدر الحرارة.

الاستنتاج والتطبيق

1. لخص ما التغير الذي يطرأ على درجة حرارة الماء عند وضع مصدر الحرارة؟
2. لخص ما التغير الذي يطرأ على درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة مباشرة؟
3. ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد الدقائق العشر التالية؟ وهل تستمر في الانخفاض إلى الأبد؟
4. أيهما بدأ أسرع: تسخين الماء أم تبريده؟ ولماذا تعتقد ذلك؟ ساعده: تفحص قيم الميل التي حسبتها.
5. كون فرضية أين ذهبت الطاقة الحرارية للماء عندما بدأ الماء يبرد؟ ادعم فرضيتك.

التوسع في البحث

1. هل يؤدي وضع مقياس الحرارة في أعلى الماء داخل الدورق إلى إعطاء قراءة مختلفة، عما إذا وضع في قاع الدورق؟ فسّر ذلك.
2. كوّن فرضية لاستنتاج التغيرات في درجة الحرارة، إذا كان لديك الكميات الآتية من الماء في الدورق: 250 ml ، 50 ml.
3. افترض أنك عزلت الدورق المستخدم، فكيف تتأثر قابلية الدورق للتسخين أو التبريد؟

الفيزياء في الحياة

1. افترض أنك استخدمت زيتًا نباتيًا بدلاً من الماء في الدورق. كوّن فرضية حول التغير في درجة الحرارة، إذا اتبعت الخطوات نفسها ونفذت التجربة.
2. إذا أخذت كمية حساء عند درجة حرارة الغرفة، وسخنتها في فرن ميكروويف مدة 3 دقائق، فهل يعود الحساء إلى درجة حرارة الغرفة في 3 دقائق؟ فسّر ذلك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول الطاقة الحرارية ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

35

التقويم

يقدم لك **كتاب الفيزياء** الأدوات التي تحتاج إليها لتهيئ طلبتك للنجاح في أي اختبار. وستجد مسائل وأنشطة تقويمية متنوعة في كل درس.

المراجعة

تشير مسائل المراجعة إلى مدى استعداد طلبتك للانتقال إلى الدرس اللاحق.

دليل الدراسة

مراجعة سريعة تلخص المفردات والمفاهيم الأساسية، بالإضافة إلى أهم المعادلات في كل جزء من الفصل.

تقويم الفصل

يحتوي أربع إلى خمس صفحات من المسائل والتمارين التي تتنوع بين تطوير المفاهيم وتطبيقها والتفكير الناقد والكتابة في الفيزياء .... إلخ. ويستطيع المعلم اختيار نوع المسائل ومستواها المناسب للطلبة.

اختبار مقنن

تقوّم مسائل الاختبار المقنن في نهاية كل فصل مدى تمكن الطالب من المفاهيم والمهارات. ويشتمل دليل المعلم على إجابات كل من أسئلة الاختيار من متعدد، وسلم التقدير لأسئلة الإجابات المفتوحة، وبقية المسائل.

لمحة عن مخطط الدروس

كتاب المعلم هو دليلك إلى مصادر التعليم في كتاب الفيزياء، بالإضافة إلى استراتيجيات التدريس وبعض الاقتراحات.

أدوات التخطيط

مخطط الفصل يوفر التخطيط للتجارب والعروض.

نظرة عامة إلى الفصل مقدمة توضع بجوار صورة الفصل بحيث تصف محتوياته.

فكّر الإجابة عن السؤال الموجود في كتاب الطالب وربطه بمادة الفصل.

المفردات الرئيسة قائمة بأهم المفاهيم والمصطلحات مرتبة كما سترد في الفصل.

الفصل 2

حالات المادة

الفصل 2

حالات المادة

States of Matter

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على:

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

الأهمية

إن القوى التي تؤثر بها المواقع لمكّننا من السباحة والغطس، ولمكّن المناطيد من الطفو، والطائرات من الطيران.

ينبغي عند تصميم المباني، والطرق، والجسور، والآلات مراعاة التمدد الحراري.

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

فكّر

كيف تستطيع الغواصة أن تطفو على سطح المحيط وتغوص عميقًا تحت الماء؟

الفيزياء

www.obeikaneducation.com

44

نظرة عامة إلى الفصل

يجمع هذا الفصل مفاهيم الطاقة الحرارية والقوة لوصف السوائل والغازات والمواد الصلبة. ويصف الجزء الأول خصائص المواقع (السوائل والغازات)، ويطوّر فهم موضوع الضغط. كما يَرد موضوع درجة الحرارة مرة أخرى في وصف التمدد الحراري للمواد الصلبة والغازات.

فكّر

تحافظ الغواصة على التوازن بين قوة الجاذبية الأرضية التي تسحبها إلى أسفل، وقوة طفو الماء التي تدفعها إلى أعلى، كالأسماك تمامًا. فبعض أنواع الأسماك تنظّم عمقها في الماء بوساطة المثانة الهوائية، والتي باستطاعتها التمدد والانكماش لزيادة الطفو أو تقليله. تحوي الغواصة خزانات يمكن ملؤها بالماء لتقليل الطفو، مما يمكنها من الغوص إلى أعماق أكبر. ولكي ترتفع إلى السطح تُملأ الخزانات بالهواء المضغوط لزيادة الطفو.

المفردات الرئيسة

- المواقع
- الضغط
- الباسكال
- القانون العام للغازات
- قانون الغاز المثالي
- التمدد الحراري
- البلازما
- قوى التماسك
- قوى التلاصق
- مبدأ باسكال
- قوة الطفو
- مبدأ أرخيدس
- مبدأ برنولي
- خطوط الانسياب
- الشبكة البلّورية
- المواد الصلبة غير البلورية
- معامل التمدد الطولي
- معامل التمدد الحجمي

تجربة استهلالية

الهدف عرض مفهوم الطفو.

المواد والأدوات أسطوانة مدرّجة سعتها 500 ml، ماء، ميزان نابضي، عبوة صغيرة مرفقة بغطاء أو سدادة، 12 قطعة نيكل.

استراتيجيات التدريس

***تحذير:** ذكر الطلبة بضرورة مسح أي كمية من الماء قد تنسكب على الأرض، وذلك تجنبًا للانزلاق أو السقوط.*

- يخلط بعض الطلبة بين مفهومي الحجم والكتلة. لذا ساعد الطلبة على الربط بين حجم العبوة تحت سطح الماء وحجم الماء المزاح، واطلب إليهم وضع علامة تحدد المستوى الابتدائي لسطح الماء؛ وذلك لإجراء المقارنة.

النتائج المتوقّعة عندما تكون العبوة فارغة فإن جزءًا قليلًا منها ينغمر تحت سطح الماء. وكلما أضاف الطلبة قطعًا من النيكل انغمرت العبوة في الماء أكثر، حتى تنغمر تمامًا. ويكون وزن العبوة المغمورة في الهواء أكبر من وزنها الظاهري في الماء.

مستويات وأنماط التعلم

طرائق تدريس متنوعة

وُضعت رموز المستويات في دليل المعلم لمساعدتك على التعامل مع الطلبة من مختلف المستويات.

المستوى 1: 1م أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.

المستوى 2: 2م أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.

المستوى 3: 3م أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط)

وقد أُدرجت أنماط التعلم المناسبة بعد الرموز 1م ، 2م ، 3م ، وهي:

- **حسي – حركي**: يتعلم الطلبة من خلال اللمس والحركة واللعب بالأشياء.
- **بصري–مكاني**: يتعلم الطلبة من خلال الصور، والصور التوضيحية، والنماذج.
- **منطقي–رياضي**: يستوعب الطلبة الأرقام بسهولة ويمتلكون مهارات تفكير على درجة عالية من التطور.
- **لغوي**: يكتب الطلبة بوضوح ويستوعبون الكلمات المكتوبة بسهولة.
- **سمعي**: يتذكر الطلبة الكلمات المنطوقة، ويمكنهم عمل إيقاعات وألحان.
- **متفاعل**: يستوعب الطلبة ويتعلمون بشكل جيد من خلال العمل مع الآخرين.
- **ذاتي**: يفيد في تحليل مواطن القوة والضعف لدى الطلبة الذين يميلون إلى العمل بمفردهم.

نشاط — **طرائق تدريس متنوعة**

إعاقة بصرية ضع قطرات من زيت النعناع في صحن تبخير، وقطرات من زيت القرنفل في صحن آخر، ثم ضع الصحن الذي يحتوي على زيت النعناع على سخان كهربائي على أن يكون التسخين منخفضًا، وضع الصحن الذي يحتوي

نشاط — **متقدم**

درجات حرارة الانصهار في المحاليل تتغير درجتا حرارة الانصهار والغليان للماء عند إضافة مذاب إليه حتى يتكون محلول. فعلى سبيل المثال، يُنثر الملح على

نشاط — **مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلم**

حفظ مسار تبادل الحرارة يواجه الطلبة في أغلب الأحيان مشاكل في حسابات درجات الحرارة النهائية في المسعر؛ وذلك لأنهم يسيئون استعمال الإشارات

دورة التعليم الفعّال

تم ترتيب عناصر نسخة المعلم بما يتناسب مع كل درس في نسخة الطالب وتنظيمها في ثلاث خطوات تشكّل دورة التعليم هي:

1. **التركيز** عناصر لتقديم الدرس.
2. **التدريس** عناصر تزودك بمقترحات للتعليم، وتساعدك على توصيل محتوى الدرس للطلبة.
3. **التقويم** عناصر تساعدك على مراقبة تطور معرفة الطلبة.

سوف تشتمل كل خطوة من دورة التعليم على بعض العناصر الموضحة أدناه أو جميعها:

1. التركيز

نشاط محفز

اللزوجة ودرجة الحرارة اسكب مائعًا كثيفًا ببطء كسائل غسيل الشعر أو الدبس مثلًا في إناء مختبر فارغ، ثم بيّن للطلبة أن هناك عاملاً واحدًا يؤثر في كيفية حركة السوائل، وهو اللزوجة أو مقاومة التدفق. تحدد قوى التجاذب بين الجزيئات مدى سهولة حركتها بعضها فوق بعض. كما تسبب هذه القوى (بين الجزيئية) أيضًا التوتر السطحي في السائل. لذا اطلب إلى الطلبة وصف كيفية حركة المائع عند سكبه. يتحرك ببطء، كما يلتصق أيضًا بسطح إناء المختبر. وأشر إلى أن درجة الحرارة تؤثر في اللزوجة. إن صعوبة انسكاب العسل والدبس في الأجواء الباردة تعود إلى أن اللزوجة تزداد في الطقس البارد. **١٢ بصري – مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

نماذج المواد ترتبط الطاقة الحرارية للمادة مع الطاقة الحركية للجسيمات التي تكوّنها (الفصل السابق). لذا قم بمراجعة وصف جسيمات الغاز التي تتحرك بحرية، ونموذج المادة الصلبة المتمثل في الجسيمات المتصلة معًا بوساطة النوابض.

2. التدريس

التفكير الناقد

قوى التماسك واللزوجة تنتج اللزوجة عن قوى التماسك في المائع. اسأل الطلبة إذا كان من الممكن وجود قوى تماسك في الغاز. نعم للهواء – وهو خليط الغازات الأكثر شيوعًا – لزوجة قليلة جدًّا، كما أن قوى التماسك بين جزيئاته صغيرة جدًّا. اسأل الطلبة: كيف يمكن ملاحظة لزوجة الهواء؟ يتضح ذلك في نفق الهواء، حيث يجعل الدخان حركة الهواء

1. التركيز

نشاط محفّز عرض قصير أو نشاط يوضح محتوى الدرس، ويجذب انتباه الطلبة.

الربط مع المعرفة السابقة يربط الدرس الحالي بالفصول أو الدروس السابقة.

2. التدريس

نشاط يعزز المفاهيم المهمة من خلال التجريب اليدوي.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة تناقش الأفكار غير الصحيحة التي تكونت لدى الطلبة حول بعض المفاهيم العلمية.

استخدام الشكل التركيز على الأشكال التي تتطلب مساعدة المعلم في تفسيرها، أو التي تصلح أن تكون موضوع للمناقشة، أو النشاط بين الطلبة.

مثال صفي مسائل تظهر دائمًا بجانب الأمثلة في نسخة الطالب. استخدم هذه المسائل لتعزيز المفاهيم الواردة في الفصل.

تطوير المفهوم استراتيجيات التدريس تزيد من فهم الطالب لموضوع ما.

التفكير الناقد أسئلة تشجع الطلبة على تحليل المفاهيم التي يعرفونها، أو يقرؤون عنها، واستخلاص نتائج جديدة حولها.

تعزيز الفهم أنشطة تؤكد على المفردات والمفاهيم والعلاقات التي ترد في الفصل.

استخدام النماذج نشاط يقوم الطالب من خلاله بعمل أو استخدام نموذج لتوضيح مفاهيم مجردة.

استخدام التشابه استخدام المقارنة مع أحداث شائعة لجعل المفاهيم المجردة أكثر رسوخًا لدى الطلبة.

المناقشة تشتمل على سؤال يمكن أن يناقش من قبل مجموعات صغيرة أو من طلبة الصف، وتحتاج الإجابة إلى التفكير الناقد وتطبيق المفاهيم التي وردت في الفصل.

تطبيق الفيزياء تقدم معلومات تشكل خلفية نظرية و/ أو استراتيجية تدريس، ترتبط بالموضوع الوارد في نسخة الطالب.

الفيزياء في الحياة تلقي الضوء على أمثلة تطبيقية للفيزياء من الحياة الواقعية.

مهن في الحياة تصف المهن التي تشتمل على الفيزياء.

من معلم لآخر تقدم أفكارًا تعليمية صحيحة ومجرّبة، واستراتيجيات تدريس أو أنشطة قام بها مدرسو الفيزياء وطبقوها بنجاح في غرف الصف.

الخلفية النظرية للمحتوى تقدم معلومات إضافية حول مفهوم لم يرد في نسخة الطالب. ربما تكون المعلومات ذات مستوى عالٍ لتقدمها للطلبة، لكنها تساعد على توضيح لماذا يحدث شيء ما؟

مشروع فيزياء نشاط يستمر لفترة طويلة نسبيًّا يقوم فيه الطالب بالبحث في موضوعات أو مفاهيم معينة.

3. التقويم

التحقق من الفهم سؤال أو نشاط يمكنك القيام به لإجراء تقويم سريع لاختبار مدى تعلم الطلبة لمفهوم معين.

إعادة التدريس يقترح استراتيجية لعرض المادة بطريقة مختلفة لمساعدة الطلبة على استيعاب محتوى الدرس.

التوسع يقدم سؤالاً أو نشاطًا ذا مستوى متقدم تتطلب معرفته التركيز بعمق أكبر على مفهوم معين.

عرض سريع

التمدد الحراري

الزمن المقترح 10 دقائق

المواد والأدوات دورقان، ماء ثلج (ماء بدرجة حرارة 0°C)، ماء من الصنبور، مقياس حرارة كحولي كبير، نظارات واقية.

الخطوات

املأ دورقًا بماءٍ ثلج، وضع مقياس الحرارة الكحولي فيه، وعندما تنخفض درجة حرارة المقياس أخرجه وضعه في دورق يحوي ماءً من الصنبور. واسأل الطلبة: ما الذي أدى إلى ارتفاع الكحول في المقياس؟ لقد امتص الكحول الطاقةَ الحرارية من الماء الساخن مما جعل السائل يتمدد ويرتفع داخل الأنبوب ذي الحجم الثابت في مقياس الحرارة. اطلب إلى الطلبة توضيح التمدد الحراري للسائل على المستوى الجزيئي. استنادًا إلى نظرية الحركة الجزيئية تزداد الطاقة الحركية للجزيئات بزيادة درجة حرارة السائل. ولأن الجزيئات تتحرك أسرع ويتصادم بعضها ببعض في أغلب الأحيان على نحو أشد، فإنها

3. التقويم

التحقق من الفهم

تجمد الماء على الجسور اسأل الطلبة: ما سبب وجود التحذير التالي بالقرب من الجسور في الدول القريبة من القطب الشمالي: "يتجمد الماء على الجسر قبل تجمد سطح الطريق"؟ يتعرض الجانب السفلي من الجسر لهواء بارد، مما يؤدي إلى تبريد الجسر بسرعة وتجمد أي ماء موجود على سطحه العلوي. م2

التوسع

الملابس الخاصة طورت بعض الشركات مواد خاصة لنسج ملابس للرحالة، والمخيمين، ومتسلقي الجبال، حتى تستخدم في الطقس البارد والمناطق المرتفعة. لذا اطلب إلى الطلبة البحث عن الخصائص المفيدة لتلك المواد، ومنها العزل الليفي، البوليمر للملابس الداخلية والقمصان، الصوف والصوف الصناعي، والبطانيات العاكسة. م2

إدارة الأنشطة في مختبر الفيزياء

يُعد مختبر الفيزياء مكانًا آمنًا لإجراء التجارب إذا ما تم اتخاذ تدابير الحيطة والحذر. وعليك أن تتحمل مسؤولية سلامتك وسلامة طلبتك، وتقدم لهم قواعد السلامة لتجنب وقوع أي حادثة في المختبر ومنها:

1. يجب أن يستخدم مختبر الفيزياء للعمل الجاد.
2. لا تقم بإجراء أي من التجارب غير المصرح بها، واحصل دائمًا على إذن من معلمك.
3. ادرس التجربة قبل مجيئك إلى المختبر، واسأل معلمك إذا كان لديك شك أو استفسار حول أي خطوة.
4. استخدم أدوات السلامة المقدمة لك، واعرف مكان طفاية الحريق، والبطانية المقاومة للحريق، وقواطع الكهرباء وقائمة بمواد السلامة، وموقع غسل العيون، وصندوق الإسعافات الأولية.
5. ارتد دائمًا أدوات السلامة المناسبة كالنظارات الواقية، ومعطف المختبر، وانتعل أحذية السلامة.
6. بلّغ معلمك على الفورعن أيّ حادث أو إصابة أو أي خطأ في الخطوات.
7. أخمد النيران باستخدام بطانية مقاومة للحريق، وإذا تعرضت الملابس للحريق فأخمدها بالبطانية أو بمعطف، أو ضعها تحت الدش، دون أن تركض على الإطلاق.
8. تعامل مع المواد السامة والقابلة للاشتعال أو المشعّة بإشراف مباشر من معلمك. وإذا سكبت حامضًا أو مادة كيميائية تسبب التآكل فأزلها حالًا باستخدام الماء. ولا تتذوق أي مادة كيميائية، ولا تسحب أي مادة سامة بوساطة أنبوب زجاجي باستخدام الفم، واحفظ المواد القابلة للاشتعال بعيدًا عن مصادر اللهب.
9. ضع الزجاج المكسور والمواد الصلبة في الحاويات المخصصة لها. واحتفظ بالمواد غير الذائبة في الماء خارج المغسلة.
10. استخدم الأدوات الكهربائية تحت إشراف معلمك فقط. وتأكد أن المعلم قد تفحص الدائرة الكهربائية قبل أن تُغلقها.
11. تأكد من إغلاق صنبور الماء وأسطوانة الغاز، وفصل التوصيلات الكهربائية بعد الانتهاء من التجربة، ونظّف مكان عملك، وأعد جميع المواد التي استخدمتها إلى أماكنها المناسبة.

الإسعافات الأولية في المختبر

إذا كان مختبر الفيزياء يتطلب احتياطات سلامة خاصة به فسوف يشار إلى ذلك من خلال رموز السلامة، انظر رموز السلامة في بداية الكتاب.

اطلب إلى الطلبة تقديم تقرير بالحوادث والجروح والمواد المسكوبة جميعها أينما لزم.

وعلى الطالب أن يعرف:

- أساليب السلامة في العمل المختبري.
- كيفية تقديم تقرير بحادث، أو إصابة أو جرح أو مادة مسكوبة؟ ومتى يقدمه؟
- مكان مواد الإسعافات الأولية ومستلزماتها، وإنذار الحريق، والهاتف، والمسؤول في إدارة المدرسة.

الموقف	الاستجابة الآمنة
الحروق	سكب الماء على الإصابة بشكل كثيف.
الجروح والكدمات	اتباع التعليمات والإرشادات الموجودة في صندوق الإسعافات الأولية.
الصدمة الكهربائية	تزويد المصاب بالهواء المنعش، ووضعه بشكل مائل بحيث يكون رأس المصاب منخفضًا عن باقي الجسم، وإجراء عملية التنفس الاصطناعي إذا كان ذلك ضروريًّا، وتغطية المصاب ببطانية ليبقى دافئًا.
الإغماء أو الانهيار	استدعاء الإسعاف فورًا.
الحريق	إغلاق صنابير الغاز وإخماد ألسنة اللهب جميعها، ولف الشخص المحترق ببطانية الحريق، واستعمال طفاية الحريق لإخماد النار. واستدعاء رجال الاطفاء إن لزم. لا يجب استخدام الماء لإطفاء الحريق. لأن الماء ربما يتفاعل مع المواد المحترقة مما يتسبب في ازدياد الحريق.
وجود مادة مجهولة في العين	اغسلها بكمية كبيرة من الماء مدة 15 دقيقة على الأقل، وقم بإرسال المصاب إلى المستشفى.
التسمم	ملاحظة العامل السام المشتبه به، والاتصال بمركز مراقبة السموم للحصول على مضاد التسمم (الترياق).
النزف الشديد	استخدام قفازات مطاطية خاصة، والضغط باليد أو بمادة ضاغطة مباشرة على الجرح، وطلب المساعدة الطبية في الحال.
الحروق الناتجة عن انسكاب مواد حامضية	غسل المنطقة المصابة بالحمض بكمية كبيرة من الماء، واستخدام رشاش ماء آمن، واستخدام كربونات الصوديوم، أو صودا الخبيز (بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$)
حروق قاعدة (القلويات)	استخدام حمض البوريك H_3BO_3، وغسل المنطقة بكمية كافية من الماء.
أجسام حادة تخترق الجلد	لا تنزع الجسم المخترق، واحفظ المصاب ساكنًا، وسيطر على النزف واطلب المساعدة الطبية.

قائمة التجهيزات

هـذه قوائم الأدوات التي يمكن أن تسـاعدك على إعداد مختبـرات الفيزياء لعام كامل. والكميات المذكورة في الجـدول أدناه لمختبر الفيزياء والتجربة والتجـارب الصغيـرة الإضافية، وهي الكميات القصوى اللازمة لمجموعة واحدة من الطلبة لعام كامل. والكميات الخاصة بالتجارب الاسـتهلالية هي الكميات القصوى التي سـتحتاج إليها لإجراء كافة العروض. الأجزاء (البنود) التي سـتحتاج إلى اسـتخدام الأداة فيها موضوعة بين قوسـين في القائمة. ارجع إلى مخطط الفصل قبل الحصول على قائمة بالأجهزة والأدوات لكل نشاط مختبري في كل فصل.

مواد غير مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
دورق سعته 250 ml	ف(1)	ف(1)(1–1)	ف(1)
دورقان		ف(1)(1–1) ف(1)(2–1)	
ساعة وقف	ف(3) ف(4) ف(1)		
سخان كهربائي	ف(1)		
شريط ثنائي الفلز		ف(2)(4–2)	
قطع نيكل			ف(2)
مجفف شعر		ف(2)(1–2)	
مخبار مدرج 500 ml			ف(2)
دبوس أو مثقب		ف(2)(3–2)	
مقياس حرارة		ف(1)(1–1) ف(1)(2–1)	ف(1)
مقياسا درجة حرارة غير زئبقيين	ف(1) ف(2)	ف(1)(1–1)	
ملعقة قياس		ف(1)(1–1)	
ميزان نابضي			ف(2)
نابض قوي			
حوض أو وعاء كبير		ف(2)(2–3)	
دروق زجاجي مقاوم للحرارة سعته 150 mL			ف (1)
مقياس حرارة كحولي كبير		ف (1)	
نظارات واقية		ف (1)	ف (2)
اسطوانة مدرجة 500 mL		ف(2)(2–3)	ف (3)
مصدر قدرة متردد 9–12 v AC			ف (3)

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
مقاوم 470 Ω ،330 Ω			ف(3)
دايود مشع للضوء ذي لونين أحمر – أخضر قدرته 1W أو ½ W		ف(3)(3-1)	
اسلاك توصيل			ف (3)
جهاز ستروبوسكوب يدوي	ف(3)(3-1)		
خلية ضوئية	ف(3)(3-1)		
جهاز اوميتر	ف(3)(3-1)		

مواد مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
2-بروبانول (كحول أيزوبروبيلي)	ف(2)		
أكواب ورقية أو بلاستيكية		ف(1)(2-1)	
إيثانول	ف(2)		
بالون		ف(2)(2-1)	
رباطات مطاطية صغيرة	ف(2)		ف(2)
شريط لاصق	ف(2)	ف(2)(3-2)	
كحول أيزوبروبيل	ف(2)		
كلوريد الكالسيوم		ف(1)(1-1)	
ماء	ف(1)	ف(1)(2-1) ف(2)(3-2)	ف(1) ف(2)
ماء بدرجة التجمد		ف(1)(1-1) ف(1)(2-1)	
مكعبات من الجليد		ف(1)(2-1)	
ملونات طعام		ف(1)(2-1)	
ميثانول	ف(2)		
ورق ترشيح ثلاث قطع (2.5cm×2.5cm)	ف(2)		
ورق رسم بياني	ف(1)	ف(1)(2-1)	
عبوة صغيرة مرفقة بغطاء أو سدادة			ف(2)
علبة قهوة		ف(2)(3-2)	
قطارة		ف(1)(2-1)	

جدول توزيع الحصص لمقرر الفيزياء ٦

الفصل	الدروس	عدد الحصص	المجموع
الأول	1-1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية	2	7
	1-2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	التقويم	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الثاني	2-1 خصائص الموائع	2	11
	2-2 القوى داخل السوائل	2	
	2-3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة	2	
	2-4 المواد الصلبة	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	التقويم	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الثالث	3-1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة	2	7
	3-2 الأدوات الإلكترونية	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	التقويم	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
المجموع			25

قائمة المحتويات

الفصل 1

الطاقة الحرارية 8

تجربة استهلالية 9

هل يسخن الماء الموجود في كأسٍ عند حملها بيديك؟

1-1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية 9

1-2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية 22

مختبر الفيزياء 34

التسخين والتبريد

الفصل 2

حالات المادة 44

تجربة استهلالية 45

هل ستطفو أم تغطس؟

2-1 خصائص الموائع 45

2-2 القوى داخل السوائل 56

2-3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة 60

2-4 المواد الصلبة 70

مختبر الفيزياء 78

التبريد بالتبخر

الفصل 3

الكترونيات الحالة الصلبة 88

تجربة استهلالية 89

كيف توضح توصيل الدايود للكهرباء؟

3-1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة 89

3-2 الأدوات الإلكترونية 101

مختبر الفيزياء 108

تيار الدايود وجهده

دليل الرياضيات 118

حلول بعض المسائل التدريبية 149

الجداول 152

المصطلحات 156

الفصل 1

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
1–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية	
1. **تصف** الطاقة الحرارية، وتقارنها بطاقة الوضع، والطاقة الحركية. 2. **تميز** بين درجة الحرارة، والطاقة الحرارية. 3. **تتعرف** السعة الحرارة النوعية، وتحسب الحرارة المفقودة.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** دورق زجاجي مقاوم للحرارة سعته 250 mL، 150 mL ماء. **عرض المعلم** **عرض سريع** دورقان، ماء ثلِج، ماء بارد من الصنبور، مقياس حرارة كحولي كبير، نظارات واقية. **عرض سريع** مقياس حرارة، دورق سعته 250 mL، ماء، كلوريد كالسيوم، ملعقة قياس.
1–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية	
4. **تعرّف** الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر. 5. **توضح** القانونين الأول، والثاني للديناميكا الحرارية. 6. **تميز** بين الحرارة، والشغل. 7. **تعرّف** الإنتروبي.	**تجارب الطالب** **تجربة** كأسان بلاستيكيان، ماء، ماء ثلِج (ماء بدرجة حرارة 0 °C)، مكعب جليد، مقياسا حرارة. **تجربة إضافيّة** دورقان سعة كل منهما 250 mL (أحدهما مملوء بالماء الساخن، والآخر مملوء بالماء البارد جدًّا)، قطارة، ملوّنات طعام. **مختبر الفيزياء** سخان كهربائي (أو موقد لهب بنزن)، دورق زجاجي حراري سعته 250 mL، (50–200) g من الماء، مقياسا حرارة (غير زئبقيين)، ساعة وقف.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الأول

الفصل 1

الطاقة الحرارية

نظرة عامة إلى الفصل

لقد تعرّف الطلبة من قبل كيفية تحول الطاقة وانتقالها بين الأجسام. وسيتعرّفون في هذا الفصل كيفية انتقال الطاقة بين جسيمات المادة الصلبة والسائلة والغازية؛ حيث تسمى الطاقة الحركية الناتجة عن حركة هذه الجسيمات الطاقةَ الحرارية، كما يمكن أن تنتقل هذه الطاقة في صورة حرارة. وتساعد هذه المفاهيم على استكشاف مبدأ عمل المحركات والمبردات، التي تقود إلى القانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي يُعدّ أحد القوانين الأساسية في الطبيعة.

فكّر

تُشَع الطاقة الشمسية في الفضاء والغلاف الجوي الأرضي على شكل موجات كهرومغناطيسية، ويتركز الضوء الذي هو نوع من الأمواج الكهرومغناطيسية بوساطة المرايا ويُمتصّ بوساطة المجمِّع. حيث تنتقل الطاقة في صورة حرارة إلى مستودع الماء لتحويل الماء إلى بخار. ويعد البخار ذو درجات الحرارة المرتفعة مصدر الطاقة للتوربين الحراري الذي يشغّل بدوره المولد الكهربائي. انظر البند 2-1 لتعرّف الآلات الحرارية.

المفردات الرئيسة

- التوصيل الحراري
- الحرارة
- الإشعاع الحراري
- الاتزان الحراري
- الحمل الحراري
- السعة الحرارية النوعية
- الحرارة الكامنة للانصهار
- الحرارة الكامنة للتبخر
- القانون الأول للديناميكا الحرارية
- الآلة الحرارية
- الإنتروبي
- القانون الثاني للديناميكا الحرارية

الفصل 1

الطاقة الحرارية
Thermal Energy

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على:

- تعرُّف العلاقة بين درجة الحرارة من جهة وطاقتي الوضع والحركة للذرات والجزيئات من جهة أخرى.
- التمييز بين كلٍّ من الحرارة، والشغل.
- حساب الحرارة المفقودة والطاقة الحرارية المكتسبة.

الأهمية

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

الطاقة الشمسية تتمثل إحدى استراتيجيات إنتاج الطاقة الكهربائية في تركيز ضوء الشمس باستخدام عدد عبير من المرايا على مُجمِّع واحد ليصبح ساخنًا جدًّا، ثم تستعمل هذه الطاقة المجمّعة عند درجة حرارة عالية لتشغيل توربين حراري، فيدير الأخير مولدات كهربائية.

فكّر

ما أشكال الطاقة التي يمر بها ضوء الشمس خلال عملية تحويل الطاقة الشمسية إلى شغل يُستفاد منه بوساطة المحرك؟

تجربة استهلالية

الهدف يجب أن يتعلم الطلبة أن الحرارة تنتقل تلقائيًّا من الجسم الأسخن إلى الجسم الأقل سخونة.

المواد والأدوات دورق زجاجي مقاوم للحرارة سعته 250 mL، 150 mL ماء.

استراتيجيات التدريس ***تحذير: يجب ألا ينتعل الطلبة أحذية مكشوفة.***

- ذكّر الطلبة أن درجة حرارة جسم الإنسان السليم 37°C تقريبًا.
- اسأل الطلبة: لماذا تختلف درجة حرارة مبنى المدرسة المغلق عندما يكون المعلمون وحدهم فيه عن درجة حرارته عند وجود الطلبة فيه؟

النتائج المتوقعة يجب أن يسخُن الماء بمقدار درجة سيليزية واحدة على الأقل.

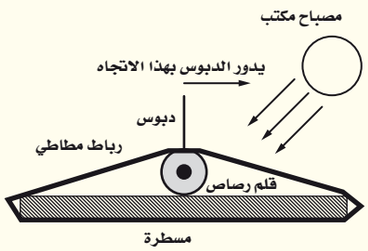
1-1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية

1. التركيز

نشاط محفز

الرباط المطاطي كمقياس لدرجة الحرارة

اعمل مقياس حرارة بسيطًا لعرضه أو طرحه بوصفه استقصاء علميًّا للطلبة. استخدم الأدوات الآتية لعمل المقياس: مسطرة، ورباطًا مطاطيًّا، وقلم رصاص، ودبوسًا ومصباحًا (انظر الشكل). ضع قلم الرصاص متعامدًا مع المسطرة عند منتصفها، وشد الرباط المطاطي على طرفي المسطرة لتثبيت قلم الرصاص. وثبت الدبوس على جانب قلم الرصاص ليشير إلى دوران القلم، ثم أمسك مصباحًا وقرّبه إلى أحد أجزاء الرباط المطاطي، سيدور القلم بسبب انكماش الرباط (خلاف معظم المواد)، ويدور الدبوس أيضًا نحو الجانب الساخن من الرباط. وبعد إزالة مصدر الحرارة يعود الدبوس إلى موضعه الأصلي. **م 1 بصري–مكاني**



تجربة استهلالية

هل يسخن الماء الموجود في كأس عند حملها بيديك؟

سؤال التجربة ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء في الكأس عندما تحملها بيديك؟

الخطوات

1. ستحتاج إلى استعمال دورق سعته 250 ml وكمية من الماء مقدارها 150 ml.
2. اسكب الماء في الدورق.
3. قس درجة حرارة الماء الابتدائية بوضع مقياس الحرارة في الماء، على ألاّ يلامس المقياس قاعدة الدورق أو جوانبه ثم سجلها.
4. أبعد مقياس الحرارة، وأمسك بدورق الماء بين كلتا يديك مدة دقيقتين كما في الشكل.
5. دع زميلك في المختبر يسجل درجة حرارة الماء النهائية، بوضع مقياس الحرارة في الدورق كما في الخطوة 3.

التحليل

احسب التغير في درجة حرارة الماء. وإذا كانت كمية الماء التي في الدورق أكبر، فهل يؤثر ذلك في تغير درجة الحرارة؟

التفكير الناقد فسر سبب تغير درجة حرارة الماء؟

1-1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية
Temperature and Thermal Energy

الأهداف

- **تصف** الطاقة الحرارية، وتقارنها بطاقة الوضع، والطاقة الحركية.
- **تميز** بين درجة الحرارة، والطاقة الحرارية.
- **تتعرّف** السعة الحرارية النوعية، وتحسب الحرارة المفقودة.

المفردات

التوصيل الحراري	الاتزان الحراري
الحرارة	الحمل الحراري
الإشعاع الحراري	السعة الحرارية النوعية

تسمى دراسة تحولات الحرارة إلى أشكال أخرى للطاقة بالديناميكا الحرارية. وقد بدأت هذه الدراسات في القرن الثامن عشر عندما كان المهندسون يصنعون المحركات البخارية الأولى. حيث استخدمت هذه المحركات في تشغيل القطارات، والمصانع، ومضخات المياه في مناجم الفحم، وساهمت بشكل كبير في الثورة الصناعية في أوروبا والولايات المتحدة وبلدان أخرى. ثم طور المهندسون مفاهيم جديدة حول كيفية ارتباط الحرارة مع الشغل المفيد في تصميم محركات أكثر كفاءة. وعلى الرغم من أن دراسة الديناميكا الحرارية بدأت في القرن الثامن عشر، إلا أنه لم يتم الربط بين مفاهيم الديناميكا الحرارية وحركة الذرات والجزيئات في المواد الصلبة، والسوائل، والغازات قبل عام 1900 تقريبًا.

تُستخدم اليوم مفاهيم الديناميكا الحرارية على نطاق واسع في التطبيقات المختلفة، ويستخدم المهندسون قوانين الديناميكا الحرارية في تطوير أداء الثلاجات، ومحركات المركبات، والطائرات، وآلات أخرى.

9

التحليل التغير في درجة الحرارة يساوي $T_f - T_i$ درجة سيليزية واحدة تقريبًا. وإذا احتوى الدورق على ماءٍ أكثر فإن الزيادة في درجة الحرارة تكون أقل.

التفكير الناقد تنتقل الحرارة بسبب الاختلاف في درجة الحرارة؛ إذ يكون الماء في البداية عند درجة حرارة الغرفة (20°C تقريبًا)، وتكون درجة حرارة جسم الشخص، بما في ذلك يداه 37°C تقريبًا. وعندما تلامس اليدان الدورق تنتقل الحرارة منهما إلى الدورق، ثم إلى الماء، فترفع درجة حرارة الماء.

الربط مع المعرفة السابقة

الطاقة للطاقة أشكال عدة، منها: طاقة الحركة الخطية، وطاقة الوضع المرونية؛ حيث يمكن أن يكون لكل ذرة أو جزيء في المادة شكل أو أكثر من أشكال الطاقة. وتتبادل هذه الجسيمات الطاقة بينها خلال التصادمات المرنة وغير المرنة. ويعدّ انتقال الطاقة أساس تدفق الحرارة.

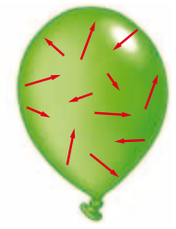
2. التدريس

تطوير المفهوم

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة هيّئ مساحة في منتصف غرفة الصف إذا أمكن ذلك. واطلب إلى الطلبة التجمع فيها على أن تكون أذرعهم ممتدة إلى أسفل، وأكتافهم متلاصقة (لا توجههم نحو اتجاه معين). وأخبرهم أنهم يمثلون الآن جزيئات مادة صلبة عند درجة حرارة منخفضة. ثم اطلب إليهم الاهتزاز إلى أعلى وإلى أسفل على رؤوس أصابعهم عن طريق الحركة وثني ركبهم قليلاً، ولكن دون رفع أقدامهم أو أيديهم. وأخبرهم أنهم بذلك يمثلون جزيئات مادة صلبة عند درجة حرارة مرتفعة (يهتزون في موضع ثابت). ولمحاكاة حالة الانصهار! أخبرهم أنه يمكنهم الاهتزاز كما حدث في السابق، على أن يحركوا أقدامهم ببطء، وأن تلامس كعوبهم رؤوس أصابع أقدام زملائهم. كما يمكن لكل منهم أن يرفع يديه إلى أعلى بشرط أن يحافظ على استمرار التلامس بين ذراعيه وذراعي اثنين على الأقل من زملائه. وهذا يمثل انصهار المادة الصلبة. م 1 **حركي**

الطاقة الحرارية Thermal Energy

درست سابقًا كيف تتصادم الأجسام، وتتبادل طاقاتها الحركية. فعلى سبيل المثال، الجزيئات الموجودة في غاز ما، لها طاقات حركية خطية ودورانية. وقد يكون للجزيئات طاقة وضع خلال اهتزازها بين مواضع محددة، فتصطدم جزيئات الغاز بعضها ببعض، ومع جدران الوعاء الذي يحويها؛ ناقلة الطاقة فيما بينها خلال هذه العملية. وتتحرك الجزيئات بحرّية في الغاز، مؤدية إلى عدة اصطدامات. لذا، يكون من المناسب مناقشة الطاقة الكلية للجزيئات، ومتوسط الطاقة لكل جزيء. وتسمى الطاقة الكلية للجزيئات بالطاقة الحرارية. ويرتبط متوسط الطاقة لكل جزيء بدرجة حرارة الغاز.



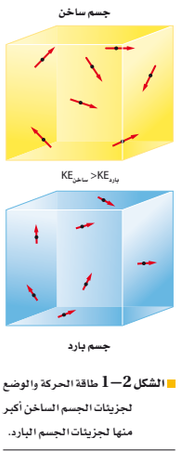
بالون هيليوم

الشكل 1–1 تصطدم ذرات الهيليوم في البالون بالجدار المطاطي، وتسبب تمدد البالون.

الأجسام الساخنة ما الذي يجعل الجسم ساخنًا؟ عندما تملأ بالونًا بغاز الهيليوم، يتمدد مطاط البالون بفعل تصادم ذرات الغاز بجدار البالون بشكل متكرر؛ إذ تصطدم كل ذرة من بلايين ذرات غاز الهيليوم التي في البالون بجداره المطاطي، ثم ترتد إلى الخلف لتصطدم بالطرف الآخر من البالون، كما هو موضح في **الشكل 1–1**. وقد تلاحظ أن البالون يزداد حجمه قليلًا عند تعريضه لأشعة الشمس؛ إذ إن طاقة أشعة الشمس تجعل ذرات الغاز تتحرك أسرع، لذا تصطدم بالجدار بمعدل أكبر. ويؤدي كل تصادم إلى إحداث قوة أكبر على جدار البالون. ولذا يتمدّد المطاط؛ ممّا يؤدي إلى تمدد البالون كليًا.

أما إذا برّدتَ البالون فستلاحظ أنه ينكمش قليلاً؛ لأن خفض درجة الحرارة يبطئ من حركة ذرات الهيليوم. وهكذا فإن تصادماتها لا تنقل زخمًا يكفي لجعل البالون يتمدد بصورة كافية. وعلى الرغم من أن البالون يحتوي على عدد الذرات نفسه، إلا أنه ينكمش.

المواد الصلبة لذرات المواد الصلبة طاقة حركية أيضًا، ولكنها لا تتمكن من الحركة بحرية مثل ذرات الغاز. والطريقة الوحيدة لتصور التركيب الجزيئي للمادة الصلبة، تكون برسم عدد من الذرات المرتبطة معًا بنوابض تسمح لها بالحركة في صورة ارتدادات مختلفة الشدة إلى الأمام، وإلى الخلف. ويكون لكل ذرة بعض الطاقة الحركية، وطاقة الوضع من خلال النوابض المرتبطة معها. فإذا وجدت مادة صلبة تحتوي العدد N من الذرات، فإن الطاقة الحرارية الكلية في المادة الصلبة تساوي متوسط طاقتي الحركة، والوضع لكل ذرة، مضروبًا في العدد N.



الشكل 2–1 طاقة الحركة والوضع لجزيئات الجسم الساخن أكبر منها لجزيئات الجسم البارد.

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة
Thermal Energy and Temperature

للجسم الساخن طاقة حرارية أكبر من الجسم البارد المشابه له، كما هوموضح في **الشكل 2–1**، أي أن الجزيئات في الجسم الساخن، تمتلك طاقة حرارية أكبر من الجزيئات في الجسم البارد. وهذا لا يعني أن جميع الجزيئات داخل الجسم لها كمية

الطاقة نفسها، وإنما تتفاوت قيم الطاقة لهذه الجزيئات على مدى واسع، ومتوسط طاقة جزيئات الجسم الساخن أكبر من متوسط طاقة جزيئات الجسم البارد. ولفهم هذا افترض أنك تعرف أطوال طلبة الصف الثاني الإعدادي، والصف الثالث الثانوي مثلاً، وأنك تستطيع حساب متوسط الطول لطلبة الصف الثالث الثانوي، وهذا المتوسط يميل إلى أن يكون أكبر من متوسط الطول لطلبة الصف الثاني الإعدادي، على الرغم من أنه يمكن أن يكون بعض طلاب الصف الثاني الإعدادي أطول من بعض طلبة الصف الثالث الثانوي.

درجة الحرارة تعتمد درجة الحرارة فقط على متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الجسم. ولأن درجة الحرارة تعتمد على متوسط طاقة حركة الجزيئات، لذا فهي لا تعتمد على عدد الذرات في الجسم. ولفهم ذلك افترض وجود قالبين من الحديد، الأول: كتلته 1 kg، والثاني: كتلته 2 kg. فإذا كان للقالبين درجة الحرارة نفسها، فهذا يعني أن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في أيّ منهما تكون هي نفسها، على الرغم من أن القالب الثاني له ضعفي كتلة القالب الأول. وبما أن القالب الثاني يحتوي ضعفي عدد الجزيئات الموجودة في القالب الأول، فإن كمية الطاقة الحركية الكلية لجزيئات القالب الثاني تساوي ضعفي كمية الطاقة الحركية الكلية لجزيئات القالب الأول. وتقسم الطاقة الحركية الكلية على عدد الجزيئات الموجودة في الجسم، لحساب متوسط الطاقة الحركية. لذا، تتناسب الطاقة الحرارية في الجسم، مع عدد الجزيئات فيه، في حين أن درجة الحرارة لا تعتمد على عدد الجزيئات في الجسم.

الاتزان والقياس الحراري Equilibrium and Thermometry

كيف تقيس درجة حرارة جسمك؟ إذا اشتبهت مثلاً في أنك مصاب بالحمى، فقد تضع مقياس حرارة في فمك، وتنتظر بضع دقائق قبل أن تنظر إلى قراءة درجة الحرارة على المقياس. إن النظرة المجهرية لعملية قياس درجة الحرارة تتضمن التصادمات وانتقالات الطاقة بين مقياس الحرارة وجسمك. وإن كان جسمك ساخنًا مقارنة بمقياس الحرارة، فذلك يعني أن الجزيئات في جسمك لها طاقة حرارية أكبر، وتتحرك بسرعة أكبر من الجزيئات التي في المقياس. وعندما يلامس أنبوب المقياس الزجاجي البارد جلدك الذي يكون أدفأ من الزجاج فإن الجزيئات المتحركة بسرعة في جلدك تصطدم بالجزيئات المتحركة ببطء في الأنبوب الزجاجي، فتنتقل الطاقة عندئذ من جلدك إلى الزجاج عن طريق عملية **التوصيل الحراري**، والتي تعني انتقال الطاقة الحركية عندما تتصادم الجزيئات بعضها ببعض في أثناء تلامسها. أيْ أن الطاقة الحرارية للجزيئات المكوّنة لمقياس الحرارة تزداد، وفي الوقت نفسه تتناقص الطاقة الحرارية للجزيئات في الجلد.

الاتزان الحراري في أثناء اكتساب جزيئات الزجاج المزيد من الطاقة فإنها تبدأ في إرجاع بعض هذه الطاقة إلى جزيئات جسمك. ويصبح معدل انتقال الطاقة من الزجاج

عرض سريع

التمدد الحراري

الزمن المقترح 10 دقائق

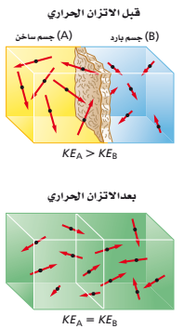
المواد والأدوات دورقان، ماء ثلج (ماء بدرجة حرارة 0°C)، ماء من الصنبور، مقياس حرارة كحولي كبير، نظارات واقية.

الخطوات

املأ دورقًا بماءٍ ثلج، وضع مقياس الحرارة الكحولي فيه، وعندما تنخفض درجة حرارة المقياس أخرجه وضعه في دورق يحوي ماءً من الصنبور. واسأل الطلبة: ما الذي أدى إلى ارتفاع الكحول في المقياس؟ لقد امتص الكحول الطاقةَ الحرارية من الماء الساخن مما جعل السائل يتمدد ويرتفع داخل الأنبوب ذي الحجم الثابت في مقياس الحرارة. اطلب إلى الطلبة توضيح التمدد الحراري للسائل على المستوى الجزيئي. استنادًا إلى نظرية الحركة الجزيئية تزداد الطاقة الحركية للجزيئات بزيادة درجة حرارة السائل. ولأن الجزيئات تتحرك أسرع ويتصادم بعضها ببعض في أغلب الأحيان على نحو أشد، فإنها تملأ فراغًا أكبر.

استخدام الشكل 3–1

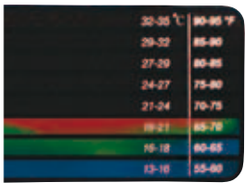
تتبادل جزيئات الجسم الساخن (A) والجسم البارد (B) الطاقة الحرارية خلال تصادماتها حتى تصل إلى الاتزان الحراري. لذا اسأل الطلبة: كيف يصل الجسمان إلى الاتزان الحراري؟ ستتدفق الحرارة تدريجيًّا من اليسار إلى اليمين في أثناء حدوث التصادمات؛ وذلك بسبب انتقال الطاقة الحرارية من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد. ويتأثر معدل تدفق الحرارة بكل من درجة الحرارة الابتدائية لكلا الجسمين وبمساحة التلامس بينهما. م 2



الشكل 3–1 تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعند حدوث الاتزان الحراري يكون انتقال الطاقة بين الجسمين متساويًا.

إلى الجسم مساويًا لمعدل انتقال الطاقة من الجسم إلى الزجاج، عند ذلك تتساوى درجتا حرارة الجسم، ومقياس الحرارة. ويقال عندئذٍ إن الجسم ومقياس الحرارة وصلا إلى **الاتزان الحراري**، أي أن حالة الاتزان الحراري هي الحالة التي يتساوى عندها معدّلا انتقال الطاقة بين جسمين، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها، كما يبين **الشكل 3–1**.

يعتمد عمل مقياس الحرارة على خاصية معينة، مثل الحجم، والذي يتغير بتغير درجة الحرارة. ويحتوي العديد من مقاييس الحرارة المنزلية على كحول ملون يتمدّد عندما يسخن، ويرتفع داخل أنبوب ضيق، وبزيادة درجة حرارة الكحول يزداد حجمه فيزداد ارتفاعه في الأنبوب، مشيرًا إلى درجة حرارة أعلى. وفي مقاييس الحرارة السائلة – البلورية، كما في **الشكل 4–1**، تستخدم مجموعة من السوائل البلورية المختلفة، بحيث تترتب بلورات الجزيئات لكل نوع عند درجة حرارة محددة، مما يؤدي إلى تغير لون البلورة. ومن ثم تشير إلى درجة الحرارة من خلال اللون. أمّا المقاييس الحرارية الطبية والمقاييس الحرارية المستخدمة في محركات المركبات، فإنها تستخدم دوائر إلكترونية حساسة للحرارة تقيس درجات الحرارة بسرعة.



الشكل 4–1 تستخدم مقاييس الحرارة التغير في الخصائص الفيزيائية للمواد لقياس درجة الحرارة. فمثلاً يتغير اللون في مقياس الحرارة السائل بتغير درجة الحرارة.

مقياسا درجة الحرارة: السلسيوس والكلفن

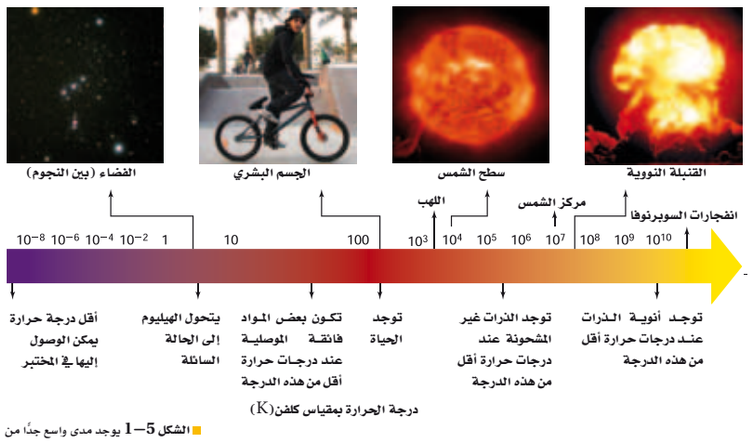
Temperature Scales: Celsius and Kelvin

طور العلماء على مر السنين مقاييس لدرجة الحرارة، حتى يتمكنوا من مقارنة قياساتهم بقياسات العلماء الآخرين. فلقد ابتكر عالم الفلك والفيزياء السويدي أندريه سلسيوس عام 1741 م مقياسًا يعتمد على خصائص الماء. ففي هذا المقياس – الذي يسمى الآن مقياس سلسيوس – تُعرّف نقطة تجمد الماء النقي لتكون 0 °C، ونقطة غليان الماء النقي، عند مستوى سطح البحر لتكون 100 °C.

حدود درجة الحرارة يوضّح **الشكل 5–1** المدى الواسع لدرجات الحرارة الموجود في الكون. ولا يبدو أن هناك حدًّا أعلى لدرجات الحرارة؛ فدرجة الحرارة داخل الشمس 1.5×10^7 °C على الأقل، ومن جهة أخرى، فإن هناك حدّ أدنى لدرجات الحرارة، وعمومًا فإن المواد تتقلص عند تبريدها، فمثلاً إذا تم تبريد غاز مثالي مثل

نشاط **متقدم**

معايرة مقياس الحرارة وضح للطلبة أنه يمكن صنع مقياس حرارة غازي بسيط بوساطة أنبوب بلاستيكي أو قصبة صغيرة، وقطعة صلصال، وبعض الماء الملون. اطلب إلى الطلبة وضع أحد طرفي الأنبوب في الماء الملون، ثم وضع قطعة صلصال صغيرة وضغطها على الطرف الآخر للأنبوب، بينما يمسكونه باليد الأخرى. ثم دعهم يرفعوا الأنبوب من الماء؛ ومع تغير درجة الحرارة يتمدد الهواء المحصور داخله أو يتقلص. ثم اسألهم: كيف تتم معايرة الأنبوب وتدريجه ليصبح مقياس حرارة مفيدًا؟ يستطيعون وضع إشارة لمستوى الماء عند وصول مقياس الحرارة هذا إلى اتزان حراري في مكان درجة حرارته معروفة. ثم عليهم تكرار الخطوات في أماكن أخرى درجة حرارتها معروفة أيضًا. م 3 **حركي**



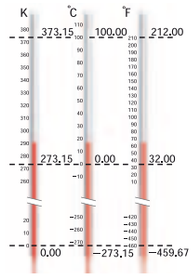
الشكل 5–1 يوجد مدى واسع جدًا من درجات الحرارة في الكون. لاحظ أن مدى القياس تم توسيعه في المناطق ذات الأهمية الخاصة.

الهيليوم في بالون فإنّه يتقلص، فإذا بلغت درجة حرارته 273.15 °C– يصبح حجمه مساويًا لحجم ذرات الهيليوم فقط، أي تتلاشى الفراغات بين الذرات، وتفقد ذرات الغاز طاقتها الحرارية كاملة، ويصبح من المستحيل تخفيض درجة الحرارة إلى أقل من ذلك. لذا، لا يكون هنالك درجة حرارة أقل من 273.15 °C– والتي تعرف بالصفر المطلق.

إن مقياس السلسيوس مفيد في القياسات اليومية لدرجة الحرارة، غير أن استخدامه في المسائل العلمية والهندسية غير عملي؛ لأنه يحتوي على درجات حرارة سالبة. إذ إن درجات الحرارة السالبة قد توحي بأن للجزيء طاقة حركية سالبة، وهذا غير ممكن؛ لأن الطاقة الحركية، دائمًا موجبة. والحل لهذه القضية يكون باستخدام تدريج قياس يبدأ من الصفر المطلق، ويسمّى هذا المقياس الكلفن.

إن نقطة الصفر في مقياس كلفن، تعرف بأنها الصفر المطلق. ووفقًا لمقياس كلفن فإن نقطة تجمد الماء (0 °C) هي 273 K تقريبًا، ونقطة غليان الماء هي 373 K تقريبًا. وتسمى الدرجة الواحدة على هذا المقياس كلفن، وتساوي 1 °C، لذا يكون $T_C + 273 = T_K$. ويوضح **الشكل 6–1** تمثيلاً لدرجات الحرارة في المقاييس الثلاثة الشائعة الاستخدام: الفهرنهايت، والسلسيوس، والكلفن.

يتم الوصول إلى درجات الحرارة المنخفضة جدًّا من خلال جعل الغازات سائلة، فمثلًا يصبح الهيليوم سائلاً عند درجة 4.2 K، أو 269 °C–. ويمكن أيضًا الوصول إلى درجات حرارة منخفضة باستخدام خصائص معينة للمواد الصلبة، ونظائر الهيليوم، والذرات والليزر.



الشكل 6–1 مقاييس درجة الحرارة الثلاثة الشائعة وهي الكلفن، والسلسيوس، والفهرنهايت.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

تدريجات مقياس الحرارة غالبًا ما يكون الطلبة غير متأكدين من تحديد نوع تدريج درجة الحرارة الذي يستخدمونه في حساباتهم. ويعد تدريج مقياس كلفن التدريج الديناميكي الحراري الوحيد الصحيح كمقياس لدرجات الحرارة، ويمكن استخدامه في الحسابات كافة. ولأن فترات درجة الحرارة لتدريج مقياس سلسيوس هي نفسها لتدريج مقياس كلفن، لذا يجوز استخدام تدريج مقياس سلسيوس إذا كان الاختلاف في درجة الحرارة فقط هو المهم. أما تدريج مقياس فهرنهايت فإنه لا يستخدم أبدًا في المسائل؛ بل يجب تحويل درجات الحرارة المقيسة بالفهرنهايت إلى درجات حرارة مقيسة بالسلسيوس أو الكلفن قبل إجراء الحسابات.

التفكير الناقد

ألوان الملابس والسيارات اسأل الطلبة: هل هناك أي أساس علمي يفسر ميل الناس إلى ارتداء الملابس ذات الألوان الفاتحة صيفًا، والملابس القاتمة شتاءً؟ واسألهم أيضًا: هل يفضّل القاطنين في مناطق دافئة ومشمسة اقتناء سيارة سوداء اللون؟ تمتص الملابس القاتمة الطاقة المُشَعّة أكثر، فتنقل طاقة حرارية أكثر إلى الجسم في الطقس البارد. كذلك تمتص السيارة السوداء الطاقة المُشعة مما يتطلب تكييف هواء أكثر حتى تكون هذه السيارة مريحة في الصيف. م ١

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

مقاييس حرارة شائعة أخرى إن مقاييس الحرارة الزجاجية التي تحتوي على سوائل تكون هشة وقابلة للكسر، وهي تقيس مدًى محدودًا من درجات الحرارة. لذلك تُقاس درجة الحرارة في العديد من الأفران بوساطة المزدوج الحراري. والمزدوج الحراري أداة بسيطة وصلبة مصنوعة بوساطة لِيِّ طرفي سلكين مصنوعين من مادتين مختلفتين، كسلك نحاس وسلك حديد. ويُسمى هذا الالتواء وصلة المزدوج الحراري. ومن خلال وصل الطرفين الحرين للسلكين بجهاز الفولتمتر يمكن قياس التغيرات البسيطة في الجهد والناتجة عن تغير درجة حرارة وصلة النحاس – الحديد.

مسائل تدريبية

1. a. −158° C

b. − 101° C

c. − 148° C

d. 129° C

2. a. إن درجة حرارة الغرفة 25 °C أو 298 K.

b. تبلغ درجة الحرارة في يوم صيفي حار في مدينة المنامة 48°C، أو 321 K.

c. تبلغ درجة حرارة الثلاجة نحو 4°C، أو 277 K تقريبًا.

d. تبلغ درجة الحرارة في ليلة شتاء عادية في منطقة ساحلية نحو 8°C، أو 281K.

مسائل تدريبية

1. حوّل درجات الحرارة الآتية من مقياس كلفن إلى مقياس سلسيوس.

a. 115 K　　**c.** 125 K

b. 172 K　　**d.** 402 K

2. أوجد درجات الحرارة بالكلفن والسلسيوس لكل ممّا يأتي:

a. درجة حرارة الغرفة　　**c.** ثلاجة

b. يوم صيفي حار في مدينة المنامة　　**d.** إحدى ليالي الشتاء في منطقة ساحلية

تطبيق الفيزياء

التدفئة بالبخار في نظام التدفئة بالبخار لمبنى ما، يُحوَّل الماء إلى بخار في مرجل موجود في منطقة الصيانة أو أسفل البناء. ثم يتدفق البخار داخل أنابيب معزولة ليصل إلى كل غرفة في المبنى. ويتكاثف البخار داخل مشعاع حراري إلى ماء، ثم يتدفق عائدًا عبر الأنابيب إلى المرجل ليعاد تبخيره. يحمل البخار الساخن الحرارة من داخل المرجل، ثم تتحرر تلك الطاقة عندما يتكاثف البخار داخل مشعاع الحرارة. ومن سلبيات نظام التدفئة بالبخار أنه يتطلب مراجل، وأنابيب ذات تكلفة مرتفعة، لتستطيع نقل البخار المضغوط.

الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية

Heat and the Flow of Thermal Energy

عندما يتلامس جسمان تنتقل بينهما طاقة تسمى **الحرارة**. وتوصف الحرارة بأنها الطاقة التي تتدفق دائمًا من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد، ويستخدم الرمز Q لتمثيل كمية الحرارة، والذي له وحدة قياس أشكال الطاقة الأخرى نفسها، وهي الجول، وإذا كانت Q سالبة القيمة، فذلك يعني أن الحرارة تفقد من الجسم؛ أما إذا كانت Q موجبة القيمة فذلك يعني أن الجسم يمتص الحرارة.

التوصيل الحراري إذا وضعت نهاية قضيب فلزي في لهب، فإن جزيئات الغاز الساخنة في اللهب ستوصل الحرارة إلى القضيب خلال فترة زمنية قصيرة. ويصبح الطرف الآخر للقضيب دافئًا أيضًا؛ لأن الجزيئات في القضيب تتلامس معًا مباشرة.

الحمل الحراري يحدث انتقال للطاقة الحرارية حتى لو لم تكن الجزيئات في الجسم متلامسة فهل شاهدت مرة دورق ماء عند لحظة الغليان؟

يسخن الماء الموجود في القاع بفعل التوصيل الحراري ويصعد إلى أعلى، في حين ينزل الماء الأبرد من أعلى نحو قاع الدورق. وتنتقل الحرارة بين الماء الساخن الصاعد، والماء البارد النازل. وتُسمى حركة المائع في المادة السائلة أو الغازية التي تحدث بسبب اختلاف درجة الحرارة **الحمل الحراري**. ويحدث الاضطراب الجوي بسبب الحمل الحراري للغازات الموجودة في الغلاف الجوي. وتعتبر العواصف الرعدية مثالاً على هذه الظاهرة. وتنتج التغيرات في أنماط الطقس أيضًا بسبب ظاهرة الحمل الحراري للتيارات المائية في المحيطات.

نشاط

من معلم لآخر

البالونات وتوصيل الطاقة الحرارية

المواد والأدوات بالونان مطاطيان، وشمعة، وعيدان ثقاب، وماء، ونظارات واقية، وقفازات مختبر.

الخطوات املأ بالونين، أحدهما بالماء والآخر بالهواء. ***تحذير: قد يكون لدى بعض الطلبة حساسية من المطاط.*** قرّب كلا البالونين من اللهب بحذر، سينفجر البالون المملوء بالهواء في حين يستغرق البالون المملوء بالماء مدة أطول حتى ينفجر. واسأل الطلبة: ما سبب ذلك؟ للماء كتلة أكبر كما أن سعته الحرارية أكبر من الهواء. لذا يمتص الماء معظم الطاقة الحرارية، مما يقلل بدرجة كبيرة من معدل ارتفاع درجة حرارة المطاط إلى درجة الانصهار.

الإشعاع الحراري هذه الطريقة لا تشبه الطريقتين السابقتين؛ إذ لا تحتاج إلى وجود مادة للانتقال. تعمل الشمس على تسخين الأرض من بُعد 150 مليون كيلومتر عن طريق **الإشعاع الحراري**، والذي يمثل انتقال الطاقة بوساطة الأمواج الكهرومغناطيسية. حيث تعمل هذه الأمواج على نقل الطاقة من الشمس الحارة خلال الفراغ إلى الأرض الأكثر برودة، وكذلك الأمر عندما تشعر بالحرارة عند جلوسك أمام مدفأة.

السعة الحرارية النوعية Specific Heat Capacity

تكتسب بعض الأجسام الحرارة أسهل من غيرها. ففي يوم صيفي مشمس تعمل الشمس على تسخين الرمل عند الشاطئ وماء البحر. وعلى الرغم من تعرضهما للطاقة الحرارية من المصدر نفسه (الشمس) وخلال الفترة الزمنية نفسها، إلا أن الرمل يصبح أكثر سخونة من ماء البحر. وعندما تنتقل الحرارة إلى داخل جسم ما؛ فإن كلًا من طاقته الحرارية ودرجة حرارته تزداد. ويعتمد مقدار الزيادة في درجة الحرارة على كتلة الجسم، ونوع مادته.

الجدول 1–1

السعة الحرارية النوعية للموادّ الشائعة

المادة	السعة الحرارية النوعية (J/ kg. K)	المادة	السعة الحرارية النوعية (J/ kg. K)
الألومنيوم	897	الرصاص	130
النحاس الأصفر	376	الميثانول	2450
الكربون	710	الفضة	235
النحاس	385	بخار الماء	2020
الزجاج	840	الماء	4180
الجليد	2060	الخارصين	388
الحديد	450		

إن **السعة الحرارية النوعية** لمادة ما هي كمية الطاقة التي يجب أن تكتسبها المادة لترتفع درجة حرارة وحدة الكتل من هذه المادة درجة سيلزية واحدة. ويرمز للسعة الحرارية النوعية، بالرمز C، وتقاس بوحدات J /kg.K في نظام الوحدات العالمي. ويبين **الجدول 1–1** قيم السعة الحرارية النوعية لبعض المواد المعروفة، فعلى سبيل المثال، يجب نقل طاقة مقدارها 897 J إلى كتلة مقدارها 1 kg من الألومنيوم لرفع درجة حرارتها 1 K. لذا، تكون السعة الحرارية النوعية للألومنيوم 897 J /kg.K.

تطبيق الفيزياء

في البلاد ذات الطقس الشديد البرودة تنتشر طرائق التدفئة المركزية التي تعتمد على البخار، وفي المباني القديمة خصوصًا، تظهر مشكلة مرافقة لنظام التدفئة هذا؛ إذ ينجم عن أنابيب البخار ضوضاء صاخبة ومفاجئة، مما يجعل العيش بالقرب منها صعبًا. دع الطلبة يناقشوا هذه المشكلة ويستنتجوا أسبابها معتمدين على معرفتهم بدور التكثيف في حرارة البخار، ثم اطلب إليهم أن يقترحوا حلولاً ممكنة. فقد يرغب بعض الطلبة المهتمين في نمذجة المشكلة بالرسم.

مثال صفي

سؤال أحيانًا قد تُنتج دائرة قصر في نظام التوصيلات الكهربائية حرارةً كافية لصهر الأسلاك. فما مقدار الحرارة التي يلزم انتقالها إلى سلك من النحاس كتلته 20.0 g لترتفع درجة حرارته من درجة حرارة الغرفة (25.0° C) إلى درجة انصهار مادة السلك (1082.0° C)؟

الجواب

$$Q = mC(T_f - T_i)$$
$$= (0.0200\ kg)(385\ J/kg.°C)$$
$$(1082.0\ °C - 25.0\ °C)$$
$$= 8140\ J$$

تقوية

الحرارة، والطاقة الحرارية، ودرجة الحرارة

اطلب إلى الطلبة بعد تقسيمهم في مجموعات ثنائية، رسم خريطة مفاهيم تربط بين المفاهيم الرئيسة أو الكميات التالية: الطاقة الحرارية، درجة الحرارة، الحركة الجزيئية، الحرارة، الكتلة، السعة الحرارية النوعية. وعلى الطلبة أن يستخدموا عبارات توضيحية قصيرة لتوضيح الروابط في خريطة المفاهيم.

م 1 بصري–مكاني

إن كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة تعتمد على كتلة الجسم، وعلى مقدار التغير في درجة حرارته، وعلى السعة الحرارية النوعية لمادة الجسم. وتستطيع باستخدام المعادلة الآتية حساب كمية الحرارة Q، اللازمة لتغيير درجة حرارة الجسم.

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة $Q = mC\Delta T = mC(T_f - T_i)$

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة تساوي كتلة الجسم مضروبة في سعته الحرارية النوعية، وفي الفرق بين درجتي حرارته النهائية والابتدائية.

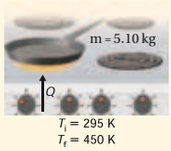
للماء السائل سعة حرارية نوعية مرتفعة مقارنة بالمواد الأخرى كما في **الجدول 1–1**، ولذا فعندما ترتفع درجة حرارة 10.0 kg من الماء بمقدار 5.0 K فإن الطاقة المكتسبة هي:

$$Q = (10.0\ kg)(4180\ J/kg.K)(5.0\ K) = 2.1 \times 10^5\ J$$

تذكّر أن التدريج الواحد في مقياس كلفن يعادل تدريجًا واحدًا بمقياس سلسيوس، ولهذا السبب تستطيع حساب ΔT بوحدة الكلفن أو السلسيوس.

مثال 1

انتقال الحرارة إذا تم تسخين مقلاة من الحديد الصلب كتلتها 5.10 kg على موقد؛ فارتفعت درجة حرارتها من 295 K إلى 450 K، فما مقدار كمية الحرارة التي يكتسبها الحديد؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم تدفق الحرارة نحو المقلاة من قمة الموقد.

المعلوم	المجهول
$C = 450\ J/kg.K$ $m = 5.10\ kg$	$Q = ?$
$T_f = 450\ K$ $T_i = 295\ K$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن $T_i = 295\ K$، $T_f = 450\ K$، $C = 450\ J/kg.K$، $m = 5.10\ kg$

$$Q = mC(T_f - T_i)$$
$$= (5.10\ kg)(450\ J/kg.K)(450\ K - 295\ K)$$
$$= 3.6 \times 10^5\ J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الحرارة بوحدة J.
- **هل تدل الإشارة على شيء؟** زادت درجة الحرارة، لذا تكون Q موجبة.

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

السعة الحرارية النوعية إن قيم السعة الحرارية النوعية المدرجة في الجدول 1–1 مقبولة بالنسبة لدرجات الحرارة المقاربة لدرجة حرارة الغرفة. ويمكن لأغراض تجريبية اعتبار السعة الحرارية النوعية ثابتة على مدى واسع من درجات الحرارة. ويُعد انخفاض السعة الحرارية النوعية عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا خاصية للمواد كافة. وينبغي أن تؤول السعة الحرارية النوعية للمواد كافة إلى الصفر عند انخفاض درجة الحرارة إلى الصفر المطلق.

مسائل تدريبية

3. عندما تفتح صنبور الماء الساخن، لغسل الأواني، فإن أنابيب المياه تسخن. فما مقدار كمية الحرارة التي يكتسبها أنبوب ماء نحاسي كتلته 2.3 kg عندما ترتفع درجة حرارته من 20.0 °C إلى 80.0 °C؟

4. يحتوي نظام التبريد لسيارة على 20.0 L من الماء. إذا علمت بأن كتلة لتر واحد من الماء تساوي 1kg، فأجب عما يأتي :

a. إذا اشتغل المحرك حتى اكتسب 836.0 kJ من الحرارة، فما مقدار التغير في درجة حرارة الماء؟

b. إذا كان الفصل شتاءً، ونظام التبريد في السيارة مملوءًا بالميثانول ذي الكثافة 0.80 g /cm^3 فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الميثانول إذا اكتسب 836.0 kJ من الحرارة؟

c. أيهما يُعد مبرِّدًا أفضل، الماء أم الميثانول؟ فسِّر إجابتك.

المسعر: Calorimeter

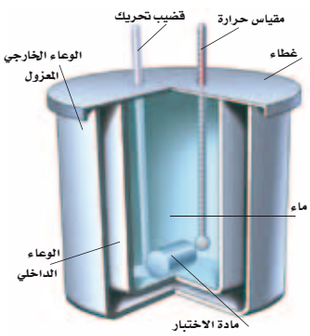
قياس السعة الحرارية النوعية Measuring Specific Heat

إن المسعر البسيط كما في **الشكل 7–1**، أداة تستخدم لقياس التغير في الطاقة الحرارية. ويكون المسعر معزولاً، بحيث يكون انتقال الطاقة إلى المحيط الخارجي أقل ما يمكن. وتوضع كتلة معلومة من مادة مسخنة عند درجة حرارة عالية داخل المسعر الذي يحتوي أيضًا على كتلة معلومة من الماء البارد وتكون درجة حرارة الماء معلومة أيضًا. تنتقل الحرارة المفقودة من المادة إلى الماء البارد، ثم يحسب التغير في الطاقة الحرارية للمادة من خلال الزيادة في درجة حرارة الماء. وهناك أنواع أخرى من المسعرات تستعمل لقياس التفاعلات الكيميائية، ومحتوى الطاقة في الأطعمة.

يعتمد عمل المسعر على مبدأ حفظ الطاقة في النظام المغلق والمعزول، بحيث لا يمكن للطاقة أن تدخل هذا النظام أو تغادره. ونتيجة لذلك، إذا ازدادت طاقة جزء معين من النظام، فإن طاقة جزء آخر يجب أن تنقص بالمقدار نفسه. افترض أن النظام مكون من قالبين من المعدن A وB، كما في **الشكل 8a–1**. فتكون الطاقة الكلية للنظام ثابتة، كما في المعادلة الآتية:

حفظ الطاقة ثابت $= E_A + E_B$

تكون الطاقة الحرارية في النظام المغلق والمعزول للجسم A مضافًا إليها الطاقة الحرارية للجسم B مقدارًا ثابتًا.



الشكل 7–1 يمثل المسعر النظام المغلق والمعزول، ويستخدم لحساب انتقال الطاقة الحرارية.

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

الهندسة الكيميائية يُعدّ فهم انتقال الحرارة في عمليات الإنتاج الكيميائي جزءًا مهمًّا من الهندسة الكيميائية؛ إذ يتطلب إنتاج الكيماويات الصناعية تزويدها بالحرارة لحدوث التفاعل الكيميائي، أو إزالة الحرارة الناتجة بفعل التفاعل الكيميائي. وإضافة الحرارة أو إزالتها يرفع تكلفة الإنتاج كثيرًا بسبب القدرة الكهربائية المستهلكة أو معدات التبريد. ولا تُنتج الكيماويات غالبًا على دفعات، بل تنتج عن طريق عمليات مستمرة، حيث تتدفق المواد خلال مستودع التفاعل، لذا يجب أن يكون المهندس الكيميائي قادرًا على حساب تدفق الكيماويات، ومعدل تفاعلها، ومعدل انتقال الحرارة.

مسائل تدريبية

3. 5.3×10^4J

4. a. 10.0 K

b. 21 K

c. الماء هو المبرد الأفضل عند درجات حرارة أعلى من 0°C؛ لأنه يستطيع أن يمتص الحرارة دون أن تتغير درجة حرارته كثيرًا على عكس الميثانول.

–

عرض سريع

الطاقة الحرارية

الزمن المقترح 5 دقائق

المواد والأدوات مقياس حرارة، دورق سعته 250 mL، ماء، كلوريد كالسيوم (يُباع في بعض المحال لتجفيف الرطوبة)، ملعقة قياس، نظارات واقية.

الخطوات اسكب 200 mL من الماء في الدورق وقس درجة حرارته، ثم أضف ملعقة صغيرة من كلوريد الكالسيوم إلى الماء، وحركه جيدًا، وقس درجة حرارة المحلول عندما يستقر. ثم أضف ملعقة أخرى من كلوريد الكالسيوم. كرر الخطوات، وقس درجة الحرارة مرة أخرى، وكرر ذلك مرة أو مرتين. ثم ارسم العلاقة البيانية بين درجة الحرارة المقيسة وعدد الملاعق المضافة. ويستطيع الطلبة من خلال الاختلافات في درجة الحرارة والسعة الحرارية النوعية للماء، حساب الطاقة المتحررة عندما يذوب كلوريد الكالسيوم في الماء. وهذه الطريقة من الطرائق المستخدمة في قياس الطاقة المتحررة أو الممتصة بوساطة التفاعل.

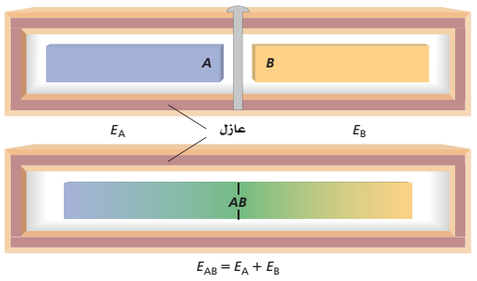
المناقشة

سؤال يؤدي الماء دورًا فريدًا في حياة المخلوقات الحية؛ فأغلب أجسامنا مكونة من الماء. ما الذي يمكن أن يحدث للبشر لو لم تكن كل من السعة الحرارية النوعية وحرارة التبخر للماء عالية؟

الجواب ستتأثر درجة حرارة أجسامنا بسهولة بالظروف الخارجية. وتعني القيمة الكبيرة للسعة الحرارية النوعية للماء أنه يتطلب إضافة الكثير من الطاقة الداخلية أو انتزاعها لتغيير درجة حرارة الجسم البشري. فعلى سبيل المثال، عندما يشرب شخص مشروبًا باردًا فإن درجة حرارة جسمه لا تنقص. وتساعد حرارة التبخر الكبيرة للماء على تبريد أجسامنا عندما نعرق، وقد نعرق كثيرًا لإزالة الحرارة الزائدة. م 2 **منطقي–رياضي**

استخدام التشابه

المساعر الحرارية قد تساعد مقارنة حجرة المسعر بالتيرموس على فهم كيفية عمل المسعر. لا يسمح التيرموس بدخول الحرارة أو خروجها بسهولة من النظام وإليه. ينبغي أن تكون جدران المسعر معزولة جيدًا؛ فإذا أمكن للحرارة أن تدخل إلى النظام أو تخرج منه، فعندئذ لا يعكس التغير في درجة حرارة الماء مقدار الحرارة الممتصة أو المفقودة من العينة الموجودة في حجرة المسعر بدقة.



الشكل 8–1 نظام مكون من نموذجين لقالبين عند درجات حرارة مختلفة، وهما مفصولان في الحالة الابتدائية (a). وعندما يتلامس القالبان فإن الحرارة تتدفق من القالب الساخن إلى القالب الأبرد (b). وتبقى الطاقة الكلية ثابتة.

افترض في البداية أن القالبين منفصلان ومن الممكن جعلهما يتلامسان. فإذا تغيرت الطاقة الحرارية للقالب A بمقدار ΔE_A عند تلامسهما، فإنّ التغير في الطاقة الحرارية للقالب B يساوي ΔE_B، ويُمكن وصف التغير من خلال المعادلة، $\Delta E_A + \Delta E_B = 0$. لذا يكون $\Delta E_A = -\Delta E_B$، أي أن تغير الطاقة لأحد القالبين موجب، في حين يكون تغير الطاقة للقالب الآخر سالبًا. مما يعني أن هنالك ازديادًا في درجة حرارة القالب ذي التغير الموجب في طاقته الحرارية، ونقصان في درجة حرارة القالب ذي التغير السالب في طاقته الحرارية.

عندما يتلامس القالبان ومع افتراض أن درجتي الحرارة الابتدائية للقالبين مختلفتان، تنتقل الحرارة من القالب الأسخن إلى القالب الأبرد، كما في **الشكل 8b–1**. ويستمر انتقال الحرارة حتى يصبح القالبان في حالة اتزان حراري، وذلك عندما يكون للقالبين درجة الحرارة نفسها.

يكون التغير في الطاقة الحرارية لنظام مغلق ومعزول مساويًا للحرارة المنقولة، وذلك لعدم بذل أي شغل. لذا، يعبر عن تغير الطاقة لكل قالب بالمعادلة الآتية:

$$\Delta E = Q = mC\Delta T$$

ولأن الزيادة في الطاقة الحرارية للقالب A تساوي النقصان في الطاقة الحرارية للقالب B فإن العلاقة الآتية صحيحة:

$$m_A C_A \Delta T_A + m_B C_B \Delta T_B = 0$$

إن التغير في درجة الحرارة هو الفرق بين درجتي الحرارة الابتدائية والنهائية؛ أيْ أن

$$\Delta T = T_f - T_i$$

فإذا زادت درجة حرارة القالب فإن $T_f > T_i$، وتكون ΔT موجبة. وإذا نقصت درجة حرارة القالب فإن $T_f < T_i$، وتكون ΔT سالبة، ودرجتا الحرارة النهائية للقالبين متساويتين.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

حفظ مسار تبادل الحرارة يواجه الطلبة في أغلب الأحيان مشاكل في حسابات درجات الحرارة النهائية في المسعر؛ وذلك لأنهم يسيئون استخدام الإشارات السالبة أو يخفقون في حساب الحرارة المتبادلة. لذا ذكّرهم أن تبادل الحرارة مثله مثل تداول النقود؛ حيث تنتقل النقود من شخص إلى آخر ولا تُفقد. وينبغي أن يتوقعوا أيضًا أن درجة الحرارة النهائية في المسعر، ستكون عند نقطة بين درجتي الحرارة الابتدائيتين للجسم البارد والجسم الساخن. وأخيرًا يمكن الحصول دائمًا على الإشارة الصحيحة عند حساب ΔT في المعادلة، من خلال طرح درجة الحرارة الابتدائية من درجة الحرارة النهائية.

وتمثل المعادلة الآتية انتقال الطاقة.

$$m_A C_A (T_f - T_A) + m_B C_B (T_f - T_B) = 0$$

حل المعادلة بالنسبة لـ T_f وذلك بفك الأقواس:

$$m_A C_A T_f - m_A C_A T_A + m_B C_B T_f - m_B C_B T_B = 0$$

$$T_f (m_A C_A + m_B C_B) = m_A C_A T_A + m_B C_B T_B$$

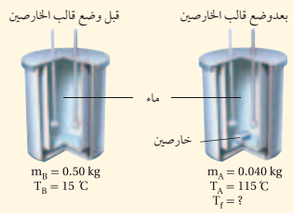
$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

مثال 2

انتقال الحرارة في المسعر يحتوي مسعر على ماء كتلته 0.50 kg عند درجة حرارة 15 °C، فإذا وضع قالب من الخارصين كتلته 0.040 kg ودرجة حرارته 115 °C في الماء. فما درجة الحرارة النهائية للنظام بإهمال كتلة المسعر؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- أعتبر أن رمز عينة الخارصين A، وعينة الماء B.
- ارسم انتقال الحرارة من الخارصين الساخن إلى الماء البارد.



المعلوم	المجهول
$m_A = 0.040$ kg	$T_f = ?$
$C_A = 388$ J/kg.°C	
$T_A = 115$ °C	
$m_B = 0.50$ kg	
$C_B = 4180$ J/kg.°C	
$T_B = 15.0$ °C	

2 إيجاد الكميات المجهولة

احسب درجة الحرارة النهائية باستخدام المعادلة التالية:

$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

بالتعويض عن $m_A = 0.040$ kg، $C_A = 388$ J/kg.°C، $T_A = 115$ °C، $C_B = 4180$ J/kg.°C، $m_B = 0.50$ kg، $T_B = 15.0$ °C

$$= \frac{(0.040\text{ kg})(388\text{ J/kg.°C})(115\text{ °C}) + (0.50\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C})(15.0\text{ °C})}{(0.040\text{ kg})(388\text{ J/kg.°C}) + (0.50\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C})}$$

$$= 16\text{ °C}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** قيست درجة الحرارة بوحدة سلسيوس.
- **هل الجواب منطقي؟** تقع الإجابة بين درجتي الحرارة الابتدائية للعينتين، كما هو متوقع عند استخدام المسعر.

مثال صفي

سؤال أُضيف قالب من النحاس كتلته 0.025 kg، عند درجة حرارة 82 °C إلى مسعر يحتوي على 0.025 kg من الماء عند درجة حرارة 22 °C، ما درجة حرارة قالب النحاس والماء عندما يصلان إلى الاتزان الحراري بإهمال كتلة المسعر؟

الجواب

$$T_f = \frac{(m_A C_A T_A + m_B C_B T_B)}{(m_A C_A + m_B C_B)}$$

$$T_f = [(0.025\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C})(22\text{° C}) + (0.025\text{ kg})(385\text{ J/kg.°C})(82\text{ °C})]/[(0.025\text{ kg})(4180\text{ J/kg.°C}) + (0.025\text{ kg})(385\text{ J/kg.°C})]$$

$$T_f = 27\text{ °C}$$

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

السعة الحرارية النوعية والكتلة الذرية لقد وجد كل من أليكس ثيريز بيتت وبيير لويس دلونج عام 1819م أن حاصل ضرب السعة الحرارية النوعية والكتلة الذرية يكون إلى حد كبير مقدارًا ثابتًا لمدى واسع من العناصر الصلبة. لذا فإن قيم السعة الحرارية النوعية لهذه العناصر تتناسب عكسيًّا مع كتلها الذرية. لذلك تستطيع تقدير الكتلة الذرية لعنصر جديد بسرعة إذا عرفت السعة الحرارية النوعية لهذا العنصر. وقد وجد جونس جاكوب برزيولس أن هذا الاكتشاف مفيد في تحسين جدوله للكتل الذرية للعناصر، والذي كان تمهيدًا لظهور الجدول الدوري للعناصر.

مسائل تدريبية

.5 45.0°C

.6 8.36×10^{2} J /kg.°C

مسائل تدريبية

.5. خُلطت عينة ماء كتلتها 2.00×10^{2} g ودرجة حرارتها 80.0 °C مع عينة ماء كتلتها 2.00×10^{2} g ودرجة حرارتها 10.0 °C. افترض عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

.6. وضع قالب فلزي في ماء كتلته 1.00×10^{2} g ودرجة حرارته 10.0 °C، فإذا كانت كتلة القالب 1.00×10^{2} g ودرجة حرارته 100.0 °C وكانت درجة الحرارة النهائية للخليط 25.0 °C. فما السعة الحرارية النوعية لمادة القالب؟

الشكل 9–1 تنظّم السحلية درجة حرارة جسمها من خلال الاختباء أسفل صخرة، عندما يكون الجو حارًا (**a**). والتعرض لأشعة الشمس عندما يكون الجو باردًا (**b**).

الربط مع علم الأحياء

تقسم الحيوانات إلى مجموعتين اعتمادًا على درجات حرارة أجسامها. معظمها من ذوات الدم البارد، وهي التي تتغير درجة حرارة أجسامها تبعًا للبيئة المحيطة. وبقية الحيوانات من ذوات الدم الحار، وهي التي تتحكم في درجة حرارة أجسامها داخليًا. وهذه الحيوانات تبقى درجات حرارة أجسامها مستقرة بغض النظر عن درجة حرارة المحيط. أما الحيوانات ذوات الدم البارد فترتفع درجة حرارة أجسامها عندما تكون درجة حرارة المحيط مرتفعة. وتنظّم هذه الحيوانات، ومنها السحلية في **الشكل 9–1**، حرارة جسمها من خلال تنظيم انتقال الحرارة بوساطة الاختباء تحت صخرة أو في شق، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة جسمها. ويعد البشر من مجموعة ذوات الدم الحار؛ فدرجة حرارة جسم الإنسان تقريبًا 37 °C.

ولينظّم الحيوان من ذوات الدم الحار درجة حرارة جسمه، فإنه يزيد أو يقلل من مستوى عمليات الأيض.

3. التقويم

التحقق من الفهم

تجمد الماء على الجسور اسأل الطلبة: ما سبب وجود التحذير التالي بالقرب من الجسور في الدول القريبة من القطب الشمالي: "يتجمد الماء على الجسر قبل تجمد سطح الطريق"؟ يتعرض الجانب السفلي من الجسر لهواء بارد، مما يؤدي إلى تبريد الجسر بسرعة وتجمد أي ماء موجود على سطحه العلوي. م2

التوسع

الملابس الخاصة طورت بعض الشركات مواد خاصة لنسج ملابس للرحالة، والمخيمين، ومتسلقي الجبال، حتى تستخدم في الطقس البارد والمناطق المرتفعة. لذا اطلب إلى الطلبة البحث عن الخصائص المفيدة لتلك المواد، ومنها العزل الليفي، البوليمر للملابس الداخلية والقمصان، الصوف والصوف الصناعي، والبطانيات العاكسة. م2

1-1 مراجعة

7. **درجات الحرارة** حوّل درجات الحرارة الآتية كما هو مشار إليه:
   a. 5 °C إلى كلفن.
   b. 212 °C إلى كلفن.
   c. 34 K إلى سلسيوس.
   d. 316 K إلى سلسيوس.
8. **الطاقة الحرارية** هل يمكن أن تكون الطاقة الحرارية لكمية من الماء الساخن مساوية للطاقة الحرارية لكمية أخرى من الماء البارد؟ فسّر إجابتك.
9. **انتقال الحرارة** لماذا تبقى البطاطا المشويّة ساخنة مدة أطول، من أيّ طعام آخر في الطبق نفسه؟
10. **الحرارة** يكون بلاط أرضية الحمام في الشتاء باردًا عند لمسه بالقدم، رغم أن باقي غرفة الحمام دافئة، فهل تكون الأرضية أبرد من سائر غرفة الحمام؟
11. **السعة الحرارية النوعية** إذا استخدمت ملعقة بلاستيكية لشرب الشاي من فنجان شاي حار، فلن تحرق لسانك، على الرغم من أنك قد تحرق لسانك بسهولة لو وضعت الشاي الحار في فمك مباشرة. فلماذا؟
12. **الحرارة** يستعمل كبار الطباخين في أغلب الأحيان مقالي طبخ مصنوعة من الألومنيوم السميك، فلماذا يعد الألومنيوم السميك أفضل من الرقيق للطبخ؟
13. **الحرارة والطعام** لماذا يتطلب شيّ حبة البطاطس كاملة مدة أطول من قليها على شكل شرائح صغيرة؟
14. **التفكير الناقد** قد ينتج بعض الضباب فوق سطح الماء عندما يسخن، قبل بدء الغليان مباشرة. فما الذي يحدث؟ وأين يكون الجزء الأبرد من الماء في القدر؟

1-1 مراجعة

7. a. 278 K b. 485 K c. −239° C d. 43° C
8. إذا كانت الكميتان متماثلتين، فإن لكمية الماء الساخن طاقة حرارية أكبر.
9. إن للبطاطا سعة حرارية نوعية كبيرة ولا توصل الحرارة بصورة جيدة، لذا فإنها تفقد حرارتها ببطء.
10. يوصل البلاط الحرارة بكفاءة عالية أكثر من معظم المواد.
11. للملعقة البلاستيكية سعة حرارية نوعية أقل، لذا لا تنقل الكثير من الحرارة إلى لسانك.
12. يوصل الألومنيوم السميك الحرارة بصورة أفضل ولا تتشكل فيه بقع أسخن مما حولها.
13. لا توصل البطاطس الحرارة جيدًا. كما يؤدي تقسيمها إلى أجزاء صغيرة إلى زيادة المساحة السطحية، مما يزيد من تدفق الحرارة إليها. ويعد تدفق الحرارة من الزيت الحار إلى البطاطس (كما في القلي) أكثر كفاءة من تدفق الحرارة من الهواء الساخن إلى البطاطس (كما في الشيّ).
14. تتدفق الحرارة من الموقد (الجزء الأسخن) إلى قمة سطح الماء (الأبرد).

1-2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية

1. التركيز

نشاط محفّز

الشغل والطاقة الداخلية اطلب إلى أحد الطلبة أن يأخذ مشبك ورقٍ فولاذيًّا نظيفًا ويعيد تشكيله على شكل حرف "U". واطلب إلى الطلبة أن يمسكوا بالمشابك، على أن يكون الانحناء في وسطه ويلامس شفاههم العلوية. وعليهم ملاحظة أن المشبك يبدو باردًا قليلاً. ثم اطلب إليهم أن يثنوا مشابكهم بشدة عدة مرات، ثم يلامسوا المشابك بشفاههم العلوية مرة أخرى، وعليهم أن يلاحظوا أن المشبك أصبح دافئًا، بسبب الشغل الذي بُذل على المعدن. ص 1 حركي

الربط مع المعرفة السابقة

الاحتكاك لقد شاهد الطلبة أن الطاقة فُقدت بسبب الاحتكاك؛ إذ يزيد هذا الاحتكاك من درجة حرارة الأجسام. لذا دع الطلبة يفركوا أيديهم، ويلاحظوا أن أيديهم تصبح دافئة. وقد يقوم أحدهم بفرك يديه لتدفئتهما، فيبذل شغلاً من خلال عملية الفرك. أما النار فتؤدي إلى تدفئة اليدين بوساطة انتقال الحرارة بالإشعاع. ويربط القانون الأول للديناميكا الحرارية الشغل، والحرارة، والطاقة الداخلية، ودرجة الحرارة. ص 1 حركي

الأهداف
- **تعرّف** الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر.
- **توضّح** القانونين الأول، والثاني للديناميكا الحرارية.
- **تميّز** بين الحرارة، والشغل.
- **تعرّف** الإنتروبي.

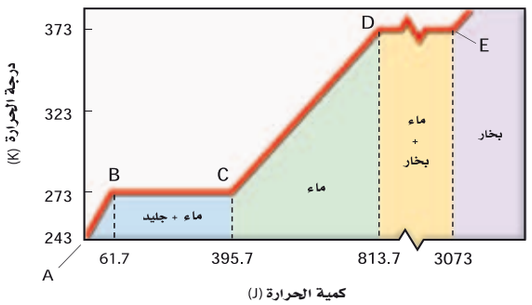
المفردات
الحرارة الكامنة للانصهار
الحرارة الكامنة للتبخر
القانون الأول للديناميكا الحرارية
الآلة الحرارية
الإنتروبي
القانون الثاني للديناميكا الحرارية

استخدم صانعو المحرك البخاري في القرن الثامن عشر الحرارة لتحويل الماء الساخن إلى بخار، حيث يدفع البخار المكبس، لتشغيل المحرك، ثم يبرد البخار، ويتكاثف فيصبح سائلاً مرة أخرى. إن إمداد الماء السائل بكمية من الطاقة الحرارية لا يُغير درجة حرارته فقط، بل يغير بنيته التركيبية أيضًا. وستتعلم أن تغير حالة المادة يعني تغير الشكل، والطريقة التي تخزّن بوساطتها الذراتُ الطاقةَ الحرارية.

تغير حالة المادة Changes of State

إن الحالات الثلاث الأكثر شيوعًا للمادة هي: الصلبة، والسائلة، والغازية. حيث تتغير حالة المادة الصلبة إلى السائلة عند رفع درجة حرارتها، وتصبح غازًا عند درجات حرارة أعلى. فكيف يمكن تفسير هذه التغيرات؟ افترض أنّ مادة ما في الحالة الصلبة اكتسبت كمية من الطاقة الحرارية؛ فما التغير الذي سيطرأ عليها؟ تزداد حركة جزيئاتها، كما تزداد درجة حرارتها.

يبين **الشكل 10–1** تمثيلًا بيانيًّا لتغيرات حالة المادة عند تزويد 1 g من الماء بطاقة حرارية بدءًا من درجة حرارة 243 K (جليد) حتى تصل درجة الحرارة إلى مايزيد على 373 K (بخار). لقد سُخّن الجليد بين النقطتين A و B حتى أصبحت درجة حرارته 273 K، وعند نقطة معينة فإن الطاقة الحرارية المكتسبة تجعل جزيئات الماء تتحرك بسرعة كافية، للتغلب على القوى التي تعمل على تثبيت الجزيئات بحيث تراوح مكانها. وتبقى الجزيئات يلامس بعضها بعضًا، ولكنها تملك حرية حركة أكثر، وبازدياد الطاقة الحرارية المكتسبة تصبح الجزيئات أخيرًا حرة على نحوٍ كافٍ لتنزلق مبتعدًا بعضها عن بعض.



الشكل 10–1 تمثيل بياني للعلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة المكتسبة عندما يتحول 1g من الجليد إلى بخار. لاحظ أنّ المحور الأفقي منفصل بين النقطتين D و E، إشارة إلى تغير مقياس الرسم بين النقطتين.

درجة الانصهار تتغير المادة عند هذه الدرجة من الحالة الصلبة، إلى الحالة السائلة، وتسمى درجة الحرارة التي يحدث عندها هذا التغير درجة انصهار المادة. في أثناء انصهار المادة، تعمل الطاقة الحرارية المكتسبة كلها على التغلب على القوى التي تربط الجزيئات بعضها ببعض في الحالة الصلبة، ولكنها لا تؤدي إلى زيادة الطاقة الحركية للجزيئات. وهذا يمكن مشاهدته بين النقطتين B وC في **الشكل 10–1**، حيث تؤدي الطاقة الحرارية المكتسبة إلى انصهار الجليد عند درجة الحرارة الثابتة 273 K. ولأن الطاقة الحركية للجزيئات لا تزداد بين النقطتين B و C فإن درجة الحرارة لا تزداد بينهما أيضًا بل تبقى ثابتة.

درجة الغليان عندما تنصهر المادة الصلبة تمامًا تتلاشى القوى التي تثبت الجزيئات في الحالة الصلبة، ويؤدي اكتساب المادة للمزيد من الطاقة الحرارية إلى زيادة طاقة حركة الجزيئات، وارتفاع درجة حرارة السائل. وتحدث هذه العملية على المخطط بين النقطتين C و D، ومع زيادة درجة الحرارة أكثر من ذلك، يكون لبعض الجزيئات في السائل، طاقة كافية لتتحرر من الجزيئات الأخرى. وعند درجة حرارة محددة– تعرف بدرجة الغليان–تؤدي أيُّ زيادة في الطاقة الحرارية إلى تغير حالة المادة إلى حالة أخرى. وكل الطاقة الحرارية المكتسبة تغير حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

تبقى درجة الحرارة ثابتة عندما يغلي السائل كما هو الحال تمامًا في حالة الانصهار. ويمثل هذا الانتقال بين النقطتين D و E في **الشكل 10–1**. وبعدما تتحول المادة كليًّا إلى غاز، فإنّ أيّ زيادة في الطاقة الحرارية مجددًا، تزيد من حركة الجزيئات، وترفع درجة الحرارة أعلى من النقطة E، فيسخن بخار الماء عند درجات حرارة أعلى من 373 K.

الحرارة الكامنة للانصهار H_f تسمى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار 1kg من مادة ما **بالحرارة الكامنة للانصهار** لهذه المادة. فعلى سبيل المثال، الحرارة الكامنة لانصهار الجليد هي 3.34×10^5 J/kg . فإذا اكتسب 1 kg من الجليد عند درجة حرارة الانصهار 273 K، ما مقداره 3.34×10^5 J من الطاقة الحرارية فسيتحول الجليد إلى 1 kg من الماء عند درجة الحرارة نفسها؛ حيث تسبب الطاقة الحرارية المكتسبة تغيرًا في الحالة وليس تغيرًا في درجة الحرارة. وتصرف هذه الطاقة في إبعاد الجزيئات بضعها عن بعض دون زيادة في سرعتها. ويمثل الخط الأفقي بين النقطتين B و C في **الشكل 10–1** الحرارة الكامنة للانصهار.

الحرارة الكامنة للتبخر H_v يغلي الماء عند درجة حرارة 373K عند الضغط الجوي العادي. وتسمى كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير 1kg من السائل **بالحرارة الكامنة للتبخر**. فالحرارة الكامنة لتبخر الماء مثلاً تساوي 2.26×10^6J/kg. ويمثل الخط بين النقطتين D وE في **الشكل 10–1** الحرارة الكامنة للتبخر. ولكل مادة حرارة كامنة للتبخر خاصة بها. ويوجد بين النقطتين A وB ميل واضح للخط مع ارتفاع درجة الحرارة.

تجربة

الانصهار

1. ضع إشارة A، وإشارة B على كأسين مصنوعتين من مادة جيدة العزل (مثل كؤوس الاستعمال لمرة واحدة المصنعة من الفلين الصناعي).
2. اسكب في كل كأس 75 ml من الماء عند درجة حرارة الغرفة، وامسح أي ماء منسكب.
3. ضع مكعب جليد في الكأس A، وماءً عند درجة التجمد في الكأس B حتى يتساوى مستوى الماء في الكأسين.
4. قس درجة حرارة الماء في كل كأس، وكرّر القياس بعد كل دقيقة حتى ينصهر الجليد.
5. سجل درجات الحرارة في جدول البيانات، ومثلها بيانيًّا.

التحليل والاستنتاج

6. هل يصل الماء في الكأسين إلى درجة الحرارة النهائية نفسها؟ لماذا؟

2. التدريس

استخدام النماذج

الانصهار والتبخر يعد انصهار قطعة جليد من الطرائق المستخدمة في توضيح الطاقة التي تلزم لتحويل المادة الصلبة إلى سائلة ثم تحويلها إلى مادة غازية. لذا ابدأ بقطع جليدية صغيرة (ماء ملون محمد في قالب حلوى)، ثم ضع اثنتين منها في صحنين: الأول عند درجة حرارة الغرفة، والآخر أسفل مصباح حراري. وضع قطعة ثالثة في كيس تخزين بسحّاب، واطلب إلى الطلبة أن يمسكوه ويدوّروه في كل الاتجاهات. كلما كانت الطاقة المزوّدة أكثر كان انصهار الجليد أسرع. أما الجليد الذي في أسفل المصباح الحراري فسيتبخر في النهاية.

تجربة

الانصهار

تحذير: جفّف أي ماء منسكب بسرعة لتجنب خطر الانزلاق.

الهدف معاينة انتقال الحرارة خلال تغير الحالة.

المواد والأدوات كوبان بلاستيكيان، ماء، ماء ثَلِج، مكعب جليد، مقياسا حرارة.

النتائج المتوقعة ستنخفض درجة حرارة الكوب الذي يحتوي على الجليد أكثر من الكوب الذي يحتوي على ماء ثلج.

التحليل والاستنتاج

6. لن يصدق الكثير من الطلبة النتائج. حتى لو كان كل من مكعب الجليد والماء الثلِج عند درجة حرارة 0 ˚C فسوف يبرّد الجليد الماء بصورة أفضل من الماء الثلِج، لأن مكعب الجليد يمتص طاقة ليتحول من حالة الصلابة إلى الحالة السائلة.

الجدول 2–1

الحرارة الكامنه للانصهار والتبخر لبعض المواد الشائعة

المادة	الحرارة الكامنة للانصهار H_f (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر H_V (J/kg)
النحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
الزئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
الذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
الميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
الحديد	2.66×10^5	6.29×10^6
الفضة	1.04×10^5	2.36×10^6
الرصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
الماء (الجليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

ويمثـل هـذا الميل مقلوب السـعة الحراريـة النوعية للجليـد. في حين يمثـل الميل بين النقطتيـن C وD مقلـوب السـعة الحراريـة النوعية للماء، كمـا يمثل الميل بعـد النقطة E مقلوب السـعة الحرارية النوعية للبخار. لاحظ أن ميل الخط في حالة الماء أقل من ميله في حالتي الجليد والبخار. وهذا عائد إلى أن للماء سـعة حرارية نوعية أكبر مما للجليد والبخـار. ويعبر عن كميـة الحرارة Q اللازمة لصهر كتلة m من المـادة الصلبة بالمعادلة الآتية:

الحرارة اللازمة لصهر الكتلة الصلبة $Q = m H_f$

كمية الحرارة اللازمة لصهر كتلة ماء تسـاوي مقدار تلك الكتلة، مضروبة في الحرارة الكامنة لانصهار مادتها.

كما يعبر عن كمية الحرارة Q اللازمة لتبخير كتلة m من السائل بالمعادلة الآتية:

الحرارة اللازمة لتبخير السائل $Q = m H_V$

كميـة الحـرارة اللازمـة لتبخير سـائل ما تسـاوي كتلة السـائل، مضروبة فـي الحرارة الكامنة لتبخير مادته.

وعندمـا يتجمـد السـائل، فإنه يفقد كميـة من حرارتـه تسـاوي $Q = -m H_f$ وهي الطاقة التـي يفقدها ليتحول إلى الحالة الصلبة. وتشـير الإشـارة السـالبة إلـى أنّ الحرارة تنتقل من المادة إلى المحيط الخارجي. وبالطريقة نفسها، عندما يتكاثف بخار إلى سائل، فإنّه يفقـد كميـة مـن الحـرارة $Q = -m H_V$. ويبين **الجـدول 2–1** بعض قيم الحـرارة الكامنة للانصهار H_f، والحرارة الكامنة للتبخر H_V، لبعض المواد.

نشاط **من معلم لآخر**

غليان الماء في الفراغ

المـواد والأدوات مـاء دافـئ، قـارورة، ناقوس (إناء عـلى صورة جرس كبـير)، مضخة تفريغ مع مجفف.

الخطـوات امـلأ ثلث القـارورة بالمـاء الدافئ، وضعهـا في الناقوس الموصـول بمضخة التفريـغ، ثـم فرّغ الهواء. سـيرى الطلبة المـاء يغلي. ولو طلبـت إليهـم أن يتوقعوا مقدار درجة حرارة الماء لقال العديد منهم إن الماء سـاخن. دعهم يلمسـوا الماء ليجدوا أنه أبرد من السابق؛ فقد أزال الغليان بعض الماء وأزال معه بعض الحرارة أيضًا.

مثال صفي

سؤال سُـخّنت كتلة مقدارها 1.0 kg من الماء عند درجة حرارة الغرفة (25.0° C) إلى درجة الغليـان، فأخـذت في الغليـان حتـى انخفض حجمهـا إلى نصـف حجمهـا الابتدائي. مـا مقـدار الحـرارة بوحـدة الجـول التـي زوّد بها الموقد الماء؟

الجـواب الحـرارة ضـروريـة لرفـع درجـة حـرارة كتلة 1 kg من الماء في درجة 25° C إلى 100° C، كما أنها ضرورية أيضًا لتبخر 0.5 kg من الماء.

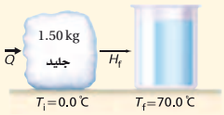
$$Q = mC\Delta T + \left(\frac{1}{2}\right)mH_V$$
$$= (1.0\ kg)(4180\ J/kg.\ ^\circ C)$$
$$(100.0^\circ C - 25.0^\circ C) + \left(\frac{1}{2}\right)(1.0\ kg)$$
$$(2.26\times10^6\ J/kg)$$
$$Q = 1.4\times10^6\ J$$

مثـال 3

الحـرارة افتـرض أنّك تخيـم في جبال مغطاة بالثلج، وتحتاج إلى صهر 1.50 kg مـن الجليد عند درجة الحرارة 0.0 °C وتسخينه إلى درجة حرارة 70.0 °C لصنع شراب ساخن، فاحسب مقدار الحرارة التي يتطلبها ذلك.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم انتقال الحرارة مع ازدياد درجة حرارة الماء.



المعلوم	المجهول
$m = 1.50\ kg$	$Q_{\text{صهر الجليد}} = ?$
$H_f = 3.34 \times 10^5\ J/kg$	$Q_{\text{تسخين الماء}} = ?$
$T_f = 70.0\ ^\circ C$ ، $T_i = 0.0\ ^\circ C$	$Q_{\text{الكلية}} = ?$
$C = 4180\ J/kg.\ ^\circ C$	

2 إيجاد الكميات المجهولة

احسب الحرارة اللازمة لصهر الجليد.

بالتعويض عن $m = 1.50\ kg$ ، $H_f = 3.34 \times 10^5\ J/kg$

$$Q_{\text{صهر الجليد}} = mH_f$$
$$= (1.50\ kg)(3.34 \times 10^5\ J/kg)$$
$$= 5.01 \times 10^5\ J$$
$$= 5.01 \times 10^2\ kJ$$

احسب تغير درجة الحرارة.

بالتعويض عن $T_f = 70.0\ ^\circ C$ ، $T_i = 0.0\ ^\circ C$

$$\Delta T = T_f - T_i$$
$$= 70.0\ ^\circ C - 0.0\ ^\circ C$$
$$= 70.0\ ^\circ C$$

احسب الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء.

بالتعويض عن $m = 1.50\ kg$ ، $\Delta T = 70.0\ ^\circ C$ ، $C = 4180\ J/kg.\ ^\circ C$

$$Q_{\text{تسخين الماء}} = mC\Delta T$$
$$= (1.50\ kg)(4180\ J/kg.^\circ C)(70.0\ ^\circ C)$$
$$= 4.39 \times 10^5\ J = 4.39 \times 10^2\ kJ$$

احسب كمية الحرارة الكلية اللازمة.

بالتعويض عن $Q_{\text{صهر الجليد}} = 5.01 \times 10^2\ kJ$ ، $Q_{\text{تسخين الماء}} = 4.39 \times 10^2\ kJ$

$$Q_{\text{الكلية}} = Q_{\text{صهر الجليد}} + Q_{\text{تسخين الماء}}$$
$$= 5.01 \times 10^2\ kJ + 4.39 \times 10^2\ kJ$$
$$= 9.40 \times 10^2\ kJ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الطاقة هي الجول.
- **هل تدل الإشارة على شيء؟** Q موجبة عندما تكون الحرارة مكتسبة.
- **هـل الجـواب منطقي؟** إنّ كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليـد أكبر من كمية الحرارة اللازمة لزيادة درجة حرارة الماء إلـى 70.0 °C؛ إذ يتطلـب التغلب على القوى التي تبقي الجزيئات في الحالة الصلبة، طاقة أكبر من تلك التي نحتاجها لرفع درجة حرارة الماء.

نشاط متقدم

درجـات حـرارة الانصهـار في المحاليل تتغـير درجتا حرارة الانصهـار والغليان للماء عنـد إضافة مذاب إليـه حتى يتكون محلول. فعلى سـبيل المثال، يُنثـر الملح على الأرصفة المتجمـدة لينصهـر الجليد. ويزيد مضاد التجمد الذي يضاف إلى نظام تبريد السـيارة من درجـة حرارة غليان الماء. اطلب إلى الطلبة الإجابة عن الأسـئلة التالية، وإطلاع الصف على ما يسـتنتجونه: كيف تتغير درجتا حرارة الانصهار والغليان مع تغير عدد الجسيمات الذائبـة في الماء؟ وهل جميع المواد الذائبة لها التأثير نفسـه في الانصهـار والغليان؟ وكيف يمكـن توضيـح هذه التغـيرات في درجة الحرارة بدلالـة ما تعلمه الطلبـة عن الانصهار والغليان؟ م 3 **منطقي-رياضي**

مسائل تدريبية

15. $3.75\times10^{4}\ J$

16. $502\ kJ$

17. $9.40\times10^{2}\ kJ$

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الآلات الحرارية والطاقة سيعتقد العديد من الطلبة أن الآلة الحرارية أداة تأخذ الطاقة وتحولها مباشرة إلى شغل. فقد يعتقدون على سبيل المثال أن محرك السيارة يحول الطاقة الكيميائية للبنزين كلها إلى شغل يحرك السيارة. إن المحرك يستخدم جزءًا فقط من الطاقة الكيميائية المتوافرة لإنتاج شغل مفيد. ويتخلص من الباقي بوصفه حرارة ضائعة. وتتطلب الآلة الحرارية أيضًا مستودعًا بدرجة حرارة أقل حيث تحول إليه الحرارة الضائعة. ولن يعمل محرك السيارة على كوكب تكون فيه درجة حرارة الغلاف الجوي له أعلى من درجة حرارة الاحتراق.

التفكير الناقد

الحرارة المتحررة بفعل التكثيف اسأل الطلبة عن سبب إصابة الجلد لحروق أشد عند تعرضه للبخار، مقارنة بالحروق الناتجة عن تعرضه للماء المغلي. قد تتعدى درجة حرارة البخار 100°C عند الضغط نفسه، في حين لا تتعدى درجة حرارة الماء السائل ذلك. ويتكاثف البخار الذي يلامس الجلد ويتحول إلى ماء عند 100°C، محررًا حرارة تبخره المرتفعة في تلك العملية. م2

مسائل تدريبية

15. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتحويل كتلة من الجليد مقدارها $1.00\times10^{2}\ g$، درجة حرارتها $-20.0\ ^{\circ}C$، إلى ماءٍ درجة حرارته $0.0\ ^{\circ}C$؟

16. إذا سُخِّنت عينة ماء كتلتها $2.00\times10^{2}\ g$، ودرجة حرارتها $60.0\ ^{\circ}C$، فأصبحت بخارًا درجة حرارته $140.0\ ^{\circ}C$، فاحسب كمية الحرارة الممتصة.

17. احسب كمية الحرارة اللازمة لتحويل $3.00\times10^{2}\ g$، من جليد درجة حرارته $-30.0\ ^{\circ}C$، إلى بخار ماء درجة حرارته $130.0\ ^{\circ}C$.

القانون الأول للديناميكا الحرارية The First Law of Thermodynamics

لقد اعتُبرت دراسة الحرارة، ودرجة الحرارة علمًا مستقلاً عن الذرات قبل فهم الارتباط بين الطاقة الحرارية، وحركة الذرات. والقانون الأول المنبثق من هذا العلم يعطي صيغة لماهية الطاقة الحرارية، وكيفية انتقالها. وكما تعرف، فإنك تستطيع تسخين مسمار بوضعه فوق لهب أو طرقه بمطرقة. أي أنك تستطيع زيادة الطاقة الحرارية للمسمار، إما بإضافة حرارة أو ببذل شغل عليه. ومن الجدير بالذكر أن المسمار أيضًا يبذل شغلاً على المطرقة، لذا فإن الشغل المبذول بفعل المسمار على المطرقة، يساوي سالب الشغل الذي تبذله المطرقة على المسمار. وينص **القانون الأول للديناميكا الحرارية** على أن التغير في الطاقة الحرارية ΔU لجسم ما، يساوي كمية الحرارة Q المضافة إلى الجسم مطروحًا منها الشغل W الذي يبذله الجسم. لاحظ أنّ الكميات كلّها Q ، ΔU، W مقيسة بوحدات الطاقة وهي الجول.

القانون الأول للديناميكا الحرارية $\Delta U = Q - W$

التغير في الطاقة الحرارية لجسم ما، يساوي كمية الحرارة المضافة إلى الجسم، مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم.

تتضمن الديناميكا الحرارية دراسة التغيرات في الخصائص الحرارية للمادة أيضًا. ويُعد القانون الأول للديناميكا الحرارية عادة صياغة أخرى لقانون حفظ الطاقة، والذي ينص على أن الطاقة لا تفنى، ولا تستحدث، وإنما تتغير من شكل إلى آخر.

ومن الأمثلة الأخرى على تغير كمية الطاقة الحرارية في نظام ما، المضخة الهوائية اليدوية المستخدمة في نفخ إطار الدراجة الهوائية؛ فعندما يقوم شخص بضغط المضخة، فإن الهواء، وأسطوانة المضخة يسخنان؛ حيث تتحول الطاقة الميكانيكية في المكبس المتحرك إلى طاقة حرارية للغاز. وبالمثل، فإن أشكالاً أخرى من الطاقة يمكن أن تتحول إلى طاقة حرارية ، ومنها الضوء والطاقة الكهربائية. فعلى سبيل المثال، تحول المحمصة الطاقة الكهربائية إلى حرارة عندما تحمص الخبز، وتدفئ الشمس الأرض بوساطة الضوء من بُعد أكثر من 150 مليون كيلومتر.

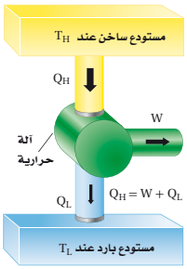
طرائق تدريس متنوعة

نشاط

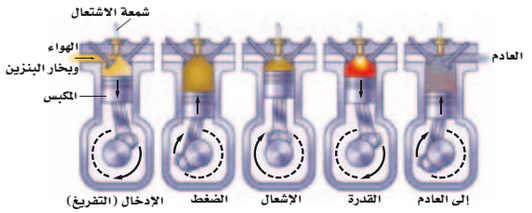
إعاقة بصرية ضع قطرات من زيت النعناع في صحن تبخير، وقطرات من زيت القرنفل في صحن آخر، ثم ضع الصحن الذي يحتوي على زيت النعناع على سخان كهربائي على أن يكون التسخين منخفضًا، وضع الصحن الذي يحتوي على زيت القرنفل في وعاء به جليد مجروش. وضع الصحنين على بعدين متساويين من طلبة الصف. سيستنشق الطلبة رائحة زيت النعناع أسرع وبصورة أقوى. اطلب إلى الطلبة تفسير ملاحظاتهم. لأن السخان الكهربائي يضيف حرارة بصورة ثابتة إلى زيت النعناع، فإن العديد من جزيئات زيت النعناع، يصبح لديها طاقة حركية كافية للانفلات والتحرر من قوى التجاذب الموجودة في السائل. م1 **حركي**

الآلات الحرارية إنّ الدفء الذي تشعر به عندما تفرك يديك إحداهما بالأخرى هو نتيجة تحوّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية، ويحدث التحول من الطاقة الميكانيكية إلى الطاقة الحرارية بسهولة ويسر. أما العملية العكسية، وهي تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، فتكون أكثر صعوبة. وتعد **الآلة الحرارية** أداة ذات قدرة على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بصورة مستمرة.

تتطلب الآلة الحرارية مصدرًا ذا درجة حرارة مرتفعة تُمتص منه الحرارة؛ ومستقبلاً ذا درجة حرارة منخفضة يمتص الحرارة ويسمى المصرف (المستودع البارد). كما يحتاج أيضًا إلى طريقة لتحويل الطاقة الحرارية إلى شغل. يوضح **الشكل 11–1** رسمًا تخطيطيًّا لآلة حرارية، وهو محرك احتراق داخلي، حيث يشتعل فيه بخار البنزين المخلوط بالهواء لإنتاج شعلة ذات درجة حرارة مرتفعة. وتتدفق الحرارة، Q_H، من اللهب إلى الهواء الموجود في الأسطوانة، ثم يتمدد الهواء ويدفع المكبس، محولاً بذلك الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية من خلال أربعة أشواط. وللحصول على طاقة ميكانيكية مستمرة، فإن المحرك يجب أن يعود إلى وضعه الابتدائي، حيث يطرد الهواء الحار ويحل محله هواء جديد، ويعود المكبس إلى أعلى الأسطوانة كما يبين **الشكل 12–1**.



الشكل 11–1 آلة حرارية تحول الحرارة عند درجة الحرارة المرتفعة إلى طاقة ميكانيكية وإلى حرارة ضائعة عند درجة حرارة منخفضة.



الشكل 12–1 تعمل الحرارة الناتجة بفعل احتراق البنزين على تمدد الغازات الناتجة، وبذل قوة وشغل على المكبس.

وتتكرر هذه الدورة عدة مرات كل دقيقة. وتتحول الطاقة الحرارية من احتراق البنزين إلى طاقة ميكانيكية، ولذا تتحرك السيارة.

لا تتحول جميع الطاقة الحرارية الناتجة عن الاشتعال في محرك السيارة إلى طاقة ميكانيكية، فعندما يشتغل المحرك تصبح الغازات الناتجة في العادم وأجزاء المحرك ساخنة، وينقل العادم الحرارة إلى الهواء الخارجي الملامس له، فترتفع درجة حرارة الهواء الخارجي، كما تنتقل الحرارة من المحرك إلى المشعاع، فيمرّ الهواء الخارجي خلال المشعاع، مما يرفع درجة حرارة الهواء أيضًا.

تسمى الطاقة المنتقلة إلى خارج محرك المركبة بالحرارة الضائعة (Q_L)، وهي الحرارة غير المتحولة إلى شغل. فعندما يعمل المحرك بصورة دائمة، فإن الطاقة الداخلية

استخدام الشكل 12–1 والشكل 13–1

تبين هذه الأشكال رسمًا تخطيطيًّا لتدفق الحرارة والشغل في المحركات والمبردات. لذا اعرض الشكلين معًا، واطلب إلى الطلبة المقارنة بينهما؛ إذ يتبين الاختلاف من خلال اتجاهات الأسهم الخاصة بكميات Q_L، Q_H، W، ثم اسأل: هل يمكن استخدام محرك حراري في إنتاج شغل (W) يؤدي إلى تشغيل المبرّد؟ وهل يمكن استخدام ذلك المبرّد بعدئذ للتزويد بالحرارة Q_H التي يتطلبها تشغيل آلة حرارية أخرى يمكنها أن تنتج المزيد من الشغل (W_2)؟ يمكن أن يتم ذلك ولكنه ليس نافعًا فبعض الطاقة النافعة تضيع في كل خطوة من هذه الخطوات بسبب الحرارة الضائعة بصورة أساسية في كل محرك ومبرّد. م2

تطوير المفهوم

الحرارة الضائعة اطلب إلى الطلبة ذكر أمثلة على الحرارة الضائعة في البيوت وحول المدن، وتأثير هذه الحرارة في البيئة القريبة من المدن؟ قد تتضمن الأمثلة الحرارة المنبعثة من المباني بوساطة مكيفات الهواء، والحرارة المنبعثة من محركات المركبات. وقد تسبب هذه الحرارة الضائعة ارتفاعًا محليًّا في درجات الحرارة، وخصوصًا في المناطق المتحضرة.

م2 منطقي-رياضي

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

تدفئة البيوت الصينيون هم أول من استخدم التدفئة المركزية في منازلهم. وبدلاً من بناء موقد النار داخل المنزل فإنهم يبنونه في الخارج؛ وعندما تُسخِّن النار الهواء الذي يدور بوساطة تيارات الحمل خلال الفراغات المجوفة تحت الأرضية يسخن بلاط الأرضية، فتدفأ الغرف بكفاءة. أما في أكواخ الإسكيمو فتكون العملية معكوسة؛ إذ يعملون حاجز ضغط طبيعيًّا لإبقاء الهواء الساخن في الداخل من خلال جعل مدخل الكوخ أخفض من داخل الكوخ؛ فلأن الهواء البارد أكثر كثافة فإنه يهبط إلى المكان الأخفض، وبذلك يمتلئ المدخل بالهواء البارد من الخارج أما الهواء الدافئ داخل الكوخ فيبقى محصورًا داخله لأنه أقل كثافة من الهواء البارد في المدخل.

تقوية

الآلات الحرارية والمبردات اطلب إلى الطلبة أن يعملوا في أزواج لإعداد خريطة مفاهيم تربط بين المفاهيم أو الكميات التالية: الآلة الحرارية، المبرد، الحرارة، الشغل، الكفاءة، درجة حرارة المستودع. وعليهم استخدام عبارات إيضاحية قصيرة لتوضيح الروابط على خريطة المفاهيم. م1 **بصري– مكاني**

للمحرك لا تتغير، أو $\Delta U = 0 = Q - W$. وكمية الحرارة التي تدخل المحرك هي $Q = Q_H - Q_L$. لذا يكون الشغل الذي يبذله المحرك هو $W = Q_H - Q_L$. وتولد جميع الآلات الحرارية طاقة حرارية ضائعة (مفقودة)، ولذا لا يوجد آلة مثالية تحول الطاقة كلها إلى شغل أو حركة نافعة.

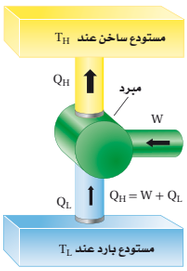
الكفاءة يتحدث المهندسون وبائعو السيارات عن كفاءة استهلاك الوقود في محركات المركبات، حيث يشيرون إلى كمية الحرارة الداخلة، Q_H، التي تتحول إلى شغل نافع W. ويعبر عن الكفاءة الفعلية للمحرك بالنسبة W/Q_H. ومن الممكن أن تساوي الكفاءة مئة في المئة نظريًّا إذا تحولت الحرارة الداخلة كلها إلى شغل بفعل المحرك. وذلك بسبب وجود حرارة مفقودة دائمًا، فلا تصل كفاءة المحركات إلى مئة في المئة.

تعمل بعض المحركات بالطاقة الشمسية، فتُجمّع الحرارة في المجمعات الشمسية عند درجة حرارة عالية، ثم تستخدم لتشغيل المحركات، حيث تنتقل الطاقة الشمسية في صورة أمواج كهرومغناطيسية تعمل على زيادة الطاقة الداخلية للمجمعات الشمسية، ثم تنتقل هذه الطاقة في صورة حرارة إلى المحرك. الذي يعمل على تحويلها إلى شغل نافع وحرارة مفقودة.

المبردات (الثلاجات) تتدفق الحرارة تلقائيًّا من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعلى الرغم من ذلك، فإنه يمكن انتزاع الطاقة الحرارية من الجسم الأبرد وإضافتها إلى الجسم الأسخن ببذل شغل معين. ويعد المبرِّد مثالًا على الآلة التي تحقّق هذا الانتقال باستخدام شغل ميكانيكي؛ حيث تعمل الطاقة الكهربائية على تشغيل محرك، فيبذل المحرك شغلاً على الغاز فيضغطه.

يعبر الغاز الذي ينقل الحرارة من داخل المبرّد (الثلاجة) بوساطة الضاغط إلى ملفات التكثيف الموجودة خارج المبرّد(خلف الثلاجة)، حيث يبرد متحولاً إلى سائل، وتنتقل الطاقة الحرارية المفقودة، بسبب إسالة الغاز إلى الهواء الموجود في الغرفة، ثم يعود السائل إلى داخل المبرد، فيتبخر بعد أن يمتص الطاقة الحرارية مما يحيط به، (أي من داخل المبرد)، ثم ينتقل بعد ذلك إلى الضاغط، وتتكرر هذه العملية، ويكون التغير الكلي في الطاقة الحرارية للغاز يساوي صفرًا. لذا، واستنادًا إلى القانون الأول للديناميكا الحرارية، فإن مجموع الطاقة المأخوذة من محتويات المبرد، والشغل المبذول بفعل المحرك يساوي الحرارة المنبعثة، كما يبين **الشكل 13–1**.

المضخات الحرارية إنّ المضخة الحرارية عبارة عن مبرد يعمل في اتجاهين، فتنتزع المضخة في الصيف الحرارة من المنزل، ولذا يبرد المنزل. أمّا في الشتاء فتنتزع الحرارة من الهواء البارد في الخارج وتنقلها إلى داخل المنزل لتدفئته. وفي كلتا الحالتين، يتطلب ذلك طاقة ميكانيكية، لنقل الحرارة من الجسم الأبرد إلى الجسم الأسخن.



الشكل 13–1 يمتص المبرد الحرارة Q_L من المستودع البارد ويبعث الحرارة Q_H إلى المستودع الساخن، ببذل شغل W على المبرد.

معلومة للمعلم — الخلفية النظرية للمحتوى

الشغل في الغازات كيف تبذل شغلاً على جسم؟ إذا أدت قوة F إلى إحداث تمدد في طول سلك بمقدار ΔL فإن كمية الشغل المبذولة على السلك هي $W_{\text{خارجي}} = F\Delta L$، وسيكون الشغل المبذول بوساطة السلك هو $W_{\text{سلك}} = -F\Delta L$. واستنادًا إلى القانون الأول في الديناميكا الحرارية فإن:

$$\Delta U_{\text{سلك}} = Q - W_{\text{سلك}} = Q - (-F\Delta L) = Q + F\Delta L$$

وسيتعلم الطلبة في الفصل القادم أن الضغط=القوة/ المساحة، هي الصيغة الصحيحة للاستخدام مع الغازات. فالشغل المبذول بفعل ضغط خارجي لضغط غاز هو $W_{\text{خارجي}} = -P\Delta V$، حيث تمثل ΔV التغير في حجم الغاز. وتكون الإشارة سالبة؛ لأن حجم الغاز يقل بزيادة الضغط الخارجي.

مسائل تدريبية

18. يمتص بالون غاز 75 J من الحرارة. فإذا تمدّد هذا البالون وبقي عند درجة الحرارة نفسها، فاحسب الشغل الذي بذله البالون في أثناء تمدده.

19. يثقب مثقب كهربائي فجوة صغيرة في قالب من الألومنيوم كتلته 0.40 kg، فيسخن الألومنيوم بمقدار 5.0 °C، احسب الشغل الذي بذله المثقب.

20. كم مرة يتعين عليك إسقاط كيس من الرصاص كتلته 0.50 kg من ارتفاع 1.5 m؛ لتسخين الرصاص بمقدار 1.0 °C؟

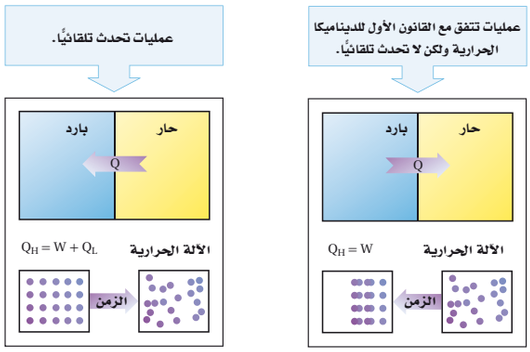
21. عندما تحرّك كوبًا من الشاي، تبذل شغلاً مقداره 0.05 J في كل مرة تحرك فيها الملعقة بصورة دائرية. كم مرة يجب أن تحرك الملعقة، لترفع درجة حرارة كوب شاي كتلته 0.15 kg بمقدار 2.0 °C؟ (بإهمال زجاج الكوب)

القانون الثاني للديناميكا الحرارية

The Second Law of Thermodynamics

هناك العديد من العمليات التي تتفق مع القانون الأول للديناميكا الحرارية، ولكن بعضها لم تشاهد وهي تحدث تلقائيًا. فعلى سبيل المثال، لا يحظر القانون الأول للديناميكا الحرارية تدفق الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم الساخن، ومع ذلك لم يحدث أن أصبحت الأجسام الساخنة أكثر سخونة عند وضعها ملامسة لأجسام باردة، وبالمثل، لم تصبح الأجسام الباردة أكثر برودة عند ملامستها لأجسام ساخنة، انظر **الشكل 14–1** .

الإنتروبي إذا حوّلت الآلات الحرارية الطاقة الحرارية بشكل كامل إلى طاقة ميكانيكية دون أيّ حرارة ضائعة (مفقودة) فإنّ القانون الأول للديناميكا الحرارية يكون قد تحقق.



الشكل 14–1 العديد من العمليات التي تحقق القانون الأول للديناميكا الحرارية لا تحدث تلقائيًا. في حين تحقق العمليات التلقائية كلا القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية.

مسائل تدريبية

18. 75 J

19. 1.8×10^{3} J

20. 9 مرات

21. 2.6×10^{4} مرة

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الإنتروبي في المجالات الأخرى لقد أصبح مفهوم الإنتروبي ـ بوصفه مقياسًا لفوضى النظام المحتوي على العديد من الجسيمات ـ مفيدًا في مجالات دراسية أخرى؛ حيث يستخدم علماء الكمبيوتر صيغًا رياضية تستخدم العشوائية في الوصول إلى حلول سريعة للمسائل المعقدة. وقد تتطلب هذه الصيغ زيادة الإنتروبي للنظام الرياضي أحيانًا. ويعد مفهوم الإنتروبي مفيدًا في وصف بعض أنواع الرموز (الشفرات) الرياضية، ومنها تلك التي يستخدمها عملاء التجسس، والشفرات الوراثية المخزنة في DNA. وقد استخدمت أيضًا الأفكار المرتبطة مع الإنتروبي في التنبؤ بسلوك الأسواق المالية.

المناقشة

سؤال إذا أردت زيادة الإنتروبي لوعاء ماء بمقدار ΔS فأيهما أكفأ زمنيًّا: استخدام لهب موقد ذي درجة حرارة منخفضة، أم شعلة بروبان ذات درجة حرارة مرتفعة؟

الجواب إن كمية الحرارة التي يجب إضافتها في أي من الحالتين هي $Q=T\Delta S$. وستكون الشعلة ذات درجة الحرارة الأقل هي الأكثر كفاءة في زيادة الإنتروبي؛ لأن المطلوب هو حرارة أقل عند درجة حرارة أقل. من جهة أخرى فإن إيصال الحرارة إلى الماء يكون أبطأ مع الشعلة ذات درجة الحرارة الأقل بسبب الاختلاف القليل في درجة الحرارة بين الشعلة والوعاء. لذا تكون الشعلة ذات درجة الحرارة المرتفعة هي الأكفأ زمنيًا.

م 2 منطقي–رياضي

إلا أنّ الحرارة الضائعة تتولد دائمًا، ولا تشاهد جزيئات الغاز الموزعة عشوائيًّا ترتب نفسها تلقائيًّا في أنماط معينة. وقد درس المهندس الفرنسي سادي كارنوت قدرة الآلات على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية في القرن التاسع عشر، حيث قدم إثباتًا منطقيًّا على أن الآلات كلها – حتى المثالية منها – ستولد بعض الحرارة الضائعة (المفقودة). وتوصف نتيجة كارنوت على نحو أفضل بدلالة كمية تُسمّى **الإنتروبي**، وهي عبارة عن قياس لعدم الانتظام (الفوضى) في النظام.

عندما تسقط كرة بيسبول بفعل الجاذبية الأرضية، يكون لها طاقة وضع، وطاقة حركية تؤديان إلى إنجاز شغل. إلا أنه عندما تسقط الكرة خلال الهواء تصطدم بالعديد من جزيئات الهواء التي تمتص بعضًا من طاقة الكرة. وهذا يؤدي إلى تحرُّك جزيئات الهواء في اتجاهات، وسرعات عشوائية، حيث تؤدي الطاقة المكتسبة من الكرة إلى زيادة الفوضى بين الجزيئات. فكلما كان مدى سرعة الجزيئات أكبر كان عدم الانتظام (الفوضى) أكبر، والذي يزيد بدوره الإنتروبي. ومن المستبعد جدًّا أن تعود الجزيئات التي اضطربت، وتشتتت في جميع الاتجاهات إلى وضعها السابق معاً، مانحةً بذلك طاقاتها للكرة ومسببة ارتفاعها عن سطح الأرض.

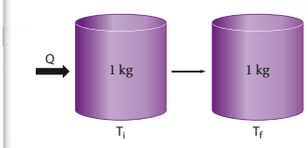
إنّ الإنتروبي محتوى داخل الجسم، مثله في ذلك مثل الطاقة الحرارية، وعند إضافة حرارة إلى الجسم، فإنّ الإنتروبي يزداد، وإذا انتزعت حرارة من الجسم فإنّ الإنتروبي ينقص، أما إذا بذل الجسم شغلاً دون أن تتغير درجة الحرارة فإنّ الإنتروبي لا يتغير ما دام الاحتكاك مهملاً. ويعبر عن التغير في الإنتروبي ΔS بالمعادلة الآتية (حيث تكون وحدة الإنتروبي هي J/K وتكون درجات الحرارة مقيسة بالكلفن):

التغير في الإنتروبي $\Delta S = \frac{Q}{T}$

التغير في الإنتروبي لجسم ما يساوي مقدار الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارة الجسم بالكلفن.

مسألة تحدٍّ

للإنتروبي بعض الخصائص المدهشة. قارن بين الحالات الآتية، ووضح كيف، ولماذا تحدث هذه التغيرات للإنتروبي.



1. تسخين 1 kg من الماء من 273 K إلى 274 K.
2. تسخين 1 kg من الماء من 353 K إلى 354 K.
3. صهر 1 kg من الجليد بشكل كامل عند 273 K.
4. تسخين 1 kg من الرصاص من 273 K إلى 274 K.

مسألة تحدٍّ

1. $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{(mC\Delta T)}{T}$
$= (1.0\,kg)(4180\,J/kg.K)(274\,K-273\,K)/(273\,K)=15\,J/K$

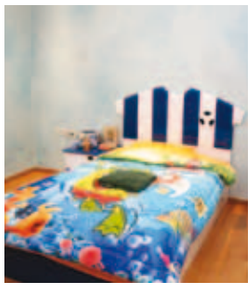
2. $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{(mC\Delta T)}{T}$
$= (1.0\,kg)(4180\,J/kg.K)\,(354\,K-353\,K)/(\,353\,K) = 12\,J/K$

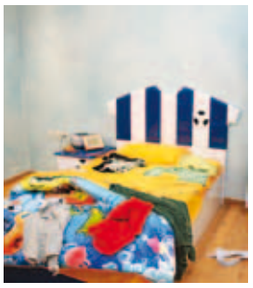
3. $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mH_f}{T}$
$= \frac{(1.0\,kg)(3.34\times10^5\,J/kg)}{(273\,K)} = 1.2\times10^3\,J/K$

4. $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{(mC\Delta T)}{T}$
$=(1.0\,kg)(130\,J/kg.K)(274\,K-273\,K)/(273\,K) = 0.48\,J/K$

ينص **القانون الثاني للديناميكا الحرارية** على أن العمليات الطبيعية تجري في اتجاه المحافظة على الإنتروبي الكلي للكون أو زيادته. أيْ أن الأشياء كلّها ستصبح أكثر عشوائية، وأقل انتظامًا ما لم يُتّخذ إجراء معين يحافظ على انتظامها وترتيبها. ويمكن التفكير في زيادة الإنتروبي، وفي القانون الثاني للديناميكا الحرارية على أنّهما عبارات تصف احتمال وقوع الأحداث. ويبين **الشكل 15–1** زيادة الإنتروبي؛ حيث كانت جزيئات صبغة الطعام منفصلة عن الماء في بداية الأمر، ثم أصبحت مختلطة بجزيئات الماء بعد فترة زمنية. من جهة أخرى، يوضح **الشكل 16–1** مثالاً على قانون الديناميكا الحرارية الثاني، الذي قد يكون مألوفًا للعديد من الطلاب.

الشكل 15–1 يُعد الاختلاط التلقائي لصبغة الطعام بالماء مثالاً على القانون الثاني للديناميكا الحرارية.





الشكل 16–1 يصل الإنتروبي تلقائيًا إلى قيمة كبيرة إذا لم يُبذل شغل على النظام.

يتوقع من خلال القانون الثاني للديناميكا الحرارية أن الحرارة تنتقل تلقائيًّا من الجسم الساخن إلى الجسم البارد فقط. افترض وجود قضيب حديدي ساخن وكأس ماء بارد، فسيكون متوسط سرعة حركة جزيئات، الحديد كبيرًا جدًّا، في حين أن متوسط سرعة حركة جزيئات الماء أقل منه في الحديد. وعند وضع القضيب في الماء والوصول إلى حالة الاتزان الحراري، فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في الحديد والماء تصبح متماثلة. وفي هذه الحالة فإن عددًا كبيرًا من الجزيئات، أصبحت حركتها العشوائية أكبر مما كانت عليه في البداية، وهذه الحالة النهائية تكون أقل ترتيبًا من الحالة الابتدائية. ولا تبقى الجزيئات السريعة مقتصرة على الحديد فحسب، كما لم تعد الجزيئات الأبطأ مقتصرة على الماء فقط؛ إذ إن السرعات جميعها موزعة بانتظام. ويكون الإنتروبي للحالة النهائية أكبر منه للحالة الابتدائية.

مخالفات للقانون الثاني إننا نعتبر العديد من الأحداث اليومية التي تحدث تلقائيًّا، أو طبيعيًّا، في اتجاه واحد من الأمور البديهية؛ وسوف نندهش إذا وقعت الأحداث نفسها بشكل معكوس تلقائيًّا. فمثلاً، لن تندهش عندما تُسخِّن ملعقة معدنية من أحد طرفيها،

نشاط

الإنتروبي والفوضى يعبر الإنتروبي عادة عن كمية الفوضى في النظام. وتمثل العلاقة بين الإنتروبي والشغل من خلال ربط الإنتروبي بكمية الشغل التي يتطلبها إعادة ترتيب النظام الفوضوي.

أعط كل مجموعة من الطلبة حزمة من أوراق اللعب، وعلى كل مجموعة أن ترتب أوراق اللعب حسب القيمة والشكل أسرع ما يمكن. ثم اطلب إلى طالب واحد من كل مجموعة أن يأخذ مجموعة مكونة من 13 ورقة وخلطها عشوائيًّا، ثم يرتبها أسرع ما يمكن، وقياس الزمن الذي يتطلبه ذلك. وتكرر العملية مع مجموعتين من الأوراق (26 ورقة لعب)، ثم مع ثلاث مجموعات، وأخيرًا تكرر مع أربع مجموعات. وينبغي أن يكون الزمن والشغل اللذان يتطلبهما ترتيب أربع مجموعات من أوراق اللعب أكبر كثيرًا من أربع أضعاف الزمن والشغل اللذين يتطلبهما ترتيب مجموعة واحدة من الأوراق؛ إذ يزداد الإنتروبي للنظام الفوضوي أُسِّيًّا مع عدد الجسيمات الموجودة داخل النظام. م2 **جماعي مع الأقران**

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

المجمعات الشمسية لقد نوقش موضوع جمع الطاقة الشمسية لإنتاج القدرة الكهربائية في مقدمة هذا الفصل. لذا اطلب إلى الطلبة تصميم مجمعات شمسية بسيطة وبناءها باستخدام مواد متوافرة حول المنزل، ومنها الورق المقوّى، وورق الألومنيوم، والأكواب البلاستيكية، والشريط اللاصق. إن الهدف هو عكس ضوء الشمس إلى نقطة تجمُّع تحتوي على دورق ماء صغير. ويمكن حساب كمية الطاقة المجمعة من خلال قياس الزيادة في درجة حرارة الماء. وعلى الطلبة تقديم تصاميمهم، مبينين سبب اختيار ذلك التصميم، وقائمة بأدوات الجمع، وقياسات أداء الأدوات.

تجربة إضافية

درجة الحرارة والمزج

الهدف تبين أن الجسيمات تتحرك أسرع عند درجات الحرارة المرتفعة.

المواد والأدوات دورقان سعة كل منهما 250 mL (أحدهما مملوء بالماء الساخن، والآخر مملوء بالماء البارد جدًّا)، قطارة، ملوّنات طعام.

الخطوات أضف بحذر قطرة واحدة من ملون الطعام في كل دورق. ولا تهزّ الدورق أو تلمسه، ثم راقب مدى سرعة انتشار اللون في كل دورق.

التقويم أي دورق ينتشر فيه اللون أسرع؟ ولماذا؟ ينتشر اللون أسرع في الماء الساخن؛ لأن الجسيمات تتحرك فيه أسرع (طاقة حركية أكبر) من الجسيمات الموجودة في الماء البارد.

فتصبح ساخنة بأكملها بانتظام. ولكن تخيل ردة فعلك، إذا كانت لديك ملعقة مستقرة على طاولة، وفجأة أصبح أحد طرفيها ساخنًا ومحمرًا، والطرف الآخر متجمدًا وباردًا! وإذا غُصْت في بركة سباحة فسوف تتوقع بديهيًّا أنك ستدفع جزيئات الماء بعيدًا عند دخولك إلى الماء، ولكنك ستندهش إذا عملت الجزيئات كلها على قذفك تلقائيًّا إلى منصة الغطس. لن يخالف أي من هذه العمليات الافتراضية المعكوسة القانون الأول للديناميكا الحرارية. وتعد ببساطة أمثلة على الأحداث التي لا حصر لها التي لا تحدث؛ لأن عملياتها تخالف القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

يقدم القانون الثاني للديناميكا الحرارية وزيادة الإنتروبي معنى جديدًا لما يسمّى أزمة الطاقة. وتشير أزمة الطاقة إلى المشاكل الناجمة عن الاستخدام المستمرّ للمصادر المحدودة من الوقود الأحفوري، مثل الغاز الطبيعي، والنفط. فأنت عندما تستخدم مصدرًا مثل الغاز الطبيعي لتدفئة منزلك، فإنك لا تستهلك الطاقة التي في الغاز، وإنما تحول الطاقة الكيميائية الكامنة في جزيئات الغاز إلى طاقة حرارية في اللهب، ثم تنتقل الطاقة الحرارية التي في اللهب إلى طاقة حرارية في الهواء داخل المنزل، ولا تفنى الطاقة حتى لو تسرب هذا الهواء الدافئ إلى الخارج؛ فالطاقة لم تستهلك. أما الإنتروبي فقد ازداد.

إنّ التركيب الكيميائي للغاز الطبيعي منظم جدًّا، وكما تعلمت، عندما تصبح مادة أكثر سخونة، فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيئات داخل المادة يزداد، أمّا الحركة العشوائية للهواء الدافئ فتصبح غير منتظمة. ورغم أنه من الممكن رياضيًّا للترتيب الكيميائي الأصلي أن يُعاد تشكيله، إلا أن احتمال حدوث ذلك بالتأكيد معدومة. ولهذا السبب، يُستخدم الإنتروبي غالبًا بوصفة مقياسًا لعدم توافر طاقة مفيدة. فالطاقة التي في الهواء الدافئ في المنزل غير متوافرة لتنجز شغلاً ميكانيكيًّا أو لتنقل الحرارة إلى أجسام أخرى، كما هو الحال بالنسبة لجزيئات الغاز الأصلية. وإن نقص الطاقة القابلة للاستخدام هو فعليًّا فائض في الإنتروبي.

1-2 مراجعة

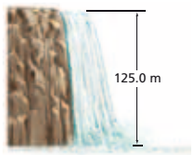
22. **الحرارة الكامنة للتبخر** يرسل النظام القديم للتدفئة بخارًا داخل الأنابيب في كل غرفة من المنزل، ويتكاثف هذا البخار في داخل المشعاع ليصبح ماء. حلّل هذه العملية، واشرح كيف تعمل على تدفئة الغرفة؟

23. **الحرارة الكامنة للتبخر** ما مقدار الطاقة اللازمة لتسخين 1.0 kg من الزئبق عند درجة حرارة 10.0°C إلى درجة الغليان وتبخره كاملاً؟ علمًا بأن الحرارة النوعية للزئبق هي 140 J/kg·°C، والحرارة الكامنة لتبخره هي 3.06×10^5 J/kg ، ودرجة غليان الزئبق هي 357 °C.

24. **الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية** يستخدم رجل مطرقة كتلتها 320 kg تتحرك بسرعة 5.0 m/s لتحطيم قالب رصاص كتلته 3.0 kg. وعندما قاس درجة حرارة القالب وجد أنها زادت 5.0°C. فسّر ذلك.

25. **الإنتروبي** لماذا ينتج عن تدفئة المنزل بوساطة الغاز الطبيعي، زيادة في عدم الإنتظام (الفوضى)؟

26. **الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية** تتدفق مياه شلال يرتفع 125.0 m كما هو موضح في الشكل 17–1. إذا تحولت كل طاقة وضع الماء إلى طاقة حرارية؛ فاحسب الفرق في درجة حرارة الماء بين قمة الشلال وقاعه.



الشكل 17–1

27. **التفكير الناقد** إذا كان لديك أربع مجموعات من بطاقات فهرسة، لكل مجموعة لون محدّد. وتتكون كل مجموعة من 20 ورقة مرقمة، فإذا خلطت بطاقات هذه المجموعات معًا عدة مرات، فهل من المحتمل أن تعود البطاقات إلى ترتيبها الأصلي؟ وضح ذلك. وما القانون الفيزيائي الذي ينطبق عليه هذا المثال؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمراجعة هذا الفصل ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneduction.com

1-2 مراجعة

22. يحرر البخار المتكاثف حرارة التبخر إلى داخل الغرفة.

23. 3.5×10^5 J

24. يمتص قالب الرصاص جزءًا من طاقة المطرقة الحركية. إن مقدار طاقة المطرقة يساوي 4.0 kJ، والتغير في طاقة القالب الحرارية يساوي 2.0 kJ، أي أن نصف طاقة المطرقة انتقلت إلى قالب الرصاص.

25. تنبعث من الغاز حرارة عند درجة إحتراقه، فتتفكك جزيئات الغاز وتحترق بوجود الأكسجين، فتنتشر الحرارة بعدة طرق ولا تستطيع أن تعود لحالتها الأصلية.

26. 0.293° C

27. لا. هذا مثال على القانون الثاني للديناميكا الحرارية والذي تزيد فيه الفوضى.

3. التقويم

التحقق من الفهم

الحرارة، والشغل، والإنتروبي اسأل الطلبة: ما الفرق بين الحرارة والشغل؟ وأيهما يتضمن الإنتروبي؟ واطلب إليهم رسم أسهم تبين كيف يزداد الإنتروبي في أثناء تشغيل آلة حرارية؟ الحرارة تدفق تلقائي للطاقة من جسم أسخن إلى جسم أبرد. وتؤدي زيادة حرارة الجسم إلى زيادة الإنتروبي. لكن يمكن بذل شغل على جسم دون زيادة الإنتروبي له. ويتناقص الإنتروبي للمستودع الساخن في الآلة الحرارية، في حين يزداد الإنتروبي للمستودع البارد. وينبغي أن يبقى الإنتروبي ثابتًا للآلة الحرارية حتى تعمل باستمرار. م 2

التوسع

الإنتروبي والتفكير اطلب إلى الطلبة مناقشة ما يلي: ينظم الحاسوب المعلومات خلال إجراء الحسابات. لذا يتناقص الإنتروبي للحاسوب. ناقش ما إذا كانت العمليات في الحاسوب تعارض القانون الثاني للديناميكا الحرارية. يمكن النظر إلى الحاسوب باعتباره نظامًا مغلقًا يزداد فيه الترتيب بفعل الشغل المبذول على النظام. وفي أثناء ذلك تنبعث منه حرارة، مما يؤدي إلى زيادة الإنتروبي لسائر المحيط. لذا يزداد الإنتروبي للكون دائمًا، وهذا يتماشى مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية. م 3

الزمن المقترح حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية تنظيم المعلومات (التلخيص، التوضيح)، والمهارات التجريبية العملية (القياس باستخدام النظام العالمي للوحدات SI، ووضع الفرضيات)، والحساب.

احتياطات السلامة استخدم الأدوات الزجاجية المخصصة للاستخدام مع مصادر الحرارة المباشرة. وتأكد من وجود ماء كافٍ في الدورق، لكي لا ينكسر عند تسخينه. وكن حذرًا عند استخدام السخان الكهربائي؛ إذ يجب أن يكون السلك ملفوفًا بأمان خلف السخان بحيث لا ينسحب ولا يلامس سطحه، واستخدم فقط مقاييس الحرارة الكحولية.

المواد البديلة استخدم حاسوبًا محمولا ومجسات لقياس درجة الحرارة تسهيلاً لتسجيل التدفق المستمر من البيانات.

استراتيجيات التدريس

- **من المهم تقريب القياسات إلى أقرب 0.1° C، فإذا كان التغير في درجة الحرارة قليلاً (وخصوصًا خلال التبريد) فإنه يكون من الصعب إيجاد نمط ما إذا كانت القياسات مقربة إلى أقرب درجة فقط.**
- **ستتنوع منحنيات التبريد الخاصة بالطلبة إذا تغيرت العوامل مثل مساحة سطح الماء (حجم الدورق الزجاجي).**

عينة بيانات

كتلة الماء: 151.2g ، درجة حرارة الهواء الابتدائية: 21.4° C ، درجة حرارة الهواء النهائية: 21.8 ° C ، التغير في درجة حرارة الهواء : 0.4 ° C

الزمن (دقيقة)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد
0	22.5	–
1	25.7	تسخين
2	32.4	تسخين
3	40.8	تسخين
4	48.9	تسخين
5	58.3	تسخين

الزمن (دقيقة)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد
6	59.2	تبريد
7	57.5	تبريد
8	56.3	تبريد
9	55	تبريد
10	53.8	تبريد
11	52.9	تبريد

الزمن (دقيقة)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد
12	52	تبريد
13	51.1	تبريد
14	50.3	تبريد
15	49.2	تبريد

مختبر الفيزياء

التسخين والتبريد

عند وضع دورق ماء على صفيحة تسخين، فإنّ الحرارة تنتقل في البداية إلى الدورق، ثم إلى الماء في قاع الدورق بالتوصيل، ثم ينقل الماء الحرارة من القاع إلى أعلى، من خلال حركة الماء الساخن إلى القمة، بوساطة الحمل الحراري. وعند إزالة أو فصل مصدر الحرارة، يشع الماء طاقة حرارية حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة. وتعتمد السرعة التي يسخن بها الماء على كمية الحرارة المكتسبة، وكتلة الماء، والسعة الحرارية النوعية له.

سؤال التجربة

كيف يؤثر تزويد الماء بالطاقة الحرارية بمعدل ثابت في درجة حرارته؟

الأهداف

- **تقيس** درجة الحرارة، والكتلة بالوحدات الدولية.
- **تنشئ الرسوم البيانية وتستخدمها** للمساعدة على وصف تغير درجة حرارة الماء عند تسخينه وتبريده.
- **تفسر** أوجه التشابه، والاختلاف بين هذين التغيرين.

احتياطات السلامة

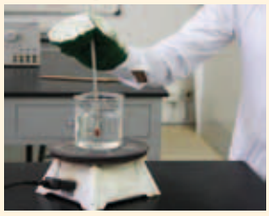
- **احذر عند التعامل مع صفيحة السخان الكهربائي** الحارة.

المواد والأدوات

سخان كهربائي (أو لهب بنسن)
دورق زجاجي حراري سعته 250 ml
مقياسا درجة حرارة (غير زئبقيين)
ساعة وقف

الخطوات

1. شغل السخان الكهربائي على أعلى درجة حرارة ممكنة، أو كما يرشدك المعلم، وانتظر عدة دقائق حتى يسخن.
2. قس كتلة الدورق وهو فارغ.
3. املأ الدورق بمقدار 150 ml من الماء، ثم قس كتلة الدورق والماء.
4. احسب كتلة الماء في الدورق وسجلها.
5. اعمل جدولاً للبيانات.
6. سجل درجة الحرارة الابتدائية للماء والهواء في الغرفة. على ألاّ يلامس قاع مقياس الحرارة قاع الدورق أو جوانبه، أو الطاولة أو اليدين.
7. ضع الدورق على صفيحة السخان الكهربائي، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة 5 دقائق.
8. ارفع الدورق عن الصفيحة بحذر، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة عشر دقائق.
9. سجل درجة حرارة الهواء في نهاية الفترة(10 دقائق).
10. افصل قابس السخان الكهربائي.
11. اترك الأدوات عند الانتهاء حتى تبرد، وتخلص من الماء وفق إرشادات المعلم.



جدول البيانات

كتلة الماء	
درجة حرارة الهواء الابتدائية	
درجة حرارة الهواء النهائية	
التغير في درجة حرارة الهواء	

الزمن (دقائق)	درجة الحرارة (°C)	تسخين أو تبريد

التحليل

1. احسب التغير في درجة حرارة الهواء لتحديد، ما إذا كانت درجة حرارة الهواء متغيرًا خارجيًّا.
2. مثّل بيانيًّا العلاقة بين درجة الحرارة (المحور الرأسي) والزمن (المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لرسم المنحنى إذا أمكن ذلك.
3. **احسب** التغير في درجة حرارة الماء في حالة التسخين.
4. **احسب** الانخفاض في درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة.
5. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لارتفاع درجة الحرارة، من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على زمن تسخين الماء.
6. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لانخفاض درجة الحرارة، من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على الزمن من لحظة إبعاد مصدر الحرارة.

الاستنتاج والتطبيق

1. **لخص** ما التغير الذي يطرأ على درجة حرارة الماء عند وضع مصدر الحرارة؟
2. **لخص** ما التغير الذي يطرأ على درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة مباشرة؟
3. ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد الدقائق العشر التالية؟ وهل تستمر في الانخفاض إلى الأبد؟
4. أيهما بدأ أسرع: تسخين الماء أم تبريده؟ ولماذا تعتقد ذلك؟ مساعده: تفحص قيم الميل التي حسبتها.
5. **كوّن فرضية** أين ذهبت الطاقة الحرارية للماء عندما بدأ الماء يبرد؟ ادعم فرضيتك.

التوسع في البحث

1. هل يؤدي وضع مقياس الحرارة في أعلى الماء داخل الدورق إلى إعطاء قراءة مختلفة، عما إذا وضع في قاع الدورق؟ فسّر ذلك.
2. كوّن فرضية لاستنتاج التغيرات في درجة الحرارة، إذا كان لديك الكميات الآتية من الماء في الدورق: 50 ml ، 250 ml.
3. افترض أنك عزلت الدورق المستخدم، فكيف تتأثر قابلية الدورق للتسخين أو التبريد؟

الفيزياء في الحياة

1. افترض أنك استخدمت زيتًا نباتيًّا بدلاً من الماء في الدورق. كوّن فرضية حول التغير في درجة الحرارة، إذا اتبعت الخطوات نفسها ونفذت التجربة.
2. إذا أخذت كمية حساء عند درجة حرارة الغرفة، وسخنتها في فرن ميكروويف مدة 3 دقائق، فهل يعود الحساء إلى درجة حرارة الغرفة في 3 دقائق؟ فسّر ذلك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول الطاقة الحرارية ارجع إلى الموقع الالكتروني www.obeikaneducation.com

35

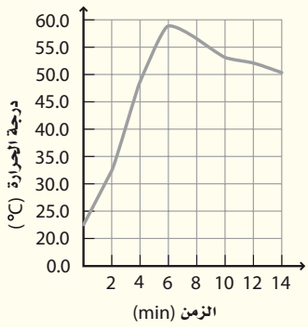
الفيزياء في الحياة

1. يسخن الزيت ويبرد بسرعة أكبر من الماء عمومًا. إن السعة الحرارية النوعية للزيت النباتي تساوي 2000 J /kg.K تقريبًا مقارنة بالسعة الحرارية النوعية للماء التي تساوي 4180 J /kg.K.
2. لا؛ لأنه يتطلب زمنًا أطول حتى يبرد الجسم بعد أن يكون قد تم تسخينه بوساطة مصدر خارجي.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اسأل الطلبة كيف تتغير درجة حرارة كتلة معينة من سائل ما في حال وجود (وغياب) مصدر حرارة. قد يرغب الطلبة في دراسة علاقة الزمن/ درجة الحرارة لكتل مختلفة من الماء، وسوائل مختلفة، وأزمان مختلفة، أو مستويات مختلفة من مصدر الحرارة. وقد يتمكن الطلبة من استخدام أمثلة الطهي المنزلي بوصفها جزءًا من الدراسة. فعلى سبيل المثال، هل يساعد تقطيع 400 g من البطاطا قبل طهيها، أو هل تنصهر خمسة مكعبات من الجليد حجم الواحد منها 25 mL أسرع من مكعب جليد واحد حجمه 125 mL؟

التحليل

1. 0.4° C، أو أكثر إذا كانت غرفة الصف كبيرة والسخانات الكهربائية أكثر.
2. 

3. 35.8 °C
4. 9.1 °C
5. 7.1 °C /min
6. 0.91 ° C /min

الاستنتاج والتطبيق

1. يسخن الماء بعد فترة زمنية أولية بمعدل ثابت تقريبًا.
2. تتناقص بمعدل ثابت تقريبًا.
3. سيستمر انخفاض درجة حرارة الماء حتى يصل إلى اتزان حراري مع الغرفة.
4. يسخن الماء بسرعة أكبر من سرعة تبريده، كما يدل الميل الشديد الانحدار في بداية الرسم البياني. وتكون عملية التسخين أسرع لأن الحرارة أضيفت بفعل مصدر خارجي.
5. لقد تسربت الطاقة الحرارية إلى الهواء؛ إذ لا يوجد عازل لإبقائها في الدورق، ويدل على ذلك زيادة درجة حرارة الهواء.

التوسع في البحث

1. ذلك ممكن؛ لأن الماء عند القاع أقرب إلى مصدر الحرارة.
2. يكون تغير درجة الحرارة باستخدام 50 mL أكثر لأنه سيكون هناك ماء أقل ليسخن. وباستخدام 250 mL ستكون تغيرات درجة الحرارة أقل لذا ستكون ملاحظتها أكثر صعوبة.
3. سيسخن وسيبرد ببطء أكثر.

الهدف

سيتعلم الطلبة مبادئ الديناميكا الحرارية من خلال التطبيقات باستخدام المضخات الحرارية.

الخلفيّة النظرية

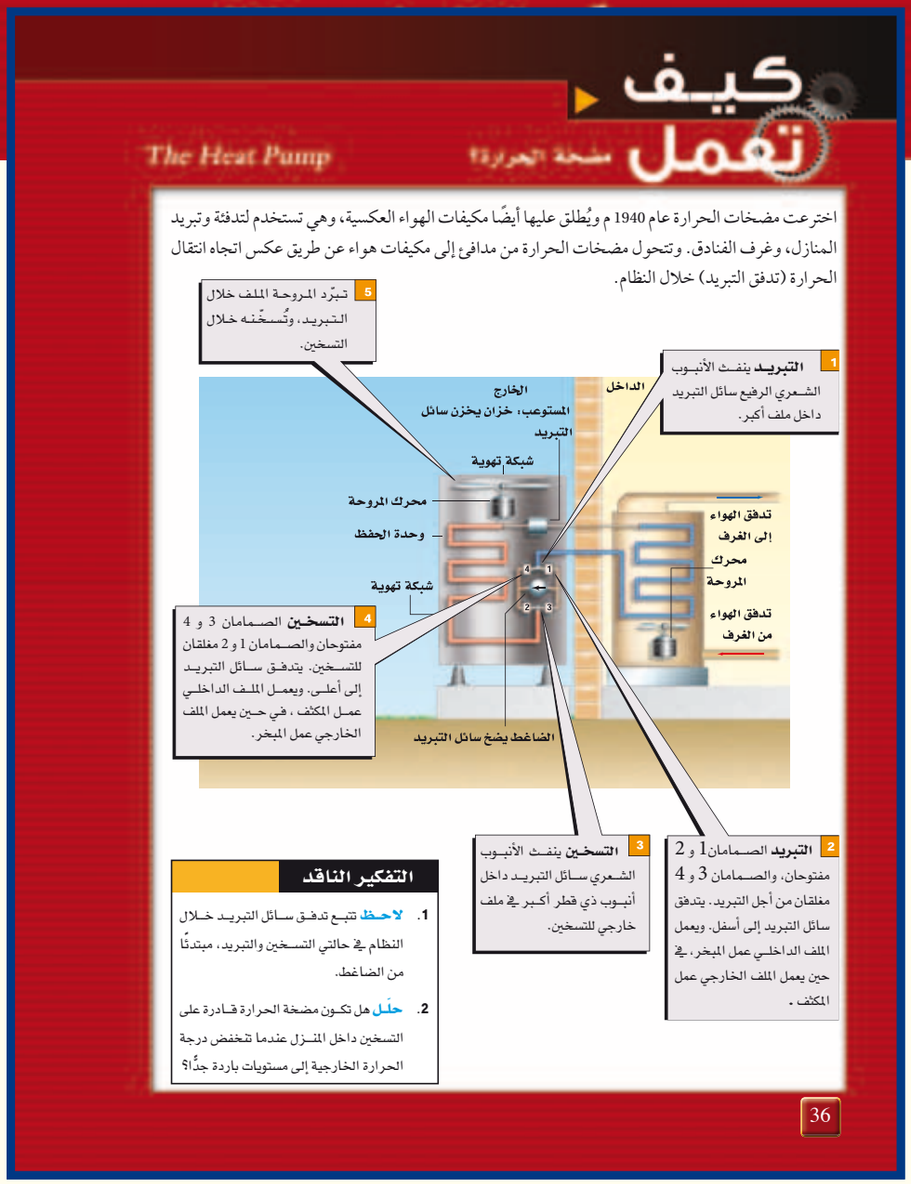
إن المضخات الحرارية في الأساس وحدات صغيرة تُركّب على النوافذ، وتُعرف بمكيفات الهواء العكسية. وما زالت تُستخدم في تدفئة العديد من غرف المساكن وتبريدها. فإذا كان مكيف الهواء المستخدم في غرفة مزودًا بآلة تحكّم في الهواء الساخن والبارد، فإنه من المحتمل أن تكون تلك الآلة مضخة حرارية. ويكون للمضخات الحرارية المستخدمة في تدفئة المنازل الكبيرة وتبريدها ضواغط كبيرة جدًّا، ومبخرات، ومكثفات، لذلك يكون المكثف في وحدة تكييف الهواء المركزية في الخارج دائمًا، حيث يوضع في صندوق مع الضاغط ومروحة كبيرة.

التعليم البصري

إذا كان الطقس دافئًا فأخرج طلبة الصف ليتحققوا من وحدات متعددة من مكيفات الهواء، وليشاهدوا كيف تدفع هذه الوحدات الهواء خلال مكثفاتها، والذي يخرج بدرجة حرارة أكبر من درجة حرارة الهواء الخارجي. أما إذا كان الطقس باردًا فاطلب إلى الطلبة مناقشة وجود مكيف هواء يُثبّت على النافذة في يوم حار جدًّا؛ إذ عليهم أن يشيروا إلى أن الهواء الخارج من المكثف حرارته أعلى من حرارة الجو.

التوسع

اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في كيفية التدفئة والتبريد في الطائرة. علمًا أن متوسط درجة الحرارة خارج الطائرة 57 °C– تقريبًا.



التفكير الناقد

1. إن تدفق سائل المبرد في هذا الرسم التخطيطي عبر نظام المضخة الحرارية عندما يستخدم في التسخين يكون عمومًا في اتجاه دوران عقارب الساعة، ويكون التدفق عندما يستخدم المبرد في التبريد في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة.
2. إن الحرارة المزودة بوساطة المضخة الحرارية، تُنتزع من الهواء الموجود خارج المنزل. ولا تستطيع المضخة الحرارية غالبًا في درجات الحرارة الباردة جدًّا، مواكبة متطلبات سكان المنزل مع وجود فقد في الطاقة الحرارية من المنزل إلى المحيط الخارجي. لذا يعمل موقد مساعد أحيانًا ليكمل إنتاج الحرارة من المضخة الحرارية في الطقس البارد جدًّا.

المفاهيم الرئيسة

يمكن أن يستخدم الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

الفصل 1
دليل الدراسة

1–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Temperature and Thermal Enenrgy

المفردات

- التوصيل الحراري
- الاتزان الحراري
- الحرارة
- الحمل الحراري
- الإشعاع الحراري
- السعة الحرارية النوعية

المفاهيم الرئيسة

- تتناسب درجة حرارة الغاز طرديًّا مع متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته.
- الطاقة الحرارية هي مقياس للحركة الداخلية لجزيئات الجسم.
- يصل مقياس الحرارة إلى الاتزان الحراري مع الجسم الملامس له، ثم تشير خاصية للمقياس – تعتمد على الحرارة – إلى درجة الحرارة.
- يستخدم مقياسا درجة الحرارة السلسيوس وكلفن في البحث العلمي. وكل تغير بمقدار 1 K يساوي تغيرًا بمقدار 1 °C.
- لا يمكن انتزاع أيّ طاقة حرارية من المادة عندما تكون درجة حرارتها صفرًا مطلقًا.
- الحرارة هي الطاقة المنتقلة بسبب اختلاف درجات الحرارة.

$$Q = mC\Delta T = mC\,(T_f - T_i)$$

- السعة الحرارية النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg من المادة بمقدار 1 K.
- يمكن أن تتدفق الحرارة في النظام المغلق والمعزول، وينتج عن ذلك تغير الطاقة الحرارية لأجزاء النظام، ولكن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة.

$$E_A + E_B = \text{ثابت}$$

2–1 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية Changes of State and The Laws of Thermodynamics

المفردات

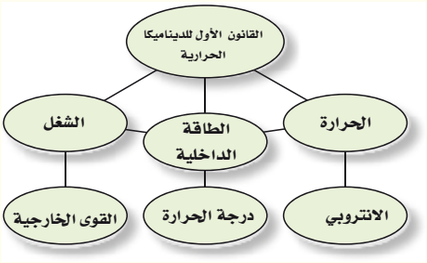
- الحرارة الكامنة للانصهار
- الحرارة الكامنة للتبخر
- القانون الأول للديناميكا الحرارية
- الآلة الحرارية
- الإنتروبي
- القانون الثاني للديناميكا الحرارية

المفاهيم الرئيسة

- الحرارة الكامنة للانصهار هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1kg من الحالة الصلبة للمادة إلى حالتها السائلة عند درجة حرارة انصهارها. $Q = mH_f$
- الحرارة الكامنة للتبخر هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 kg من الحالة السائلة للمادة إلى حالتها الغازية عند درجة حرارة غليانها. $Q = mH_v$
- انتقال الحرارة خلال تغير حالة المادة لا يغير درجة حرارتها.
- إن التغير في طاقة جسم ما، هو مجموع الطاقة المضافة إليه، مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم. $\Delta U = Q - W$
- يحوّل المحرك الحراري الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية باستمرار.
- تستخدم مضخة الحرارة والمبرد (الثلاجة) الطاقة الميكانيكية، لنقل الحرارة من الحيز الذي درجة حرارته أقل إلى الحيز الذي درجة حرارته أكبر.
- الإنتروبي هو قياس للفوضى في النظام.
- يعرف التغير في الإنتروبي لجسم ما، على أنه مقدار الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارته بالكلفن. $\Delta S = \frac{Q}{T}$

خريطة المفاهيم

29.



إتقان المفاهيم

30. إن الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الوضع والحركة للكرة على اعتبار أنها كتلة واحدة. والطاقة الحرارية هي مجموع طاقتي الوضع والحركة للجسيمات المنفردة المكونة لكتلة الكرة. أما درجة الحرارة فهي قياس للطاقة الداخلية للكرة.

31. لا، لا يوجد في الفراغ جسيمات ليكون لها طاقة.

32. لا، يوجد توزيع لسرعات الذرات أو الجزيئات.

33. يقيس الجلد تدفق الحرارة منه أو إليه، ويمتص مقبض الباب المعدني الحرارة من الجلد أسرع من الباب الخشبي، لذا يبدو أبرد.

34. ستتغير درجات الحرارة للجسمين اعتمادًا على كتلتيهما وعلى سعتيهما الحرارية النوعية. وليس بالضرورة أن يكون تغير درجة الحرارة هو نفسه لكل منهما.

35. عندما تصهر مادة صلبة أو عندما تغلي سائلاً فإنك تضيف طاقة حرارية دون إحداث تغيير في درجة الحرارة.

36. عندما يتجمد الشمع تنبعث منه طاقة.

37. عندما يتبخر الماء داخل الغطاء القماشي في الهواء الجاف فإنه يمتص كمية طاقة تتناسب مع حرارة انصهاره. لذا تبرد القربة.

38. يتبخر غاز التبريد داخل الملفات الموجودة داخل المنزل، ليمتص الطاقة من الغرف.

تطبيق المفاهيم

39. ينبغي ألا يكون هناك اختلاف؛ فالماء في كلتا الحالتين له درجة الحرارة نفسها.

40. الميثانول؛ لأن له سعة حرارية نوعية أقل. يتولد ΔT أكبر لكتلة معينة وانتقال حرارة معينة، حيث إن $Q = mC\Delta T$.

41. يصهر الألومنيوم جليدًا أكثر؛ لأن سعته الحرارية النوعية أكبر من السعة الحرارية النوعية للرصاص.

42. لأنهما يمتصان حرارة التبخر من الجلد عند تبخرهما.

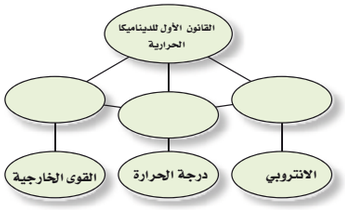
43. ستكون الكأس ذات القالب A أسخن؛ لأن القالب A يحتوي طاقة حرارية أكثر.

إتقان حلّ المسائل

1–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية

خريطة المفاهيم

28. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الحرارة، الشغل، الطاقة الداخلية.



إتقان المفاهيم

29. وضح الاختلافات بين الطاقة الميكانيكية لكرة ما، وطاقتها الحرارية، ودرجة حرارتها.

30. هل للفراغ درجة حرارة؟ وضح ذلك.

31. هل جميع الجزيئات أو الذرات في السائل لها السرعة نفسها؟

32. هل يُعد جسم الإنسان مقياسًا جيدًا لدرجة الحرارة؟ تشعر في يوم شتاء بارد، أن مقبض الباب المعدني أبرد من المقبض الخشبي. فسر ذلك.

33. عند تدفق الحرارة من جسم ساخن ملامس لجسم بارد، هل يحدث للجسمين التغير نفسه في درجات الحرارة؟

34. هل تستطيع إضافة طاقة حرارية إلى جسم دون زيادة درجة حرارته؟ فسر ذلك.

35. عندما يتجمد الشمع، هل يمتص طاقة أم يبعث طاقة؟

36. فسر لماذا يبقى الماء في القربة المحاطة بقماش رطب باردًا أكثر من حالة عدم وجود القماش؟

37. أي العمليات تحدث في ملفات مكيف الهواء الموجودة داخل المنزل: التبخر أم التكاثف؟ وضح ذلك.

تطبيق المفاهيم

38. **الطبخ** تطهو امرأة اللحم في قدر ماء يغلي. فهل ينضج اللحم أسرع عند غلي الماء بشدة أو غليه بهدوء (على نار هادئة)؟

39. أي السائلين يبرِّده مكعب من الثلج أسرع: الماء أم الميثانول؟ وضح ذلك.

40. سُخنت كتلتان متساويتان من الألومنيوم، والرصاص بحيث أصبحتا عند درجة الحرارة نفسها، ثم وضعت القطعتان على لوحين متماثلين من الجليد. أيهما يصهر جليدًا أكثر؟ وضح ذلك.

41. لماذا يشعر الشخص ببرودة السوائل السريعة التبخر على الجلد، ومنها الأسيتون، والميثانول؟

42. أُسقط قالبان من الرصاص لهما درجة الحرارة نفسها في كأسين متماثلتين من الماء متساويتين في درجة الحرارة. فإذا كانت كتلة القالب A ضعفي كتلة القالب B، فهل يكون لكأسي الماء درجات الحرارة نفسها، بعد الوصول إلى حالة الاتزان الحراري؟ وضح ذلك.

إتقان حل المسائل

1–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية

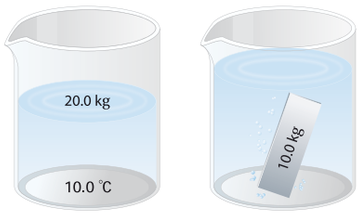
43. يمتص قالب من المعدن كتلته 5.0×10^2 g كمية من الحرارة مقدارها 5016 J عندما تتغير درجة حرارته من 20.0 °C إلى 30.0 °C. احسب السعة الحرارية النوعية للمعدن.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneduction.com

تقويم الفصل - 1

44. وضعت كتلة من التنجستن مقدارها 1.00×10^{2} g، ودرجة حرارتها 100.0 °C في 2.00×10^{2} g من الماء عند درجة 20.0 °C. فوصل الخليط إلى الاتزان الحراري عند درجة 21.6 °C. احسب السعة الحرارية النوعية للتنجستن.

45. وضعت قطعة خارصين في وعاء ماء كما في **الشكل 18–1**. فإذا كانت كتلة القطعة 10.0 kg، ودرجة حرارتها 71.0 °C، وكتلة الماء 20.0 kg، ودرجة حرارته قبل إضافة القطعة 10.0 °C، فما درجة الحرارة النهائية للماء والخارصين؟



الشكل 18–1

46. إن الطاقة الحركية لسيارة صغيرة تتحرك بسرعة 100 km/h هي 2.9×10^{5} J. لتكون انطباعًا جيدًا عن مفهوم الطاقة، احسب حجم الماء الذي ترتفع حرارته من درجة حرارة الغرفة (20.0 °C) إلى درجة الغليان (100.0 °C) إذا اكتسب طاقة مقدارها 2.9×10^{5} J.

47. **سخان الماء** يستخدم سخان ماء قدرته 3.0×10^{2} W لتسخين قدح ماء كما في **الشكل 19–1**. ما مقدار الزمن اللازم لجعل الماء يغلي، إذا كان القدح مصنوعًا من الزجاج وكتلته 3.0×10^{2} g ويحتوي 250 g من الماء عند 15 °C؟ افرض أن درجة حرارة القدح مساوية لدرجة حرارة الماء، وأنه لن يفقد الحرارة إلى الهواء.

الشكل 19–1

48. **محرك السيارة** محرك سيارة من الحديد كتلته 2.50×10^{2} kg يحتوي على ماء للتبريد. افترض أن درجة حرارة المحرك لحظة توقفه عن العمل 35.0 °C، ودرجة حرارة الهواء 10.0 °C. فما مقدار كتلة الماء المستخدمة لتبريد المحرك، إذا كانت الحرارة الناتجة عن المحرك والماء داخله عندما يبردان ليصلا إلى درجة حرارة الهواء هي 4.40×10^{6} J؟

2–1 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية.

49. كُثفت عينة من الكلوروفورم كتلتها 40.0 g من بخار عند درجة 61.6 °C إلى سائل عند درجة 61.6 °C، فانبعثت حرارة مقدارها 9870 J. ما الحرارة الكامنة لتبخر الكلوروفورم؟

44. 1.00×10^{3} J /kg.K

45. 171 J /kg.K

46. 12.7 °C

47. 0.87 L

48. 6.1 min

49. 15 kg

1–2 تغيرات الحالة وقوانين الديناميكا الحرارية

50. 2.47×10^{5} J /kg

51. 3.09×10^{4} J

52. 290 °C

53. 1.0×10^{1} m

مراجعة عامة

54. 42%، 3100 J

55. 0.016 °C

56. 1.1 kg : لـذا، تحتـاج إلى جليد أكثـر قليلًا من الشـاي، ولكن هذه النسـبة سـتقلل مـن تركيز الشـاي، لـذا دع الشـاي يبرد إلى درجـة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد.

57. لقالـب النحـاس كتلة أكـبر 2.3 مرة مـن كتلة

50. مـا مقـدار الحرارة المكتسـبة لكتلـة 10.0 g من الجليد عند درجـة 20.0 °C− لتحويلها إلى بخار ماء عند درجة 120.0 °C؟

51. تتحرك قذيفـة مـن الـرصـاص كتلتها 4.2 g بسرعة 275 m/s فتصطـدم بصفيحـة فولاذية وتتوقف، فـإذا تحولت طاقتها الحركيـة كلها إلى طاقة حرارية دون فقدان أي شيء منها، فما مقدار التغير في درجة حرارتها؟

52. ينتج كل 100 ml من مشـروب خفيـف طاقة مقـدارها 1.7 kJ، فـإذا كانـت العلبة منه تحتـــوي على 375 ml، وشـربت فتـاة العلبـة وأرادت أن تفقد مقدار ما شـربته مـن الطاقة من خلال صعود درجات سـلم، فما مقدار الارتفـاع الـذي ينبغـي أن تصعد إليـه الفتـاة إذا كانت كتلتها 65.0 kg؟

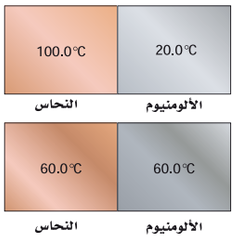
مراجعة عامة

53. ما كفـاءة المحرك الذي ينتـج 2200 J/s عندما يحرق من البنزين ما يكفي لإنتاج 5300 J/s ما مقدار الحرارة الضائعة التي ينتجها المحرك كل ثانية؟

54. **مكبس أختـام** تبـذل آلة أختـــام معدنيـــة في مصنع 2100 J في كلّ مـرة تختم فيها قطعـة معدنية. ثم تغمس كل قطعة مختومة فـي حوض يحتوي 32.0 kg من الماء للتبريـد. فما مقدار الزيادة فـي درجات حرارة الحوض في كل مرة تغمس فيها قطعة معدنية مختومة؟

55. **الشـاي المثلج** لتصنع الشـاي المثلج فإنك تمزج الشـاي بالماء السـاخن، ثم تضيف إليه الجليد. فإذا بدأت بمقدار 1.0 L مـن الشـاي عنـد درجـة 90 °C، فمـا أقـل كميـة من الجليـد يتطلبها تبريده إلـى درجة 0 °C؟ وهل من الأفضل ترك الشاي يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد إليه؟

56. وضـع قالب مـن النحاس عند 100.0 °C ملامسًـا قالبًا من الألومنيوم عند 20.0 °C، كما في **الشكل 20–1**. إذا كانـت درجة الحـرارة النهائية لهما 60.0 °C، فاحسـب الكتل النسبية للقالبين؟



الشكل 20–1

التفكير الناقد

57. **حلّل واستنتج** ينتـزع محرك حراري معيـن 50.0 J من الطاقـة الحرارية من مسـتودع حار عنـد درجة حـرارة $T_H = 545$ K، ويبعـث 40.0 J من الحرارة إلى مسـتودع بارد عند درجة حرارة $T_L = 325$ K. كما يعمل على نقل الإنتروبي من مستودع إلى آخر أيضًا خلال العملية.

a. كيـف يعمل المحـرك على تغييـر الإنتروبي الكلي للمستودعين؟

b. ماذا سـيكون تغير الإنتروبي الكلي في المسـتودعين إذا كانت $T_L = 205$ K؟

58. **حلّل واستنتج** تزداد عمليات الأيض للاعبي كرة القدم خـلال اللعبـة بمقـدار 30.0 W. ما مقـدار العرق الذي يجب أن يتبخر من اللاعب كل ساعة ليبدد هذه الطاقة الحرارية الإضافية؟

تقويم الفصل - 1

59. تطبيق المفاهيم تعد الشمس مصدر جميع أشكال الطاقة على الأرض. حيث تكون درجة حرارة سطح الشمس 10^4 K تقريبًا. ماذا يحدث للعالم لو كانت درجة حرارة سطح الشمس 10^3 K؟

الكتابة في الفيزياء

60. لقد تأثر فهمنا للعلاقة بين الحرارة، والطاقة بأعمال بنجامين ثومسون، وكونت رمفورد، وجيمس جول. حيث اعتمدوا على النتائج التجريبية لتطوير أفكارهم. تحقق من التجارب التي قاموا بها، وقدر هل من الإنصاف تسمية وحدة الطاقة بالجول بدلاً من ثومسون؟

61. للماء سعة حرارية نوعية كبيرة غير عادية، كما أن كلًّا من الحرارة الكامنة لانصهاره وتبخره عالية. ويعتمد الطقس على الماء في حالاته الثلاث. تُرى كيف يكون العالم إذا كانت خصائص الماء الحرارية مثل خصائص الموادّ الأخرى، كالميثانول مثلاً؟

مراجعة تراكمية

62. ترفع رافعة كتلة مقدارها 180 kg إلى ارتفاع 1.95 m. ما مقدار الشغل الذي تبذله الرافعة لرفع الكتلة؟

63. في عرض للقوة طُلب إلى مجموعة من الجنود دحرجة صخور كتلة كل منها 215 kg إلى أعلى تل ارتفاعه 33 m، فإذا كان بإمكان أحد المشاركين توليد قدرة متوسطها 0.2 kW، فكم صخرة خلال 1 h يستطيع أن يدحرج إلى أعلى التل؟

في درجة الحرارة في الصحراء بين الليل والنهار. وتحد حرارة الانصهار الكبيرة للماء من تغير المواسم في القطبين الشمالي والجنوبي؛ إذ يمتص الماء الطاقة عندما يتجمد الماء في الخريف، ويحرر الطاقة في الربيع، مما يبطئ تغيرات درجة الحرارة في الغلاف الجوي، كما يمتص الماء ويخزن الكثير من الطاقة عند تبخره، وهذه الطاقة الحرارية هي التي تؤدي إلى تغيرات الطقس المتطرفة مثل العواصف الرعدية والأعاصير.

مراجعة تراكمية

62. 3.4×10^3 J

63. عشرة صخور في ساعة واحدة

قالب الألومنيوم.

التفكير الناقد

58. a. 0.0313 J/K

b. 0.103 J/K؛ ازداد التغير الكلي في الإنتروبي في المستودعات، وفي الكون تقريبًا بمعامل يساوي 3

59. 0.0478 kg

60. ستختلف الإجابات، ولكن ينبغي أن تدور حول تغير متوسط درجات الحرارة على الأرض، وأنماط الطقس المختلفة، وأصناف النباتات وأنواع الحيوانات المنقرضة.. إلخ.

الكتابة في الفيزياء

61. كان الاعتقاد في عام 1799م أن الحرارة سائل يتدفق من جسم إلى آخر. واعتقد كونت رمفورد أن الحرارة تحدث بسبب حركة الجزيئات في المعدن. ولم تلاق أفكاره قبولًا واسعًا، إذ لم يجر أي قياسات كمية. في حين أجرى جول في عام 1843م قياسات دقيقة، فقاس التغير في درجة الحرارة الذي يسببه إضافة حرارة أو بذل شغل على كمية من الماء. وأثبت أن الحرارة صفة مميزة للطاقة، وأن الطاقة محفوظة. فاستحق جول أن يُنسب له الفضل وتسمّى الوحدة باسمه.

62. إن السعة الحرارية النوعية الكبيرة وحرارتي الانصهار والتبخر الكبيرتين تعني أن الماء في حالاته الثلاث ـ الماء والجليد وبخار الماء ـ يمكنه أن يخزن كمية كبيرة من الطاقة الحرارية، دون أن يحدث تغير كبير في درجات حرارته. وآثار ذلك كثيرة. فالمحيطات والبحيرات الكبيرة، تلطف من تغيرات درجة الحرارة في المناطق المجاورة على نحو يومي وموسمي. ويكون التغير في درجة الحرارة بين النهار والليل بالقرب من البحيرة أقل كثيرًا من التغير

الفصل 1

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. أي تحويلات درجات الحرارة التالية غير صحيح؟
   - (A) $-273\ ^\circ C = 0\ K$
   - (B) $273\ ^\circ C = 546\ K$
   - (C) $298\ K = 571\ ^\circ C$
   - (D) $88\ K = -185\ ^\circ C$
2. ما وحدات الإنتروبي؟
   - (A) J / K
   - (B) K / J
   - (C) J
   - (D) kJ
3. أي العبارات الآتية المتعلقة بالاتزان الحراري غير صحيح؟
   - (A) عندما يكون جسمان في حالة اتزان، فإن الإشعاع الحراري بين الجسمين يستمر في الحدوث.
   - (B) يستخدم الاتزان الحراري في توليد الطاقة في المحرك الحراري.
   - (C) يستخدم مبدأ الاتزان الحراري في الحسابات.
   - (D) عندما لا يكون جسمان في حالة اتزان، فإن الحرارة ستتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد منه.
4. ما كمية الحرارة اللازمة لتسخين 87 g من الميثانول المتجمد عند 14 K إلى بخار عند 340 K؟ (درجة انصهار الميثانول = $-97.6\ ^\circ C$، ودرجة غليانه = $64.6\ ^\circ C$، افترض أن السعة الحرارية النوعية للميثانول ثابتة في جميع حالاته).
   - (A) 17 kJ
   - (B) 69 kJ
   - (C) 1.4×10^2 kJ
   - (D) 1.5×10^2 kJ
5. أي العبارات الآتية المتعلقة بالطاقة والإنتروبي وتغيرات الحالة صحيحٌ؟
   - (A) يزيد تجميد الماء من طاقته، حيث يكتسب ترتيبًا جزيئيًّا باعتباره تحوَّل إلى مادة صلبة.
   - (B) كلما كانت السعة الحرارية النوعية للمادة أكبر، زادت درجة حرارة انصهارها.
   - (C) حالات المادة ذات الطاقة الحركية الأكبر يكون لها إنتروبي أكبر.
   - (D) لا يمكن أن تزداد الطاقة، والإنتروبي في الوقت نفسه.
6. ما مقدار الحرارة اللازمة لتدفئة 363 ml من الماء في زجاجة أطفال من 24°C إلى 38°C؟
   - (A) 21 kJ
   - (B) 36 kJ
   - (C) 121 kJ
   - (D) 820 kJ
7. تكون هناك دائمًا كمية حرارة مفقودة في المحرك الحراري؛ لأنّ:
   - (A) الحرارة لا تنتقل من الجسم البارد، إلى الجسم الساخن.
   - (B) الاحتكاك يعمل على إبطاء المحرك.
   - (C) الإنتروبي يزداد في كل مرحلة.
   - (D) مضخة الحرارة تستخدم طاقة.

42

أسئلة اختيار من متعدد

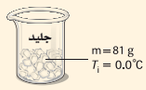
1. C	2. A	3. B
4. D	5. C	6. A
7. C		

اختبار مقنن الفصل 1–

اختبار مقنن الفصل – 1

8. ما مقدار الحرارة اللازمة لصهر 81 g من الجليد عند درجة 0.0°C في دورق، ويسخن إلى 10 °C؟

A 0.34 kJ
B 27 kJ
C 30 kJ
D 190 kJ



9. إذا بذلت 0.050 J من الشغل على القهوة في الفنجان في كل مرة تحركها، فما مقدار الزيادة في الإنتروبي في 125 ml من القهوة عند درجة 65 °C عندما تحركها 85 مرة؟

A 0.013 J /K
B 0.050 J
C 0.095 J /K
D 4.2 J

الأسئلة الممتدة

10. ما الفرق بين الحرارة اللازمة لصهر 454 g من الجليد، عند 0.0 °C، والحرارة اللازمة لتحويل 454 g من الماء عند 100 °C إلى بخار؟ وهل مقدار الفرق أكبر أم أقل من كمية الطاقة اللازمة لتسخين 454 g من الماء عند 0.00 °C إلى 100.0 °C؟

إرشاد

تعلم من أخطائك

تكون الأخطاء التي ترتكبها قبل الاختبار مفيدة، لأنها تبين المواضع التي تحتاج إلى تركيز أكبر. فعندما تحسب الحرارة اللازمة لصهر مادة وتسخينها تذكّر أن تحسب الحرارة اللازمة لصهر المادة إضافة إلى الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارتها.

8. C

9. A

الأسئلة الممتدة

10. للصهر: 152 kJ؛ للتبخر: 1030 kJ ؛ يتطلب التحويل إلى بخار طاقة أكبر بمقدار 878 kJ. للتسخين: 190×10^2 kJ؛ إن الفرق في الطاقة بين الحالتين أكبر من الطاقة التي يتطلبها تسخين الماء في الحالة السائلة.

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استخدم الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

الفصل 2

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
2–1 خصائص الموائع	
1. **تصف** كيف تُحدث الموائع الضغط. 2. **تحسب** ضغط الغاز، وحجمه، وعدد مولاته. 3. **تقارن** بين الغازات والبلازما.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** ميزان نابضي، أسطوانة مدرّجة 500 mL، ماء، عبوة صغيرة (مرفقة بغطاء أو سدادة)، 12 قطعة نيكل. **تجربة** مسطرة مترية. قلم رصاص، ورقة. **عرض المعلم** **عرض سريع** مجفف شعر، بالون مصنوع من البولستر منفوخ جزئيًّا بغاز الهيليوم، خيط، جسم صغير.
2–2 القوى داخل السوائل	
4. **توضح** كيف تسبب قوى التماسك التوترَ السطحي. 5. **توضح** كيف تسبب قوى التلاصق الخاصية الشعرية. 6. **تناقش** التبريد الناجم عن التبخر ودور التكاثف في تكوّن السحب.	
2–3 الموائع الساكنة والمتحركة	
7. **تربط** مبدأ باسكال بالآلات البسيطة وحالاتها. 8. **تطبق** مبدأ أرخميدس للطفو. 9. **تطبق** مبدأ برنولي لتدفق الهواء.	**عرض المعلم** **عرض سريع** علبة، دبوس أو مثقب، مطرقة، ماء، حوض أو وعاء كبير، شريط لاصق.
2–4 المواد الصلبة	
10. **تربط** خصائص المواد الصلبة بتراكيبها. 11. **تفسر** لماذا تتمدد المواد الصلبة وتتقلص عندما تتغير درجة حرارتها. 12. **تحسب** التمدّد في المواد الصلبة. 13. **توضح** أهمية تمدّد المواد بالحرارة.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافيّة** أقراص قفازة (شريط ثنائي الفلز). **مختبر الفيزياء** ميثانول (كحول الميثيل)، إيثانول (كحول إيثيلي)، 2- بروبانول (كحول الأيزوبروبيلي)، قطعتا شريط لاصق، مقياس حرارة (غير زئبقي)، ورق ترشيح (ثلاث قطع 2.5cm×2.5cm)، رباطات مطاطية صغيرة.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثاني

نظرة عامة إلى الفصل

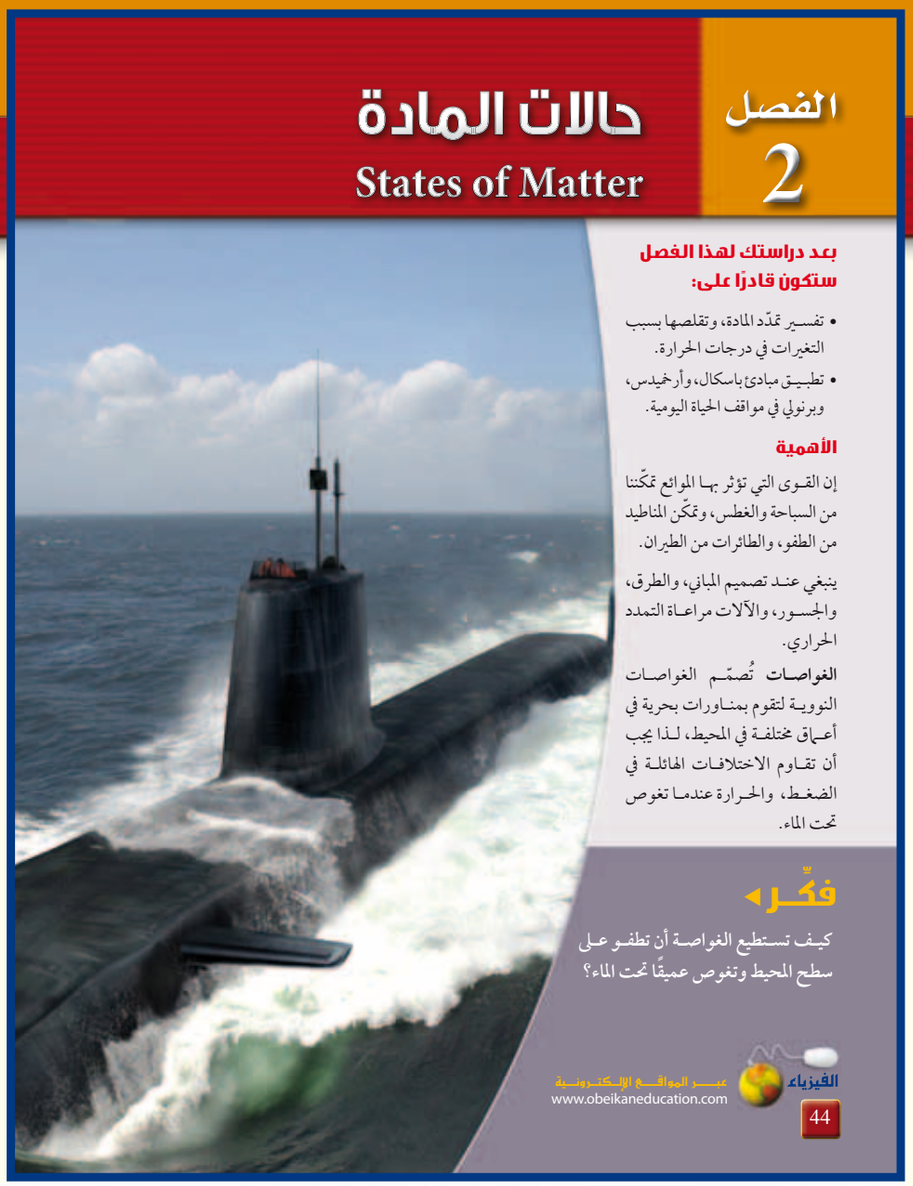
يجمع هـذا الفصل مفاهيـم الطاقة الحراريـة والقوة لوصـف السـوائل والغـازات والمـواد الصلبـة. ويصـف الجـزء الأول خصائـص الموائع (السـوائل والغـازات)، ويطوّر فهم موضـوع الضغط. كما يَرد موضوع درجة الحرارة مرة أخرى في وصف التمدد الحراري للمواد الصلبة والغازات.

فكّر

تحافـظ الغواصـة عـلى التـوازن بـين قـوة الجاذبيـة الأرضيـة التي تسـحبها إلى أسـفل، وقـوة طفو الماء التي تدفعها إلى أعلى، كالأسـماك تمامًا. فبعض أنواع الأسماك تنظّم عمقها في الماء بوساطة المثانة الهوائية، والتي باسـتطاعتها التمدد والانكماش لزيادة الطفو أو تقليلـه. تحـوي الغواصـة خزانات يمكـن ملؤها بالماء لتقليل الطفو، مما يمكنها من الغوص إلى أعماق أكبر. ولكي ترتفع إلى السـطح تُملأ الخزانات بالهواء المضغوط لزيادة الطفو.

المفردات الرئيسة

- الموائع
- قوة الطفو
- الضغط
- مبدأ أرخميدس
- الباسكال
- مبدأ برنولي
- القانون العام للغازات
- خطوط الانسياب
- قانون الغاز المثالي
- الشبكة البلّورية
- التمدد الحراري
- المواد الصلبة غير البلورية
- البلازما
- معامل التمدد الطولي
- قوى التماسك
- معامل التمدد الحجمي
- قوى التلاصق
- مبدأ باسكال



تجربة استهلالية

الهدف عرض مفهوم الطفو.

المواد والأدوات أسطوانة مدرّجة سعتها 500 ml، ماء، ميزان نابضي، عبوة صغيرة مرفقة بغطاء أو سدادة، 12 قطعة نيكل.

استراتيجيات التدريس

تحذير: ذكر الطلبة بضرورة مسح أي كمية من الماء قد تنسكب على الأرض، وذلك تجنبًا للانزلاق أو السقوط.

- يخلط بعض الطلبة بين مفهومي الحجم والكتلة. لذا ساعد الطلبة على الربط بين حجم العبوة تحت سطح الماء وحجم الماء المزاح، واطلب إليهم وضع علامة تحدد المستوى الابتدائي لسطح الماء؛ وذلك لإجراء المقارنة.

النتائج المتوقّعة عندما تكون العبوة فارغة فإن جزءًا قليلًا منها ينغمر تحت سطح الماء. وكلما أضاف الطلبة قطعًا من النيكل انغمرت العبوة في الماء أكثر، حتى تنغمر تمامًا. ويكون وزن العبوة المغمورة في الهواء أكبر من وزنها الظاهري في الماء.

2-1 خصائص الموائع

1. التركيز

نشاط محفز

الرافعة الهوائية اصنع وسادة قابلة للنفخ، وذلك بإغلاق كيس صغير فارغ بوساطة شريط لاصق، ثم أدخل ماصة عصير من خلال ثقب في الكيس، وأحكم إغلاق المنطقة التي تدخل منها. اطلب إلى أحد الطلبة أن ينفخ هذه الوسادة ببطء، ثم ضع كتابين على الكيس، ثم اطلب إلى الطلبة وصف القوى التي يؤثر بها الكيس في الكتابين، ووصف القوة والشغل اللذين بذلهما الطالب من خلال النفخ بوساطة الماصة. القوى المؤثرة في الكتابين: قوة الجاذبية الأرضية والقوة التي يؤثر بها الكيس إلى أعلى. القوة التي يؤثر بها الكيس في الكتابين تساوي مساحة سطح الكتاب السفلي مضروبة في الضغط داخل الكيس. يُبذل الشغل على الكتابين بتحريك الهواء إلى داخل الكيس. م 1

حركي

الربط مع المعرفة السابقة

القوى ذكّر الطلبة بالقوى وارسم مخطط الجسم الحر. وذكرهم أيضا أنه عندما يكون الجسم ساكنًا فإن مجموع القوى المؤثرة فيه يجب أن يساوي صفرًا. وبيّن للطلبة أن الضغط عبارة عن قوة مقسومة على مساحة، وأنه كمية قياسية وليس كمية متجهة، ويكون الضغط متعامدًا مع السطح.

تجربة استهلالية

هل ستطفو أم تغطس؟

سؤال التجربة كيف تقيس طفو الأجسام؟

الخطوات

1. أحضر عبوة صغيرة (مرفقة بغطاء أو سدادة) وأسطوانة مدرجة 500 ml، واربط شريطًا مطاطيًّا بالعبوة؛ لتعليقها بميزان نابضي.
2. استخدم الميزان النابضي لإيجاد وزن العبوة، ثم استخدم الأسطوانة المدرجة لإيجاد حجم الماء الذي أزيح بوساطة العبوة المغلقة عندما طفت. وسجّل كلتا القراءتين؛ وامسح أي سائل مسكوب.
3. ضع قطعة معدنية في العبوة ثم أغلقها جيدًا. كرّر الخطوة الثانية، ثم سجل وزن العبوة وقطعة المعدن، وحجم الماء المزاح. وسجل أيضًا هل طفت العبوة أم غطست.
4. كرّر الخطوتين 2 و 3، وأضف في كل مرة قطعة معدن حتى تغطس العبوة، وعندما تغطس استخدم الميزان النابضي، لإيجاد الوزن الظاهري لها. تأكد أن العبوة لا تلامس الأسطوانة المدرجة عندما تكون تحت سطح الماء.

التحليل

استخدم المعلومات التي دوّنتها في حساب كثافة نظام (العبوة – قطعة المعدن)، ثم احسب كتلة الماء المزاح بوساطة النظام في كل مرة. كيف ترتبط الكثافة بالطفو؟

التفكير الناقد كيف ترتبط كتلة نظام (العبوة – قطعة المعدن) مع كتلة الماء المزاح بوساطة النظام؟ وهل تستمرّ هذه العلاقة بغض النظر عن طفو النظام؟

2-1 خصائص الموائع Properties of Fluids

الأهداف

- تصف كيف تُحدث الموائع الضغط.
- تحسب ضغط الغاز، وحجمه، وعدد مولاته.
- تقارن بين الغازات والبلازما.

المفردات

الموائع	الضغط
الباسكال	القانون العام للغازات
قانون الغاز المثالي	التمدد الحراري
البلازما	

في ضوء خبراتك اليومية، قد لا يبدو أن هناك خصائص مشتركة بين الماء، والهواء، أما إذا فكّرت بطريقة أخرى فسوف تدرك أن لهما خصائص مشتركة؛ فكل من الماء، والهواء يتدفقان وليس لأي منهما شكل محدد، على عكس الموادّ الصلبة. فالغازات والسوائل حالتان من حالات المادة تكون لذرات المادة وجزيئاتها فيها حرية كبيرة لتتحرك.

سوف تستكشف في هذا الفصل حالات المادة، مبتدئًا بالغازات، والسوائل، وتتعلم المفاهيم التي توضح كيف تستجيب المادة لتغيرات الحرارة، والضغط، وكيف تستطيع الأنظمة الهيدروليكية مضاعفة القوى، وكيف تستطيع السفن المعدنية الضخمة الطفو على سطح الماء. وستتعرّف أيضًا خصائص الموادّ الصلبة، مكتشفًا كيف تتمدّد، وتتقلص (تنكمش)، ولماذا تكون بعض المواد الصلبة مرنة، ولماذا يكون بعضها، كأنه في حالة بين الصلابة، والسيولة.

التحليل يتعلم الطلبة في هذا الفصل أن قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح بوساطة الجسم. وستطفو العبوة عند مستوى ما على أن يتساوى وزنها مع وزن الماء المزاح. وكلما أضاف الطلبة المزيد من قطع النيكل ازدادات الكثافة الكلية للعبوة، فتزيح المزيد من الماء، لذا فإنها تطفو عند عمق أكبر من العمق السابق. وفي اللحظة التي تنغمر عندها العبوة اطرح وزنها وهي في الماء من وزنها في الهواء، حيث يكون الناتج هو قوة الطفو المؤثرة في العبوة المغمورة.

التفكير الناقد على الطلبة أن يكونوا قادرين على استنتاج أن وزن العبوة في الهواء مطروحًا منها وزن العبوة في الماء يساوي القوة التي تحمل العبوة عندما تنغمر في الماء وهي قوة الطفو.

2. التدريس

تطوير المفهوم

القوة والضغط قد يخلط بعض الطلبة بين مفهومي الضغـط والقـوة، لذا أكـد أن الضغط يسـاوي ناتج قسمة القوة على المساحة التي تؤثر فيها القوة.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اتجـاه الضغـط قد يعتقـد بعض الطلبـة أن ضغط الهـواء أو المـاء يؤثـر إلى أسـفل فقط؛ وذلـك عندما يتعلمـون أن الضغط الـذي يؤثر به عمـود الهواء أو الماء يضغط على المسـاحة التي أسفله. لذا وضح لهم أن الضغـط يؤثر في الاتجاهات جميعها، حتى في اتجاه الجوانـب أو إلى أعـلى، ممثـلاً على ذلـك ببالون مملوء بالهواء.

التفكير الناقد

الهـواء والمـاء المائعـان اللـذان يؤثـران كثـيرًا في حياتنا همـا الهواء والماء. اطلـب إلى الطلبة أن يكتبوا خصائص كل منهما. واكتب خصائصهما في عمودين لتسـهيل المقارنة بينهما. ثم اسـأل الطلبة: ماذا يحدث عندما يتحركون خلال هذين المائعين؟

ستختلف الإجابـات. المـاء مقابـل الهـواء: ثقيل / خفيف، يُشرب/ يستنشـق، يتدفـق في النهر/ يهب، يوضع في الكأس/ يُحصر في المنطاد، سـطحه مقعر/ سطحه غير مقعر، يبلل الأجسام/ يجفف الأجسام، مرئي/ غير مرئي، لزج / غير لزج. يمكن أن يقارن الطلبـة بـين الجهـد الـذي تتطلبـه السـباحة في المـاء أوالتجديف والجهد المبذول عند التلويح بأيديهم في الهواء.

الشكل 1–2 مكعبات الجليد الصلبة لها شكل محدّد، في حين يأخذ الماء السائل (مائع) شكل الإناء الذي يحتويه. ما المائع الذي يملأ الفراغ فوق الماء؟

الشكل 2–2 إن رائد الفضاء ومركبته يولدان ضغطًا على سطح القمر. إذا كانت كتلـة المركبـة 7300 kg تقريبًا وتستقر على أربعة قواعد قطر كـل منهـا 91 cm، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به على سطح القمر؟ وكيف تستطيع أن تقدر الضغط الذي يؤثر به رائد الفضاء.

الضغط Pressure

افتـرض أنـك وضعت مكعبًا من الجليد فـي كوب فارغ، سـتلاحظ أن مكعـب الجليد لـه كتلة معينة وشـكل محـددٌ، ولا تعتمد هاتـان الكميتان على حجم الكوب أو شـكله. لكن ماذا يحدث عندما ينصهر مكعب الجليد؟ تبقى كتلته كما هي، ولكن شـكله يتغير، ويتدفق الماء ليأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بحيث يتخذ السطح العلوي شكلاً محددًا ومسـتويًا، كمـا في **الشـكل 1–2**. من جهة أخـرى، إذا غليت الماء، فسـوف يتحول إلى الحالـة الغازيـة في صـورة بخار ماء، ويتمدد وينتشـر ليمـلأ الغرفة ولن يكون له سـطح محـدّد. وتشـترك كل من السـوائل، والغازات فـي كونها **موائع**؛ حيث إنها مـوادّ تتدفق، وليس لها شكل محدد.

سـنوجه اهتمامنا حاليًا لدراسـة الموائع المثالية، التي يمكن التعامل معها على اعتبار أن جزيئاتها لا تشغل حيزًا ، وليس لها قوى تجاذب تربطها بعضها مع بعض.

الضغـط فـي الموائع لقد طبقت قانون حفظ الطاقة على الأجسـام الصلبة، فهل يمكن تطبيـق هـذا القانون علـى الموائع؟ يمكن أن نعرِّف كلًّا من الشـغل، والطاقة باسـتخدام مفهـوم **الضغـط**، الـذي يمثل القـوة المؤثرة في سـطح ما، مقسـومة على مسـاحة ذلك السطح. ولأن الضغط قوة تؤثر في السطح، فإن أي شيء يولد ضغطًا لابد أن يكون قادرًا على إحداث تغيير وإنجاز شغل.

الضغط $P=\frac{F}{A}$

الضغط يساوي القوة مقسومة على مساحة السطح.

ويعـد الضغـط P كميـة قياسـية (غيـر متجهـة)، ويقـاس الضغـط وفقًـا للنظـام الدولي للوحدات SI بوحدة **باسكال** (Pa) وهي تعادل $1\ N/m^2$. ولأن الباسكال وحدة صغيرة، فإن الكيلو باسكال (kPa) الذي يُساوي 1000 Pa أكثر استخدامًا وشيوعًا.

ويُفترض عادة أن القوة F المؤثرة في سطح ما تكون عمودية على مساحة ذلك السطح A، ما لم تتم الإشـارة إلى غير ذلك. ويوضح **الشـكل 2–2** العلاقات بين القوة، والمسـاحة والضغط، ويوضح **الجدول 1–2** كيف يتغير الضغط في حالات مختلفة.

المواد الصلبة، والسوائل، والضغط تخيل أنك تقف على سـطح بحيرة متجمدة، إن القـوى التـي تؤثر بها قدماك في الجليد، تتوزع على مسـاحة حذائـك مولّدة ضغطًا على الجليد. إن الجليد مادة صلبة تتكون من جزيئات الماء المهتزة، والقوى التي تحافظ على جزيئات الماء في مكانها، تجعل الجليد يؤثر بقوى رأسـية في قدميك إلى أعلى تسـاوي وزنك، أما إذا انصهر الجليد فإن معظم الروابط بين جزيئات الماء تصبح ضعيفة. وعلى الرغـم مـن أن الجزيئات ستسـتمر فـي التذبذب، إلا أنها سـتصبح قـادرة على الانزلاق بعضها فوق بعض، وتبعًا لذلك ستكون قادرًا على اختراق سطح الماء. من جهة أخرى، ستستمر جزيئات الماء المتحركة في التأثير بقوى في جسمك.

جزيئات الغاز والضغط إن الضغط الذي تؤثر به الغازات يمكن فهمه بتطبيق نظرية الحركة الجزيئية للغازات التي توضح خصائص الغاز المثالي. وعلى الرغم من أن جزيئات الغاز الحقيقية تحتل حيزًا من الفراغ، ولها قوة تجاذب إلا أن الغاز المثالي عبارة عن نموذج جيد للغاز الحقيقي تحت معظم الظروف، بحيث يمكن تطبيق قوانينه على الغازات الحقيقية، وتكون النتائج عالية الدقة.

بناءً على نظرية الحركة الجزيئية، فإن جزيئات الغاز تتحرك عشوائيًّا، وبسرعات عالية، وتخضع لتصادمات مرنة بعضها ببعض. وعندما يصتدم جزيء الغاز بسطح الإناء فإنه يرتد مغيرًا زخمه الخطي، أي أنه ينتج دفعًا، ويتولد ضغط للغاز عند السطح بفعل الدفع الذي تؤثر به التصادمات العديدة للجزيئات.

الضغط الجوي تؤثر غازات الغلاف الجوي بقوة مقدارها 10 N تقريبًا في كل سنتمتر مربع من سطح الأرض، عند مستوى سطح البحر. وتعادل هذه القوة وزن جسم كتلته 1 kg. إن ضغط الغلاف الجوي على الجسم يتعادل بصورة جيدة مع قوى الجسم الداخلية المتجهة إلى الخارج، والتي نادرًا ما نلاحظها. ويثير هذا الضغط اهتمامنا فقط عندما تؤلمنا آذاننا نتيجة تغيرات الضغط. فعندما نصعد مبنى شاهق الارتفاع بالمصعد مثلاً، أو عندما ننتقل بالطائرة، فإننا نشعر بذلك. إن الضغط الجوي يساوي 10 N لكل cm^2، والذي يساوي $1.0 \times 10^5\ N/m^2$ أو 100 kPa تقريبًا.

هناك كواكب أخرى في المجموعة الشمسية لها أيضًا غلاف غازي، ويتباين الضغط الناتج عن أغلفتها الغازية كثيرًا، فمثلاً الضغط الجوي على سطح كوكب الزهرة أكبر من الضغط الجوي على سطح الأرض 92 مرة تقريبًا، في حين أن الضغط الجوي على سطح المريخ أقل مما على سطح الأرض بـ 1%.

الجدول 1–2

بعض قيم الضغط النموذجية

الموقع	الضغط (Pa)
مركز الشمس	3×10^{16}
مركز الأرض	4×10^{11}
أخدود المحيط الأكثر عمقًا	1.1×10^{8}
الضغط الجوي المعياري	1.01325×10^{5}
ضغط الدم	1.6×10^{4}
ضغط الهواء على قمة إفرست	3×10^{4}
الفراغ	1×10^{-13}

المناقشة

سؤال يمكن أن تتحطم المواد الصلبة عند الضغوط الكبيرة، بل إن بعضها ستتغير خصائصه، ويتدفق كما لو كان سائلاً. اطلب إلى الطلبة أن يناقشوا لماذا تكون الحيوانات البرية الضخمة على اليابسة أصغر من الحيوانات البحرية الضخمة التي في المحيطات.

الجواب إذا كان الحيوان على اليابسة كبيرًا جدًّا، فإن الضغط على العظام يؤدي إلى تحطمها، لأن الضغط الناتج عن قوة الجاذبية الأرضية يسبب الإجهاد. أمّا في البيئة البحرية فإن الماء المحيط بجسم الحيوان، كالحوت مثلا، سوف يدعمه بانتظام، في حين أن وزن الفيل كله يرتكز على أربعة أقدام. م 2

منطقي - رياضي

نشاط **من معلم لآخر**

الضغط مقابل المساحة يقل ضغط القوة الثابتة المؤثرة إذا زادت المساحة.

المواد والأدوات كؤوس ورقية، لوح أبعاده 120 cm × 15 cm تقريبًا.

الخطوات ضع إحدى قدميك على إحدى الكؤوس، وأثر فيها بوزن جسمك. سيؤدي ذلك إلى تحطم الكأس. ثم ضع 10 إلى 16 كأسًا مقلوبة على سطح الأرض، ثم ضع اللوح فوقها، وقف فوقه بحذر، فلن تتحطم الكؤوس. واطلب إلى طالبين الانضمام إليك على كل جانب من اللوح دون أن يقتربا من الحافة، فسوف يتحمل اللوح والكؤوس الوزن.

مثال صفي

الأقدام والوزن

سؤال كيف نقارن بين متوسط ضغط فيل يقف على الأرض، وضغط شخص واقف؟ علمًا بأن الشخص يزن 640 N، ومساحة كل حذاء $0.016\ m^2$ تقريبًا، أما الفيل فيزن $4.13 \times 10^4\ N$، وله أربع أقدام، مساحة كل منها $0.14\ m^2$ تقريبًا.

الجواب أوجد متوسط ضغط كل منهما، باستخدام العلاقة: $P = F/A$

$$P_{\text{الشخص على الأرض}} = (640\ N)/(2)(0.016\ m^2)$$
$$= 2.0 \times 10^4\ Pa$$

$$P_{\text{الفيل على الأرض}} = (4.13 \times 10^4\ N)/(4)(0.14\ m^2)$$
$$= 7.4 \times 10^4\ Pa$$

على الرغم من أن وزن الفيل يعادل 65 ضعف وزن الشخص تقريبًا، إلا أن الضغط الذي يؤثر به الفيل في الأرض لا يصل إلى أربعة أضعاف الضغط الذي يؤثر به وزن الشخص في حذائه.

مثال 1

حساب الضغط يجلس ولد وزنه 364 N على كرسي ثلاثي الأرجل يزن 41 N، بحيث تلامس قواعد الأرجل سطح الأرض على مساحة مقدارها $19.3\ cm^2$. أجب عما يلي:

a. ما معدل الضغط الذي يؤثر به الولد والكرسي في سطح الأرض؟

b. كيف يتغير الضغط عندما يميل الولد وتلامس رجلان فقط من أرجل الكرسيِّ الأرضَ؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الولد والكرسي، وعيّن القوة الكلية التي يؤثران بها في سطح الأرض.
- حدد المتغيرات، متضمنة القوة التي يؤثر بها الولد والكرسي في سطح الأرض والمساحة المرتبطة بكل من الحالة a حيث الارتكاز على ثلاثة أرجل، والحالة b حيث الإرتكاز على رجلين.

$F_g = 405\ N$

المعلوم	المجهول
$A_A = 19.3\ cm^2$	$P_A = ?$
$A_B = \frac{2}{3} \times 19.3\ cm^2 = 12.9\ cm^2$	$P_B = ?$
$F_{g\text{الولد}} = 364\ N$	
$F_{g\text{الكرسي}} = 41\ N$	
$F_{g\text{الكلية}} = F_{g\text{الولد}} + F_{g\text{الكرسي}}$	
$= 364\ N + 41\ N$	
$= 405\ N$	

2 إيجاد الكميات المجهولة

أوجد قيمة كل ضغط باستخدام العلاقة: $P = \frac{F}{A}$

a. بالتعويض عن $F = F_{g\text{الكلية}} = 405\ N$، $A = A_A = 19.3\ cm^2$

$$P_A = \left(\frac{405\ N}{19.3\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$
$$= 2.1 \times 10^2\ kPa$$

b. بالتعويض عن $F = F_{g\text{الكلية}} = 405\ N$، $A = A_B = 12.9\ cm^2$

$$P_B = \left(\frac{405\ N}{12.9\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$
$$= 3.14 \times 10^2\ kPa$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن تكون وحدات الضغط هي الباسكال Pa أو $1\ N/m^2 = 1\ Pa$.

مسائل تدريبية

1. يلامس إطار سيارة سطح الأرض بمساحة مستطيلة عرضها 12 cm وطولها 18 cm، فإذا كانت كتلة السيارة 925 kg، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به السيارة في سطح الأرض إذا استقرت ساكنة على إطاراتها الأربعة؟
2. كتلة من الرصاص أبعادها 20.0 cm × 10.0 cm × 5.0 cm تستقر على الأرض على أصغر وجه، فإذا علمت أن كثافة الرصاص $11.8\ g/cm^3$، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به كتلة الرصاص في سطح الأرض؟
3. يمكن أن يصبح الضغط في أثناء الإعصار أقل 15% من الضغط الجوي المعياري، افترض أن الإعصار حدث خارج بـاب طولـه 195 cm وعرضـه 91 cm، فما مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في البـاب، نتيجة هبوطٍ مقدارُه 15% من الضغط الجوي المعياري؟ وفي أي اتجاه تؤثر القوة؟

قوانين الغاز The Gas Laws

عندمـا بدأ العلماء دراسـة الغـازات والضغط، لاحظـوا وجود بعض العلاقـات المثيرة للاهتمـام، وكانت أول علاقة يتم اكتشـافها هي قانون بويل نسـبة للكيميائي والفيزيائي روبرت بويل، أحد أشهر علماء القرن السابع عشر. ينص قانون بويل على أن حجم عينة محـددة من الغاز، يتناسـب عكسـيًّا مع الضغط المؤثـر عليه عند ثبوت درجـة الحرارة، ولأن حاصل ضرب المتغيرات المتناسـبة عكسـيًّا يكون ثابتًا، فيمكـن كتابة قانون بويل على النحو الآتي:

$$PV = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

ويمكن إعادة ترتيب هذه المتغيرات لحل المسألة بالنسبة لضغط أو حجم غاز مجهول. وكما يتضح من **الشكل 3–2**، فإن العلاقة بين ضغط الغاز، وحجمه مهمة جدًّا في رياضة الغوص.

تـم اكتشـاف العلاقة الثانية بعد 100 سـنة تقريبًا من اكتشـاف بويل على يـد العالم جاك شـارلز. لاحظ العالم شـارلز فـي أثناء تبريده للغـاز أن حجمه يتقلص بمقـدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند انخفاض درجة حرارته بمقدار درجة سيليزية واحدة، أي أن العلاقة بيـن حجم الغاز، ودرجـة حرارته علاقة خطية. أراد العالم شـارلز أن يعرف ما إذا كانت هنـاك حـدود دنيا لانخفاض درجات الحرارة، لكنه لم يسـتطع تبريـد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا، كما يحصل في المختبرات الحديثة الآن، ولذلك قام بمد المنحنى

الشكل 3–2 يكون الغاز ذا ضغط مـرتـفـع فـي الأسـطـوانـة المحمولة على ظهر الغواص؛ ويقوم منظِّم بتخفيض هذا الضغط ليتساوى ضغط الغاز الذي يستنشقه الغواص مع ضغط الماء. وتستطيع أن ترى في الصورة، الفقاقيع الخارجة من المنظِّم.

معلومة للمعلم

البارومتر الزئبقي في عام 1643م برهن العالم إيفنجيلستا تورشيللي أن الزئبق يرتفع داخل الأنبوب إلى المستوى نفسه حتى لو كان الأنبوب مائلًا. ولأنه لا يسمح للهواء بالدخول في الأنبوب، فإن الضغط عند قاعدة عمود الزئبق يكون مساويًا للضغط المؤثر بوساطة الهواء المحيط. وأدرك تورشيللي أن باستطاعته قياس الضغط الجوي المؤثر بقياس الارتفاع الذي يصل إليه عمود الزئبق. ولأن ارتفاع عمود الزئبق في الأنبوب يتناسب مع الضغط الجوي فقد استعمل البارومتر الذي يقيس الضغط الجوي باستخدام هذا المبدأ في تحديد تغيرات الطقس.

الخلفية النظرية للمحتوى

استخدام الشكل 3–2

تقدم قوانين الغازات فرصة جيدة لتقوية مهارات تفسير الرسوم البيانية. يشير قانون بويل مثلًا إلى علاقة عكسية بين الضغط والحجم إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة، في حين يشير قانون شارلز إلى علاقة طردية بين الحجم ودرجة الحرارة إذا بقي الضغط ثابتًا. م 2 **بصري–مكاني**

مسائل تدريبية

1. $1.0 \times 10^2\ kPa$
2. $23\ kPa$
3. $2.7 \times 10^4\ N$ تتجه من داخل المنزل إلى خارجه.

عرض سريع

قانون شارلز

الزمن المقترح 5 دقائق.

المواد والأدوات مجفف شعر، بالون مصنوع من البولستر منفوخ جزئيًّا بغاز الهليوم، خيط، جسم صغير.

الخطوات نفذ النشاط في يوم بارد على أن يكون دافئًا نسبيًّا داخل غرفة الصف. اربط الجسم الصغير بالبالون، على أن يطفو البالون دون أن يطير. ثم احمل البالون خارجًا. سيتقلص البالون وينكمش، ويصبح أقل طفوًا. لذا يستقر بالقرب من سطح الأرض تقريبًا. احمل البالون عائدًا به إلى الداخل، ثم اطلب إلى الطلبة توقع ما يحدث له عندما تسخنه بوساطة مجفف الشعر. سيرتفع البالون إلى أعلى في اتجاه السقف ويمكن أن يحمل الجسم الصغير.

تجربة

الضغط

تحذير: على الطلبة أن يكونوا حذرين للحفاظ على التوازن المناسب عند الوقوف والتوازن باستخدام قدم واحدة.

الهدف تحديد الضغط المؤثر عند الوقوف على قدم واحدة، ومقارنة ذلك الضغط بالضغط المؤثر عند استخدام أجسام أخرى.

المواد والأدوات مسطرة مترية، ورقة، قلم رصاص.

النتائج المتوقعة إن مقدار ضغط الطالب أقل كثيرًا من الضغط الجوي.

عينة حساب (الضغط المؤثر بوساطة الطالب):

$$P = F/A = 600\ N / 0.030\ m^2$$

$$= 2 \times 10^4\ Pa$$

التحليل والاستنتاج

4. لأن الحذاء ذا الكعب يوزع الضغط على مساحة صغيرة، فإن الضغط يزداد مقارنة بالضغط المؤثر في حالة الوقوف على حذاء نعله منبسط.

تجربة

الضغط

ما مقدار الضغط الذي تؤثر به عندما تقف على أحدى رجليك؟ اطلب إلى زميلك رسم مخطط لقدمك، ثم استخدم ذلك المخطط لتقدير مساحة قدمك.

1. حدّد وزنك بوحدة النيوتن ومساحة مخطط قدمك بوحدة cm^2.
2. احسب مقدار الضغط.
3. قارن بين الضغط الذي تؤثر به أنت في الأرض والضغط الذي تؤثر به أجسام مختلفة. فمثلاً تستطيع أن تزن كتلة طوبة بناء، ثم تحسب الضغط الذي تؤثر به عندما تستقر على أوجه مختلفة.

التحليل والاستنتاج

4. كيف يؤثر الحذاء ذو الكعب العالي الرفيع في قيمة الضغط الذي يؤثر به شخص في الأرض؟

البياني لبياناته عند درجات الحرارة المنخفضة تلك، فتبين له من ذلك أنه إذا انخفضت درجة الحرارة إلى $-273\ ^\circ C$ فإن حجم الغاز يصبح صفرًا. وسميت درجة الحرارة التي يصبح عندها حجم الغاز يساوي صفرًا بالصفر المطلق، والتي تمثل الآن الصفر بمقياس كلفن الحراري.

تشير التجارب إلى أنه عند ثبوت الضغط، فإن حجم عينة الغاز يتناسب تناسبًا طرديًّا مع درجة حرارتها، وتسمى هذه النتيجة بقانون شارلز، ويمكن صياغة قانون شارلز على النحو التالي:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

إن دمج كل من قانوني بويل وشارلز يربط بين الضغط، ودرجة الحرارة، والحجم لكمية معينة من الغاز المثالي، والتي تقود إلى معادلة تسمى **القانون العام للغازات**.

القانون العام للغازات

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \text{ثابت}$$

لكمية معينة من الغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه مقسومًا على درجة حرارته بوحدة الكلفن يساوي قيمة ثابتة.

ويمكن إختزال القانون العام للغازات إلى قانون بويل عند ثبات درجة الحرارة، ولقانون شارلز عند ثبات الضغط.

قانون الغاز المثالي تستطيع استخدام نظرية الحركة الجزيئية لتكتشف كيف أن الثابت في القانون العام للغازات يعتمد على عدد الجزيئات N. افترض أن حجم الغاز المثالي ودرجة حرارته ثابتان، فإن زيادة عدد الجزيئات يؤدي إلى زيادة عدد التصادمات التي تؤثر بها الجزيئات في الإناء، لذا يزداد الضغط، وفي المقابل فإن تقليل عدد الجزيئات يؤدي إلى تقليل عدد التصادمات، لذا يقل الضغط، كما تستطيع أن تستنتج أن الثابت في معادلة القانون العام للغازات يتناسب تناسبًا طرديًّا مع عدد الجزيئات N.

$$\frac{PV}{T} = kN$$

ويسمى الثابت k بثابت بولتزمان ويساوي $1.38 \times 10^{-23}\ Pa.m^3/K$، وبالطبع فإن N الذي يمثل عدد الجزيئات هو عدد كبير جدًّا، لذلك بدلاً من استخدام N لجأ العلماء إلى استخدام وحدة تسمى المول (mole)، وتُختصر (mol) وتُمثل في المعادلات بالحرف (n)، والمول الواحد يساوي 6.022×10^{23} من الجزيئات، ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو نسبة إلى العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو، ويساوي هذا العدد عدد الجزيئات في عينة من المادة كتلتها تساوي الكتلة المولية(الكتلة الجزيئية) للمادة.

مهن في الحياة اليومية

معلومة للمعلم

الغازات التجارية يُعد إنتاج الغازات وتخزينها ونقلها وتوزيعها من الصناعات المهمة. لذا على المهندسين العاملين في أعمال إمدادات الغازات فهْم مبدأ عمل الأنظمة ذات الضغط العالي، بالإضافة إلى فهم كيمياء المواد الغازية؛ حيث تباع أسطوانات غازات التنفس التي تعد بشكل أساسي خليطًا من N_2 و O_2، للمستشفيات والأطباء ورياضيي الغوص في خزانات ذات ضغط عالٍ. وتنقل الأنابيب الكبيرة الغاز الطبيعي المستخدم في تدفئة المنازل، وفي الصناعات الكيميائية. كما تنقل الشاحنات المعزولة الغاز الطبيعي المُسال عند درجات حرارة منخفضة. وينقل غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يُحدث الفوران في المشروبات الغازية، والذي يستخدم في الكثير من العمليات الكيميائية، وهو في حالته السائلة أو الصلبة، وحتى غاز الهيليوم يُنقل غالبًا وهو في حالته السائلة.

وتستطيع أن تستخدم هذه العلاقة للتحويل بين الكتلة، والعدد n (عدد المولات الموجودة). إن استخدام المولات عوضًا عن عدد الجزيئات يغير ثابت بولتزمان، ويختصر هذا الثابت بالحرف R، وقيمته تساوي 8.31 $Pa.m^3/mol.K$. وبإعادة الترتيب تستطيع كتابة **قانون الغاز المثالي** بأكثر الصيغ شيوعًا.

قانون الغاز المثالي $PV = nRT$

للغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه يساوي عدد المولات مضروبًا في الثابت R ودرجة حرارته بوحدة كلفن.

يتوقع قانون الغاز المثالي عمليًّا سلوك الغازات بصورة جيدة، ما عدا الحالات التي تكون تحت ظروف الضغط العالي أو درجات الحرارة المنخفضة.

مثال 3

قوانين الغازات عينة من غاز الأرجون حجمها 20.0 L، ودرجة حرارتها 273 K، عند ضغط جوي مقداره 101.3 kPa، فإذا انخفضت درجة حرارتها حتى 120 K، وازداد الضغط حتى 145 kPa، أوجد:

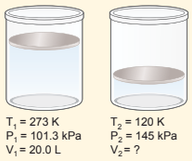
a. الحجم الجديد لعينة الأرجون؟

b. عدد مولات ذرات الأرجون في العينة (n).

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح الحالة بالرسم.
- حدّد الشروط في وعاء غاز الأرجون قبل التغير في درجة الحرارة والضغط وبعده.

المعلوم	المجهول
$V_1 = 20.0\ L,\ P_1 = 101.3\ kPa$	$V_2 = ?$
$T_1 = 273\ K,\ P_2 = 145\ kPa$	$n = ?$
$T_2 = 120\ K$	
$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.K$	



2 إيجاد الكميات المجهولة

a. استخدم القانون العام للغازات وحل المعادلة بالنسبة للحجم V_2.

بالتعويض عن $P_1 = 101.3\ kPa,\ P_2 = 145\ kPa$

$V_1 = 20.0\ L,\ T_1 = 273\ K,\ T_2 = 120\ K$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T1}$$

$$= \frac{(101.3\ KPa)\ (20.0\ L)\ (120\ K)}{(145\ KPa)\ (273\ K)} = 6.1\ L$$

تقوية

نشاط قانون الغاز المثالي اطلب إلى الطلبة التحقق من الوحدات في معادلة الغاز المثالي، وذلك بحل المعادلات أولاً بدلالة الثابت k ($Pa.m^3/K$) وبدلالة R ($Pa.m^3/mol.K$). ثم اطلب إليهم تعويض الوحدات المناسبة للكميات التالية: P,V,T,N,n في المعادلتين التاليتين:

$k = PV/NT$

$R = PV/nT$

م 2 منطقي-رياضي

مثال صفي

سؤال أسطوانة تخزين غاز الأكسجين -المخصص للمرضى الذين يعانون من صعوبة في التنفس- حجمها 4.0 L، وتحوي غازًا ضغطه 1.3×10^7 Pa عند درجة حرارة 300.0 K، وتزود الأسطوانة المريض بالغاز حتى يستنشقه عند ضغط يعادل الضغط الجوي. ما حجم الأكسجين المعطى للمريض عند ضغط يعادل الضغط الجوي؟ وما عدد مولات الأكسجين في الأسطوانة؟

الجواب لإيجاد الحجم استخدم قانون بويل أو القانون العام للغازات عند $T_1 = T_2$، وحل المعادلة بدلالة V_2.

$$(P_1V_1)/T_1=(P_2V_2)/T_2$$

وبما أن $T_1=T_2$ فإن $V_2= (P_1V_1) / P_2$

$$= (1.3 \times 10^7 \text{ Pa})(4.0 \text{ L})/ (1.013 \times 10^5 \text{ Pa}) = 510 \text{ L}$$

ولإيجاد عدد المولات استخدم قانون الغاز المثالي $PV=nRT$. وحل المعادلة لحساب n.

$$n = (P_1V_1) /RT_1$$

$$= (1.3 \times 10^7 \text{ Pa})(4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3) /(8.31 \text{ Pa.m}^3 \text{/mol.K})(300.0 \text{ K})$$

$$n = 21 \text{ mol.}$$

مسائل تدريبية

4. 3.4 m^3
5. 5.1×10^2 g
6. 2.4×10^2 kPa

نشاط

مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلّم

قانون الغاز المثالي يمكن مساعدة بعض الطلبة بالعمل من خلال برنامج محاكاة حاسوبي حول قانون الغاز المثالي الذي يُظهر حركة جزيئات الغاز، ودرجة الحرارة، والضغط، عندما يتغير حجم وعاء الغاز. إن برامج المحاكاة تلك متوافرة في صورة مجموعات تجارية. أو متوافرة في الإنترنت على هيئة صور ورسوم متحركة والتي يمكن تحميلها عبر الإنترنت، ثم تشغيلها. **م 1 بصري- مكاني**

b. استخدم قانون الغاز المثالي وحل المعادلة لحساب n

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

بالتعويض عن $V=0.0200 \text{m}^3$ و $P = 101.3\times10^3$ Pa و $R=8.31 \text{ Pa.m}^3 \text{/mol.K}$ و $T=273$ K

$$n= \frac{(101.3\times10^3 \text{ Pa})(0.0200 \text{ m}^3)}{(8.31 \text{ Pa.m}^3\text{/mol.K})(273 \text{ K})} =0.843 \text{ mol}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الحجم V_2 بوحدة اللترات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن التغير في الحجم يتفق مع الزيادة في الضغط والانخفاض في درجة الحرارة.

مسائل تدريبية

4. يُستخدم خزان من غاز الهيليوم ضغطه 15.5×10^6 Pa، ودرجة حرارته 293 K، لنفخ بالون على صورة دمية ، فإذا كان حجم الخزان 0.020 m^3، فما حجم البالون، إذا امتلأ عند 1.00 ضغط جوي، ودرجة حرارة 323 K؟
5. ما مقدار كتلة غاز الهيليوم في المسألة السابقة، إذا علمت أن الكتلة المولية لغاز الهيليوم 4.00 g /mol؟
6. يحتوي خزان على 200.0 L من غاز الهيدروجين درجة حرارته 0.0 °C، ومحفوظ عند ضغط مقداره 156 kPa، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 95 °C، وانخفض الحجم ليصبح 175 L، فما الضغط الجديد للغاز؟

التمدد الحراري Thermal Expansion

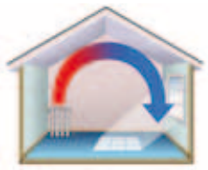
لعلك اكتشفت بعد تطبيق القانون العام للغازات، أن الغازات تتمدّد كلّما ارتفعت درجة حرارتها. فعندما تسخن المادة في حالاتها الصلبة، والسائلة، والغازية تصبح أقل كثافة، وتتمدّد لتملأ حيزًا أكبر. وتسمى هذه الخاصية **التمدد الحراري**، ولها عدة تطبيقات مهمة، منها دوران الهواء في الغرفة.

عندما يُسخّن الهواء الملامس لأرضية الغرفة، فإن قوة الجاذبية تسحب الهواء البارد الأكثر كثافة والملامس لسقف الغرفة إلى أسفل، فيدفع بدوره الهواء الأكثر سخونة إلى أعلى. ويُسمى دوران الهواء في الغرفة تيار الحمل. انظر **الشكل 4–2** الذي يوضح تيارات الحمل في الغرفة. وتستطيع أن تشاهد أيضًا تيارات الحمل في وعاء ماء ساخن، دون درجة الغليان؛ فعندما يسخّن الوعاء من القاع فإن الماء الأبرد، ذا الكثافة الكبرى يهبط إلى أسفل، حيث يسخن، ثم يُدفع إلى أعلى بوساطة تدفق الماء الأبرد من أعلى.

وعندما تتغير درجة الحرارة بصورة متساوية، تتمدّد السوائل بصورة أكبر كثيرًا من المواد الصلبة، ولكن ليس بالقدر الذي تتمدّد به الغازات.

لماذا يطفو الجليد؟ من المعروف أن المواد تتمدّد عند تسخينها، فقد تتوقع نتيجة لذلك أن الجليد أكثر كثافة من الماء، وفي ضوء توقعاتك لابد أن ينغمر الجليد في الماء! لكن الحقيقة أنه عند رفع درجة حرارة الماء من 0 °C إلى 4 °C فإنه يتقلص بدلاً من أن يتمدد، وذلك بسبب تزايد قوى الترابط بين جزيئات الماء، وانهيار بلورات الجليد وضمورها. لكن بمجرد أن ترتفع درجة حرارة الماء فوق 4 °C يتزايد حجمه بسبب تزايد الحركة الجزيئية، شأنه في ذلك شأن بقية المواد، والنتيجة أن الماء يكون أكبر كثافة عند 4 °C، لذا يطفو الجليد فوق الماء. وهذه الحقيقة مهمة جدًّا في حياتنا، وفي البيئة من حولنا؛ فلو كان الجليد ينغمر تحت الماء لبدأ تجمد البحيرات عند قيعانها بدلاً من سطوحها، ولما انصهرت العديد من البحيرات تمامًا في فصل الصيف.

الشكل 4–2 تستخدم تيارات الحمل الحراري في التدفئة، إذ يرتفع الهواء الدافئ الأقل كثافة إلى أعلى ثم يبرد، وينخفض الهواء البارد الأعلى كثافة.



استخدام النماذج

رقائق الجليد اسأل الطلبة لماذا يستطيعون تمرير أيديهم خلال الماء ولا يستطيعون ذلك خلال الجليد. عندما يتجمد الماء يصبح صلبًا. ووضح لهم أن للماء خصائص غير عادية؛ فمعظم المواد الصلبة مثلًا تتمدد عندما تنصهر، وبذلك تصبح كثافتها أقل، أما الماء فيتمدد عندما يتجمد. كما يطفو الجليد للسبب نفسه الذي يؤدي إلى تكسره إلى رقائق صغيرة، ألا وهو تركيبه الجزيئي. ولتوضيح ذلك احصل على صندوق من كرات الفلين البلاستيكية الصغيرة، حيث تمثل كل واحدة منها جزيء ماء. ثم اسكب الكرات على سطح طاولة، فستبدو كأنها تتدفق. وأشر للطلبة إلى تركيب الشبكة البلورية الموضحة في **الشكل 18b–2**. اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات ثنائية لتوصيل الكرات الصغيرة (جزيئات الماء) مستخدمين نكّاشات الأسنان، بحيث يكوّنون تركيبًا بلوريًّا مشابهًا لنموذج مكعب الجليد. من المستحيل الآن سكب جزيئات الماء. ثم اطلب إليهم المقارنة بين نماذجهم وتبادلها فيما بينهم. واسألهم إذا كان بإمكانهم تكسير نموذج مكعب الجليد إلى رقائق. م 1 **حركي**

معلومة للمعلم — الخلفية النظرية للمحتوى

اشتعال الشموع عندما يكون الوزن الظاهري صفرًا يختلف الاحتراق في الفضاء عن الاحتراق على الأرض. فشكل لهب الشمعة يشبه شكل القطرات الساقطة، وهو ينتج عن الجاذبية الأرضية التي تنشئ تيارات حمل طفوية. أما عندما تكون الجاذبية قليلة جدًّا، حيث يكون الوزن الظاهري يساوي صفرًا فإنه بدلاً من مشاهدة لهب أزرق قليل الكثافة بالقرب من الفتيلة التي يعلوها لهب أبيض مصفر يسطع إلى أعلى، سوف ترى قبة من اللهب الأزرق الكثيف. فكّر في لون اللهب الصافي جدًّا من دون تأثير الجاذبية، عندما لا توجد تيارات حمل لحمل الغبار إلى اللهب؛ لأن الشوائب هي التي تجعل الشمعة تشتعل باللون الأصفر.

استخدام التشابه

الحالتـان الصلبة والسائلة للماء اسـأل الطلبة: أيهـما أكـبر حجـما الجليـد أم المـاء؟ الجليـد، واطلب إليهـم توضيح إجاباتهم بدلالة الجزيئات. كما يمكن اسـتخدام التشابه التالي لتفسـير ذلك: اسأل الطلبة: لكم شـخص يتسـع المصعـد؟ وعندمـا يتفقون على إجابة اسـألهم: لكم شـخص يتسـع المصعد إذا كان ذراعـا كل منهـم تمتـدان إلى جانبـي جسـمه وهمـا مثبتتـان بجبيرتين من الجبس؟ وفـسّر الحالة الصلبة (الأشـخاص ثابتـون دون حـراك) والحالة السـائلة للماء (الأشـخاص غير ثابتين)، بدلالة هذا التشابه.

م 2

البلازما Plasma

إذا سـخّنت مادة صلبة فإنها تنصهر لتكوّن سـائلاً. ومع استمرار التسخين يتحول السائل إلى غاز، فماذا يحدث إذا اسـتمر تسـخين الغاز؟ تصبح التصادمات بين الجزيئات كبيرة إلى حدّ يكفي لانتزاع الإلكترونات من الذرات، وتنتج أيونات موجبة الشحنة. إن الحالة شـبه الغازية للإلكترونات السالبة الشـحنة، والأيونات الموجبة الشحنة تسمى **البلازما**. وتعد البلازما حالة أخرى من حالات المادة.

قد يبدو أن البلازما حالة غير شـائعة، رغم أن معظم الموادّ في الكون في حالة البلازما؛ فمعظـم مكونـات النجوم في حالـة البلازما، نظـرًا لدرجة حرارتها العاليـة، كما أن أكثر المـواد الموجودة بين النجوم والمجرات تتكون من ذرات الهيدروجين الفعّالة النشـطة التي لا تحتوي على إلكترونات، ويكون غاز الهيدروجين في حالة البلازما.

والفـرق المبدئي بيـن الغاز، والبلازمـا، أن البلازما لها قدرة علـى التوصيل الكهربائي، نظـرًا إلـى وجودهـا فـي الحالـة الأيونية، في حيـن أن الغـازات ليـس لها هـذه القدرة، والصواعق المضيئة تكون أيضًا في حالة البلازما. وإشارات النيون كما في **الشكل 5–2** أعلاه، والمصابيح الكهربائية المتوهجة، ومصابيح غاز الصوديوم تحتوي جميعها على البلازما المتوهجة.

الشكل 5–2 تنتج التأثيرات الضوئية الملونة في إشارات النيون عن البلازما المضيئة المتكوّنة في الأنابيب الزجاجية.

2-1 مراجعة

7. **علم الأرصاد الجوية** يتكون منطاد الطقس الذي يستخدمه الراصد الجوي من كيس مرن يسمح للغاز في داخله بالتمدد بحرية. إذا كان المنطاد يحتوي على $25.0\ m^3$ من غاز الهيليوم، وأطلق من منطقة عند مستوى سطح البحر، فما حجم الغاز عندما يصل المنطاد ارتفاع 2100 m، حيث الضغط عند ذلك الارتفاع $0.82 \times 10^5\ Pa$؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة لا تتغير.

8. **انضغاط الغاز** تحصر آلة احتراق داخلي في محرك، كمية من الهواء حجمها $0.0021\ m^3$ عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة 303 K، ثم تضغط الهواء بسرعة ليصل إلى ضغط مقداره $20.1 \times 10^5\ Pa$ وحجم $0.0003\ m^3$، ما درجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط؟

9. **الكثافة ودرجة الحرارة** إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية للماء 0 °C، فكيف تتغير كثافة الماء إذا سُخّن إلى 4 °C، وإلى 8 °C؟

10. **الكتلة المولية المعيارية** ما حجم 1.00 mol من الغاز عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 273 K؟

11. **الهواء في الثلاجة** ما عدد مولات الهواء الموجودة في ثلاجة سعتها $0.635\ m^3$ عند 2.00 °C؟ وما مقدار كتلة الهواء في ثلاجة، إذا كان متوسط الكتلة المولية للهواء 29 g/mol؟

12. **التفكير الناقد** الجزيئات المكونة لغاز الهيليوم صغيرة جدًّا، مقارنة بالجزيئات المكونة لغاز ثاني أكسيد الكربون. ماذا يمكن أن تستنتج حول عدد الجزيئات في عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 2.0 L، مقارنة بعدد الجزيئات في عينة من غاز الهيليوم حجمها 2.0 L، إذا تساوت العينتان في درجة الحرارة والضغط؟

2-1 مراجعة

7. $3.1 \times 10^1\ m^3$

8. $9 \times 10^2\ K$

9. عندما يسخن الماء من 0 °C تزداد كثافته حتى تصل إلى قيمتها العظمى عند 4 °C. وتتناقص كثافة الماء عند الاستمرار في التسخين حتى 8 °C.

10. $0.0224\ m^3$

11. $8.1 \times 10^2\ g$; $28.1\ mol$

12. هناك عددان متساويان من الجسيمات في العينتين. في الغاز المثالي لا يؤثر حجم الجسيمات في حجم الغاز أو ضغطه.

3. التقويم

التحقق من الفهم

تقدير الضغط اطلب إلى كل طالب تقدير المساحة السطحية لجسمه غالبًا ستكون بين $1\ m^2$ و $2\ m^2$. ثم اطلب إليهم حساب القوة الكلية الناتجة عن ضغط الهواء المؤثرة في سطح الجسم. ثم اسألهم: لماذا لا ينكمش جسم الإنسان تحت تأثير مثل هذه القوة الكبيرة؟ في جسم كل شخص هناك قوة مساوية تؤثر إلى الخارج. م 2

التوسع

العيش في الفضاء يرتدِي رواد الفضاء بدلات فضاء خاصة على القمر بسبب عدم وجود غلاف جوي هناك. اسأل الطلبة عما إذا كان بمقدور رائد الفضاء السير على القمر مستخدمًا الأدوات الخاصة بتنفس الهواء فقط التي يستخدمها الغطاسون. ثم اطلب إليهم توضيح إجاباتهم. لا، ستزودهم مثل هذه الأدوات بالأكسجين فقط. ولأن سطح القمر يشبه الفراغ، لذا فإن رواد الفضاء بحاجة إلى أن يحاطوا ببيئة فيها ضغط. حيث تحافظ بدلة رائد الفضاء على هذا المحيط المضغوط جزئيًّا، حتى لا تصبح مستويات الأكسجين في الدم منخفضة على نحو خطير. وإذا كان الضغط منخفضًا أو معدومًا فسوف يتحرر الأكسجين المذاب في الدم، كتحرر فقاقيع الهواء من عبوّة الماء المشبع بثاني أكسيد الكربون عند فتح العبوّة. م 3

2-2 القوى داخل السوائل

1. التركيز

نشاط محفز

اللزوجة ودرجة الحرارة اسكب مائعًا كثيفًا ببطء كسائل غسيل الشعر أو الدبس مثلًا في إناء مختبر فارغ، ثم بيّن للطلبة أن هناك عاملاً واحدًا يؤثر في كيفية حركة السوائل، وهو اللزوجة أو مقاومة التدفق. تحدد قوى التجاذب بين الجزيئات مدى سهولة حركتها بعضها فوق بعض. كما تسبب هذه القوى (بين الجزيئية) أيضًا التوتر السطحي في السائل. لذا اطلب إلى الطلبة وصف كيفية حركة المائع عند سكبه. يتحرك ببطء، كما يلتصق أيضًا بسطح إناء المختبر. وأشر إلى أن درجة الحرارة تؤثر في اللزوجة. إن صعوبة انسكاب العسل والدبس في الأجواء الباردة تعود إلى أن اللزوجة تزداد في الطقس البارد. 1م بصري – مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

نماذج المواد ترتبط الطاقة الحرارية للمادة مع الطاقة الحركية للجسيمات التي تكوّنها (الفصل السابق). لذا قم بمراجعة وصف جسيمات الغاز التي تتحرك بحرية، ونموذج المادة الصلبة المتمثل في الجسيمات المتصلة معًا بوساطة النوابض.

2. التدريس

التفكير الناقد

قوى التماسك واللزوجة تنتج اللزوجة عن قوى التماسك في المائع. اسأل الطلبة إذا كان من الممكن وجود قوى تماسك في الغاز. نعم للهواء – وهو خليط الغازات الأكثر شيوعًا – لزوجة قليلة جدًّا، كما أن قوى التماسك بين جزيئاته صغيرة جدًّا. اسأل الطلبة: كيف يمكن ملاحظة لزوجة الهواء؟ يتضح ذلك في نفق الهواء، حيث يجعل الدخان حركة الهواء مرئية وواضحة. 2م منطقي – رياضي

الأهداف

- **توضح** كيف تسبب قوى التماسك التوترَ السطحي.
- **توضح** كيف تسبب قوى التلاصق الخاصيةَ الشعرية.
- **تناقش** التبريد الناجم عن التبخر ودور التكاثف في تكوّن السحب.

المفردات

قوى التماسك

قوى التلاصق

تعاملنا مع السوائل، حتى الآن، باعتبارها سوائل مثالية تمتاز جميع جزيئاتها بحرية الحركة، والانزلاق بعضها فوق بعض. ولكن خصوصية الماء في تمدّده بين درجتي حرارة 0°C و4°C تبين أنه في حالة السوائل الحقيقية تؤثر الجزيئات بعضها في بعض بقوى تجاذب كهرومغناطيسية تسمى **قوى التماسك**، وتؤثر هذه القوى وغيرها في سلوك الموائع.

قوى التماسك Cohesive Forces

هل سبق أن لاحظت أن قطرات الندى على خيوط العنكبوت –وكذلك قطرات الزيت الساقطة– تتخذ شكلاً كرويًّا تقريبًا؟ ماذا يحدث عندما يسقط المطر على سيارة مغسولة حديثًا ومشمعة؟ تتكوّر قطرات الماء وتتخذ أشكالًا كرويةً، كما في شبكة العنكبوت في **الشكل 6–2**.

تعد جميع الظواهر السابقة أمثلة على التوتر السطحي، وهي الخاصية المتمثلة في ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة. وخاصية التوتر السطحي ناجمة عن قوى التماسك بين جزيئات المائع.

لاحظ أن جميع جزيئات السائل الموجودة تحت سطحه، تتأثر بقوى جذب متساوية المقدار، تشدها إلى جميع الاتجاهات بوساطة الجزيئات المجاورة لها، كما تنجذب أيضًا إلى الجزيئات المكونة لجدار الإناء الذي يحتوي السائل كما في **الشكل 7a–2**، ونتيجة لذلك ليس هناك قوة محصلة، تؤثر في أي من الجزيئات تحت سطح السائل. أما عند السطح فتنجذب الجزيئات إلى أسفل وفي اتجاه الجوانب، ولكن ليس إلى أعلى، لذا يكون هناك قوة محصلة إلى أسفل تؤثر في الطبقات العلوية، مما يؤدي إلى ضغط الطبقة العلوية قليلاً. وتعمل الطبقة السطحية في السائل كغشاء مطاطي مشدود، قوي بما يكفي لحمل الأجسام الخفيفة جدًّا، ومنها صرصور الماء كما في **الشكل 7b–2**. ويكون التوتر السطحي للماء كبيرًا بحيث يحمل مشبك ورق فولاذيًّا على الرغم من أن كثافة الفولاذ أكبر تسع مرات من كثافة الماء. جرّب ذلك.

لماذا يكوّن التوتر السطحي قطرات كروية؟ تدفع القوة المحصلة الجزيئات السطحية بحيث يصبح السطح صغيرًا قدر الإمكان، كما أن الشكل الكروي هو الشكل الذي له أقل مساحة سطح لحجم معين. وكلما زاد التوتر السطحي للسائل زادت ممانعة السائل لتحطم سطحه، فجزيئات سائل الزئبق مثلاً لها قوة تماسك أكبر من قوة تماسك جزيئات الماء، ولهذا يشكّل الزئبق السائل قطرات كروية حتى عندما يوضع على سطح مصقول. وفي المقابل، بعض السوائل – ومنها الكحول والإيثر – لها قوى تماسك ضعيفة، ولذلك تتسطح (لا تأخذ شكلاً كرويًّا) قطراتها على السطح المصقول.

الشكل 6–2 تصطف قطرات صغيرة من مياه الأمطار على شبكة العنكبوت لأن قطرات الماء لها خاصية التوتر السطحي.

اللزوجة تسبب قوى التماسك، والتصادمات بين جزيئات المائع غير المثالي احتكاكًا داخليًّا يعمل على إبطاء تدفق السائل، وتبديد الطاقة الميكانيكية. وتعد لزوجة السائل مقياسًا للاحتكاك الداخلي للسائل. ولزوجة الماء منخفضة، في حين أن لزوجة زيت المحرك مرتفعة؛ إذ يتدفق ببطء على الأجزاء المعدنية للمحرك، فيقلل من احتكاكها بعضها ببعض.

وتعد اللابة والصخور المنصهرة التي تتدفق من البركان وتتصاعد نحو سطح الأرض واحدة من أشد الموائع لزوجة، ولأنواع اللابة المتعددة لزوجات تتباين وفق تركيبها ودرجة حرارتها.

الربط مع علم الأرض

الشكل 7–2 تنجذب الجزيئات في داخل السائل إلى كل الاتجاهات (**a**). يتمكن صرصور الماء من السير على سطح الماء لأن جزيئات الماء عند السطح لها قوة تجاذب محصلة في أتجاه الداخل تولد التوتر السطحي (**b**).

قوى التلاصق Adhesive Forces

قوى التلاصق تشبه قوى التماسك؛ فهي عبارة عن قوى تجاذب كهرومغناطيسية، تؤثر بين جزيئات مواد مختلفة. فإذا وضع أنبوب زجاجي نصف قطره الداخلي صغير في الماء فسيرتفع الماء داخل الأنبوب؛ لأن قوى التلاصق بين سطح الزجاج، وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء، مما يؤدي إلى ظهور الخاصية الشعرية.

ويستمرّ الماء بفعل هذه الخاصية في الارتفاع حتى يتوازن وزن الماء الذي يرتفع مع قوة التلاصق الكلية بين سطح الزجاج، وجزيئات الماء. وإذا ازداد نصف قطر الأنبوب، فإن كلًّا من حجم الماء، ووزنه سيتزايد طرديًّا أسرع من تزايد مساحة سطح الأنبوب. وعليه، فسيرتفع الماء في الأنبوب الضيّق أكثر من ارتفاعه في الأنبوب الأكثر اتساعًا.

إن الخاصية الشعرية هي التي تسبب ارتفاع الوقود في فتيلة القنديل، كما تسبب أيضًا ارتفاع الماء من أسفل التربة إلى أعلاها، وارتفاعه أيضًا في جذور النبات.

عندما يوضع أنبوب في وعاء من الماء يرتفع سطح الماء على السطح الخارجي للأنبوب كما في **الشكل 8a–2**؛ لأن قوى التلاصق بين جزيئات الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء. وفي المقابل، فإن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق، وسطح الزجاج، لذا لا يرتفع الزئبق في الأنبوب، وتسبب هذه القوى أيضًا انخفاضًا في سطح الزئبق حول الأنبوب الزجاجي كما في **الشكل 8b–2**.

استخدام الشكل 7–2

وضح للطلبة كيف يقف صرصور الماء بأرجله على سطح الماء كما لو كان سطح الماء مادة لينة مثل شبكة قفز البهلوان. يؤثر التوتر السطحي بقوة سحب موازية لسطح الماء، ولا يؤثر بقوة دفع إلى أعلى. تقاوم بعض أنواع الحشرات ـ ومنها البق مثلا ـ صرصور الماء؛ إذ تنثر تلك الحشرات مواد كيميائية على سطح الماء تؤدي إلى تدمير خاصية التوتر السطحي للماء. لذا لا يستطيع صرصور الماء المشي على سطح الماء.

تطبيق الفيزياء

إن قوة الخاصية الشعرية التي تدفع الماء إلى أعلى داخل الشجرة هي نفسها القوة التي تسمح للنشافة الورقية بامتصاص الماء. ولتوضيح ذلك ضع إحدى نهايتي شريط طويل من منشفة ورقية في وعاء مختبر فيه ماء، ولاحظ كيف ينتقل الماء إلى أعلى.

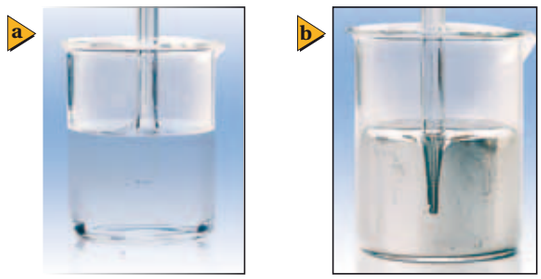
تطوير المفهوم

التوتر السطحي تحدّ الطلبة واسألهم بعد أن تجعل مشبك ورق يطفو على سطح الماء: ماذا يحدث إذا جعلوا قطعة صابون تلامس سطح الماء؟ ستنهار خاصية التوتر السطحي. ويغرق مشبك الورق. م1 حركي

المناقشة

سؤال نستخدم الحبر يوميًّا للكتابة على أنواع مختلفة من السطوح. اسأل الطلبة الأسئلة التالية: هل لأنواع الحبر جميعها الخصائص نفسها؟ وما الخصائص المرغوب فيها لأنواع الحبر المستخدم في أقلام الحبر الجاف، والأقلام ذات الرأس المصنوع من اللباد وفي الطابعات؟ وهل من المناسب لكل أنواع السطوح استخدام نوع واحد من الحبر؟

الجواب ستختلف الإجابات. الحبر المستخدم في الأقلام الجافة لزج، لذا يمكنه دحرجة الكرة الصغيرة. وينبغي أن يكون الحبر المستخدم في الطابعة أقل لزوجة، ولكن يجب أن يُمكِّنه توتره السطحي من تكوين نقاط صغيرة. وقد ينتشر الحبر كثيرًا بوساطة الخاصية الشعرية عند استخدام بعض أنواع الورق. م1 منطقي - رياضي



الشكل 8–2 يصعد الماء على جدار الأنبوب الزجاجي من الخارج (a)، في حين ينخفض سطح الزئبق حول الأنبوب (b)، إن قوى التجاذب بين ذرات الزئبق أقوى من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج.

تطبيق الفيزياء

النباتات تسمح قوى التماسك في السوائل بتمددها كما لو كانت شريطًا مطاطيًّا مرنًا. ومن الصعب تحقيق حالة التمدد هذه في المختبر ولكنها شائعة في النباتات.

وتحفظ قوى التماسك بين جزيئات الماء من أن ينقطع اتصاله بعضه ببعض، أو يشكل فقاقيع، عندما ينتقل إلى الأوراق عبر أنسجة النبات. ولولا هذه القوى ما تمكنت الأشجار من النمو أكثر من 10 أمتار.

التبخر والتكاثف Evaporation and Condensation

لماذا يختفي الماء من بركة صغيرة في يوم حار وجاف؟ تتحرك جزيئات السائل بسرعات عشوائية، كما تعلمت سابقًا. وإذا أصبحت سرعة الجزيئات المتحركة كبيرة فإنها تنفذ خلال الطبقة السطحية، فإنها سَتنفذ من السائل، لكن وجود قوة تماسك محصلة إلى أسفل على السطح يعيق ذلك، لذا لا تفلت من السطح إلا الجزيئات التي لها طاقة حركية كبيرة، ويسمى انفلات الجزيئات من سطح السائل بالتبخر.

التبريد بالتبخر لعملية التبخر أثر في خفض الحرارة (التبريد)؛ ففي الأيام الحارة يفرز الجسم عرقًا، وتبخر العرق يجعلك تشعر بالبرودة. ويؤدي التبخر في بركة الماء الصغيرة إلى تبريد الماء المتبقي. وكلما كانت الطاقة الحركية لجزيء ما أكبر من متوسط الطاقة الحركية لمجموع الجزيئات كانت فرصته في التحرر من الماء أكبر. وعند تحرره ينخفض متوسط الطاقة الحركية للجزيئات المتبقية. وكما تعلمت سابقًا، فإن الانخفاض في متوسط الطاقة الحركية يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة. وتستطيع أن تختبر أثر التبريد عند سكب كمية قليلة من الكحول، وفركها براحة يديك؛ إذ تتبخر جزيئات الكحول بسهولة لأن قوى التماسك بينها قليلة جدًّا. وعندما تتبخر الجزيئات يمكن ملاحظة أثر التبريد، وتُسمى السوائل التي تتبخر بسرعة السوائل المتطايرة.

لماذا تشعر أن الجو في الأيام الرطبة أكثر دفئًا منه في الأيام الجافة عند درجة الحرارة نفسها؟ في اليوم الرطب تكون كمية بخار الماء في الهواء مرتفعة، بسبب وجود الكثير من جزيئات الماء في الهواء، ويقل تبعًا لذلك احتمال تبخر جزيئات الماء في العرق. ويعد التعرق ميكانيكية التبريد الرئيسة في جسم الإنسان، لذا فإن الجسم لايكون قادرًا على تبريد نفسه بصورة فعّالة في اليوم الرطب.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

تطبيقات اللزوجة تُعد اللزوجة من خصائص الموائع المهمة، بدءًا من زيوت المحركات وانتهاءً بالطلاء ومستحضرات التجميل. ففي زيت المحرك تتحكم اللزوجة في تدفق الزيت الذي يستخدم لتقليل الاحتكاك الناشئ عن انزلاق السطوح بعضها فوق بعض. فإذا كان الزيت لزجًا بدرجة كبيرة فسوف يسبب التصاق السطوح بعضها ببعض، أما إذا كانت لزوجته قليلة فسوف يتدفق مبتعدًا من بين السطوح. لذا تصمم زيوت المحركات الحديثة للمحافظة على اللزوجة المناسبة في الأيام الباردة كما في الأيام الحارة على حد سواء. ومن الممكن أن يصبح الهيليوم بحالة سائلة وذا لزوجة تساوي صفرًا عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا. ويتسلق هذا المائع المميز بسرعة جدران الوعاء الذي يحويه وينساب بعيدًا. لذا اطلب إلى الطلبة إجراء بحث حول كيفية قياس اللزوجة وابتكار طريقة لمقارنة لزوجة السوائل مثل: زيت المحرك، والزيوت النباتية، وشامبو غسيل الشعر، والماء. م2 حركي

إن جزيئات السائل التي تبخرت في الهواء تستطيع العودة أيضًا إلى الحالة السائلة إذا انخفضت طاقتها الحركية أو درجة حرارتها، وتسمى هذه العملية التكاثف.

ماذا يحدث عندما تحمل كأسًا باردة في منطقة حارة ورطبة؟ سيُغطى السطح الخارجي للكأس بالماء المتكاثف، وستتحرك جزيئات الماء عشوائيًّا في الهواء المحيط بالكأس وترتطم بالسطح البارد، وإذا فقدت طاقة كافية فإن قوى التماسك تصبح كبيرة إلى درجة تمنعها من الإفلات.

يحتوي الهواء الواقع فوق أي مسطح مائي – كما يوضح **الشكل 9–2** – على بخار ماء؛ فهو إذن ماء في الحالة الغازية. وإذا انخفضت درجة الحرارة، يتكاثف بخار الماء حول جزيئات الغبار المتناهية في الصغر الموجودة في الهواء، ويكوّن قطيرات من الماء قطرها 0.01 mm. وتسمى السحابة المتكوّنة من هذه القطيرات الضباب. ويتكون الضباب غالبًا عندما يبرد الهواء الرطب، بوساطة سطح الأرض البارد. ويمكن أن يتكون الضباب داخل المنزل؛ فعندما تفتح زجاجة مياه غازي يحدث انخفاض مفاجئ في الضغط يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الغاز في الزجاجة، مما يُكثّف بخار الماء المذاب في ذلك الغاز.

الشكل 9–2 يرتفع الهواء الدافئ والرطب القريب من سطح الأرض حتى يصل إلى ارتفاع تكون درجة الحرارة عنده مساوية لدرجة تكاثف بخار الماء، فتتشكل الغيوم عند هذا الارتفاع.

2-2 مراجعة

13. **التبخر والتبريد** في الماضي، عندما يصاب طفل بالحمى كان الطبيب يقترح أن يُمسح الطفل بقطعة إسفنج مبللة بالكحول. كيف كان هذا الإجراء يساعد في خفض درجة حرارة الطفل؟
14. **التوتر السطحي** لمشبك الورق كثافة أكبر من كثافة الماء، ومع ذلك يمكن أن يطفو على سطح الماء. فما الخطوات التي يجب أن تتبعها لتحقيق ذلك؟ وضح إجابتك.
15. **التلاصق والتماسك** وضح لماذا يلتصق الكحول بسطح الأنبوب الزجاجي في حين لا يلتصق الزئبق.
16. **الطفو** كيف يمكن لمشبك الورق في المسألة 14 ألا يطفو؟
17. **التفكير الناقد** تجلس فاطمة في يوم حار ورطب في باحة منزلها، وتحمل كأسًا من الماء البارد، وكان السطح الخارجي للكأس مغطى بطبقة من الماء، فاعتقدت أختها أن الماء يتسرب من خلال الزجاج من الداخل إلى الخارج. اقترح تجربة يمكن لفاطمة أن تجريها لأختها لتوضح من أين يأتي الماء.

2-2 مراجعة

13. بما أن الكحول سريع التبخر يمكن ملاحظة التبريد الناتج عن تبخره بسهولة.
14. ينبغي أن يوضع مشبك الورق بحذر وبشكل مستو على سطح الماء؛ فهذا من شأنه تقليل الوزن لكل وحدة مساحة على سطح الماء الذي سيستقر عليه مشبك الورق.
15. قوة تلاصق الكحول بالزجاج أكبر كثيرًا من قوة تلاصق الزئبق بالزجاج. كما أن قوى التماسك للزئبق أقوى من قوة التصاقه بالزجاج.
16. إذا اخترق مشبك الورق سطح الماء فإنه يغطس.
17. قد تزن فاطمة الكأس قبل تبريدها في الثلاجة، ثم تخرجها من الثلاجة وتدع الرطوبة تتجمع على سطحها الخارجي، ثم تزنها مرة أخرى.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

التبخر ودرجة الحرارة يعتقد بعض الطلبة أن الماء يجب أن يغلي حتى تتغير حالته من السيولة إلى الغازية. لذا اسأل الطلبة: هل يمكن أن تتغير حالة الماء من السيولة إلى الغازية عند درجة حرارة أقل من درجة غليانه 100 °C؟ نعم ضع وعاءً مسطحًا يحوي ماء على سطح الطاولة طوال الليل، ودع الطلبة يلاحظوا الدليل على التبخر في اليوم التالي. م2 منطقي–رياضي

تقوية

تلخيص الخصائص اطلب إلى الطلبة مقارنة خصائص الغازات والسوائل، ثم تحديد أيّ تلك الخصائص أكثر ملاءمة للغازات، وأيها أكثر ملاءمة للسوائل؟ ثم اطلب إليهم تحديد الخصائص اعتمادًا على الطاقة الحركية والقوى بين جزيئات الغاز أو السائل. م2

3. التقويم

التحقق من الفهم

الضباب في الليل غالبًا ما تبدأ أفلام الغموض بمشهد ليلي ضبابي. اسأل الطلبة: لماذا يتكوّن الضباب في الليل؟ في غياب الحرارة الصادرة عن الشمس يبرد الهواء، وتتكاثف الرطوبة التي امتصها خلال ساعات النهار، وهذا هو السبب نفسه وراء ظهور الندى على الأعشاب في ساعات الصباح. م1

التوسع

الخاصية الشعرية والملابس تُصمم بعض الملابس المخصصة للرياضيين أو للأشخاص الذي يعملون خارج المباني، بحيث تكون قادرة على امتصاص الرطوبة من الجسم وطرحها خارجًا، كما تساعد على الاحتفاظ بحرارة الجسم. اسأل الطلبة: كيف تعمل تلك الملابس؟ تستخدم المواد الخاصية الشعرية لامتصاص العرق من الجلد لتطرحه خارج الملابس؛ حيث تتبخر الرطوبة خارج الملابس، وليس عندما تكون على الجلد. لذا تعزل الملابس الجلد عن تأثير التبريد الناتج عن التبخر. م2

2-3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة

1. التركيز

نشاط محفز

الموائع والضغط املأ وعاء مختبر كبيرًا إلى منتصفه بالماء. ثم ضع فيه وعاء آخر أصغر منه مقلوبًا، ثم اطلب إلى الطلبة ملاحظة مستوى الماء في كلا الوعاءين قبل وضع الوعاء المقلوب وبعد وضعه، ثم اطلب إليهم أن يفسّروا التغيرات في مستويات الماء، ولماذا لم يرتفع الماء داخل الوعاء الصغير؟ يرتفع مستوى الماء في الوعاء الكبير لأن الوعاء الصغير والهواء المحصور فيه يزيحان الماء. ولا يرتفع الماء في الوعاء الصغير لأن ضغط الهواء يجبر الماء على الانخفاض. م 1 **بصري – مكاني**

الربط مع المعرفة السابقة

قوى الطفو تستكشف من خلال هذا البند أيضًا أن الضغط يساوي ناتج قسمة القوة على المساحة التي تؤثر فيها. وينبغي أن يكون لدى الطلبة الكثير من الخبرة الحياتية حول خاصية الطفو، مثل: السباحة، والطفو بالعوامات، ومشاهدة مناطيد غاز الهليوم.

الأهداف

- **تربط** مبدأ باسكال بالآلات البسيطة وحالاتها.
- **تطبّق** مبدأ أرخميدس للطفو.
- **تطبّق** مبدأ برنولي لتدفق الهواء.

المفردات

مبدأ باسكال
قوة الطفو
مبدأ أرخميدس
مبدأ برنولي
خطوط الانسياب

تعلمت سابقًا أن الموائع تولد ضغطًا، وهو القوة المؤثرة في وحدة المساحة. وتعلمت أيضًا أن الضغط الذي تولده الموائع يتغير، فمثلاً ينخفض الضغط الجوي كلما زاد ارتفاعك في أثناء تسلقك لأحد الجبال. وستدرس في هذا الفصل القوى الناتجة عن الموائع الساكنة والموائع المتحركة.

الموائع الساكنة Fluids at Rest

إذا غطست في بركة سباحة أو بحيرة إلى عمق معين فستدرك عندئذ أن جسمك – وخصوصًا أذنيك – حساس جدًّا لتغيرات الضغط. ومن المحتمل أنك لاحظت بأن الضغط الذي شعرت به على أذنيك، لا يعتمد على وضع رأسك إذا كان مرفوعًا أو مائلاً إلى أسفل، ولكن يزداد الضغط إذا غطست إلى أعماق كبيرة.

مبدأ باسكال لاحظ عالم الفيزياء الفرنسي بليز باسكال أن الضغط في المائع يعتمد على عمق المائع، ولا علاقة له بشكل الوعاء الذي يحوي المائع، وقد اكتشف أيضًا أن أي تغير في الضغط المؤثر في أي نقطة في المائع المحصور، ينتقل إلى جميع نقاط المائع بالتساوي، وتُعرف هذه الحقيقة بـ **مبدأ باسكال**.

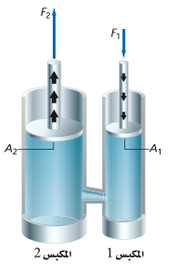
ويظهر مبدأ باسكال في كل مرة تعصر فيها أنبوب معجون الأسنان، إذ ينتقل الضغط الذي تؤثر به أصابعك في مؤخرة الأنبوب خلال معجون الأسنان، بحيث يندفع المعجون خارجًا من مقدمة الأنبوب. وبطريقة مماثلة، إذا عصرت إحدى نهايتي بالون غاز الهيليوم فإن نهايته الأخرى تنتفخ.

وعندما تستخدم الموائع في الآلات بهدف مضاعفة القوى، فإنك في هذه الحالة تطبق مبدأ باسكال، ففي النظام الهيدروليكي عمومًا، يُحصر المائع في حجرتين متصلتين معًا، كما في **الشكل 10–2**، حيث يوجد في كل حجرة مكبس حر الحركة، ولكل من المكبسين مساحة سطح مختلفة، فإذا أثرت القوة F_1 في المكبس الأول الذي مساحة سطحه A_1 أمكن حساب الضغط P_1، المؤثر في المائع، باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

والتي تمثل تعريف الضغط، حيث الضغط يساوي القوة المؤثرة في وحدة المساحة. ويمكن حساب الضغط الناتج عن المائع في المكبس الثاني الذي مساحة سطحه A_2 باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$



الشكل 10–2 ينتقل الضغط الناشئ عن تأثير القوة في المكبس الصغير خلال المائع، بحيث ينتج قوة مضاعفة في المكبس الكبير.

2. التدريس

نشاط

■ **انعدام الضغط** اطلب إلى الطلبة إنشاء رسم تخطيطي للقوى التي تؤثر في سبّاح. يجب أن يظهر من خلال المخطط أن قوة الجاذبية الأرضية تؤثر بقوة سحب إلى أسفل، ولكن قد لا يتضح من خلال المخطط مصدر الدفع إلى أعلى. ثم اسأل الطلبة: كيف يغيّر ارتداء سترة النجاة هاتين القوتين؟ تؤدي هذه السترة إلى إضافة بعض الوزن ولكنها تزيد من قوة الطفو. اطلب إلى الطلبة إنشاء رسم تخطيطي مماثل يوضح القوى المؤثرة في منطاد هواء ساخن يحمل جسمًا ، وتأثير زيادة حجم المنطاد. من الممكن أن يضيف وزنًا، ولكن ستكون الزيادة في قوة الطفو أكبر.

م 2 **بصري - مكاني**

مسائل تدريبية

18. $8.0 \times 10^{1}\ \text{N}$

19. $8.8 \times 10^{3}\ \text{N}$

واعتمادًا على مبدأ باسكال، ينتقل الضغط دون أي تغيير خلال المائع. لذا، فإن مقدار P_2 يساوي مقدار P_1، وتستطيع أن تحسب القوة المؤثرة في المكبس الثاني باستخدام العلاقة:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

وبحل المعادلة بالنسبة للقوة F_2، يمكن تحديد هذه القوة باستخدام المعادلة الآتية:

القوة الناتجة عن الرافعة الهيدروليكية $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$

القوة المؤثرة في المكبس الثاني تساوي القوة التي يؤثر بها المكبس الأول مضروبة في نسبة مساحة المكبس الثاني إلى مساحة المكبس الأول.

مسائل تدريبية

18. تُعد كراسي أطباء الأسنان أمثلة على أنظمة الرفع الهيدروليكية. فإذا كان الكرسي يزن 1600 N، ويرتكز على مكبس مساحة مقطعه $1440\ \text{cm}^2$، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير، الذي مساحة مقطعه $72\ \text{cm}^2$ لرفع الكرسي؟

19. تؤثر آلة بقوة مقدارها 55 N في مكبس هيدروليكي مساحة مقطعه $0.015\ \text{m}^2$ ، فترفع سيارة صغيرة. فإذا كانت مساحة مقطع المكبس الذي ترتكز عليه السيارة $2.4\ \text{m}^2$، فما وزن السيارة؟

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الوزن الظاهري والكتلة يعرف الطلبة أنه يمكن رفع الأجسام بسهولة تحت الماء. لذا قد يعتقدون أن الأجسام لها وزن أقل أو كتلة أقل. وضح لهم أن كتلة الجسم المغمور لا تتغير، وأن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم ($F_g=mg$) تبقى كما هي ولا تتغير. ولكن الجسم يتأثر بقوة طفو باتجاه الأعلى، لذا يكون الوزن الظاهري أقل.

عرض سريع

الضغط والعمق

الزمن المقترح 5 دقائق.

المواد والأدوات علبة، مسمار أو مثقب، مطرقة، ماء، وعاء كبير أو حوض، شريط لاصق.

الخطوات اثقب ثلاثة ثقوب صغيرة على ارتفاعات مختلفة في جانب علبة كبيرة. ثم غطّ هذه الثقوب بشريط لاصق قوي مضاد للماء. ثم املأ العلبة بماء ملوّن، وضعها في حوض كبير أو في وعاء كبير، ثم أزل قطع الشريط اللاصق، واطلب إلى الطلبة أن يفسّروا لماذا تقطع التيارات المائية المتدفقة من الثقوب مسافات مختلفة من العلبة؟ إن تيار الماء المتدفق من الثقب الأسفل له أكبر سرعة أفقية (v)؛ لأن الضغط داخل العلبة يكون كبيرًا عند القاع. أما تيار الماء المتدفق من الثقب الأعلى فله أقل سرعة أفقية ؛ لأن الضغط داخل العلبة يكون قليلاً عند الأعلى.

السباحة تحت الضغط Swimming Under Pressure

عندما تسبح تشعر أن ضغط الماء يتزايد كلما غطست إلى مسافة أعمق، وينشأ هذا الضغط حقيقة عن قوة الجاذبية الأرضية، التي ترتبط مع وزن الماء فوق الجسم. فإذا غطست إلى أعماق كبيرة فستكون كمية أكبر من الماء فوق جسمك، لذا سيكون الضغط عليك أكبر. إن ضغط الماء، يساوي وزن عمود الماء F_g فوقك مقسومًا على مساحة المقطع العرضي لعمود الماء A. وعلى الرغم من أن قوة الجاذبية الأرضية تسحب فقط في الاتجاه الرأسي إلى أسفل، فإن المائع ينقل الضغط في الاتجاهات جميعها، إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الجوانب. وتستطيع أن تجد ضغط الماء بتطبيق العلاقة الآتية:

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

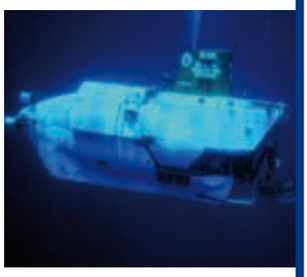
وزن عمود الماء $F_g = mg$، والكتلة تساوي كثافة الماء ρ مضروبة في حجمه $m = \rho V$، V. وتعلم أيضًا أن حجم الماء يساوي مساحة قاعدة عمود الماء A مضروبة في ارتفاعه h كما في العلاقة $V = Ah$. ولذا، فإن $F_g = \rho Ahg$. عوض بـ ρAhg بدلاً من F_g في معادلة ضغط الماء فستجد أن $P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho Ahg}{A}$، ثم اختزل A من البسط والمقام للوصول إلى الصورة المبسطة لمعادلة الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في جسم الغواص.

ضغط الماء على الجسم $P = \rho hg$

الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في الجسم يساوي حاصل ضرب كثافة الماء في ارتفاع عمود الماء في تسارع الجاذبية الأرضية.

تطبق هذه المعادلة على الموائع جميعها، وليس فقط على حالة الماء. ويعتمد ضغط المائع الذي يؤثر في الجسم على كثافة المائع، وعمقه، وتسارع الجاذبية الأرضية g. وإذا كان هناك ماء على سطح القمر، فإن قيمة ضغطه عند أي عمق ستكون سُدس قيمته على الأرض. يوضح **الشكل 11–2** غواصة تتنقل في أخاديد المحيط العميقة، وتتعرض لضغط يزيد 1000 مرة على مقدار ضغط الهواء المعياري.

الشكل 11–2 في عام 1960 م نزل طاقم الغوص تريست (Triste) إلى أعماق الأخدود ماريانس (Marianas) الذي يزيد عمقه على 10500 m. وتمكن أحد الغواصين، من الغطس بأمان إلى عمق 4500 m في مياه المحيط.



قوة الطفو ما الذي يولد القوة الرأسية إلى الأعلى، والتي تسمح لك بالسباحة؟ إن زيادة الضغط الناجمة عن زيادة العمق، تولد قوة رأسية إلى أعلى تسمى **قوة الطفو**. وبالمقارنة بين قوة الطفو المؤثرة في جسم، ووزنه نستطيع أن نتوقع ما إذا كان الجسم سينغمر أم يطفو.

افترض أن صندوقًا ارتفاعه l ومساحة سطحيه العلوي والسفلي A غُمر في الماء، فيكون حجم الصندوق $V = lA$، ويؤثر ضغط الماء بقوى في كل جوانبه، كما هو موضّح في **الشكل 12–2**. هل ينغمر الصندوق أم يطفو؟ كما تعلم، يعتمد الضغط المؤثر في الصندوق على عمقه h. ولتعرف ما إذا كان الصندوق سيطفو على سطح الماء أم لا، فإنك تحتاج أن تعيّن مقدار الضغط المؤثر في السطح

من معلم لآخر

نشاط

تأثير الضغط الجوي

الهدف إظهار تأثير الضغط الجوي في مادة صلبة.

المواد والأدوات ماء ثلج، وعلبة صودا فارغة مصنوعة من الألومنيوم، وملقط، وموقد بنزن وحامل حلقي أو صفيحة تسخين، ونظارات واقية، وقفازات حماية وحوض معدني مملوء بماء ثلج.

الخطوات ضع النظارات الواقية على عينيك، والبس قفازات الحماية، ثم ضع 5 ml من الماء في علبة الصودا، وسخنها حتى يخرج البخار من أعلى العلبة. مستعينًا بالملقط ارفع العلبة عن مصدر الحرارة، واقلبها مباشرة في حوض الماء الثلج بحيث يكون أعلى العلبة (فتحة العلبة) عند قاع الحوض. إن انخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض الضغط في العلبة. لذا يؤدي الضغط الجوي الخارجي إلى انكماش العلبة.

العلـوي للصندوق مقارنة بالضغط المؤثر في قاع الصندوق. قارن بين المعادلتين الآتيتين:

$$F_{\text{العلوية}} = P_{\text{العلوي}} A = \rho h g A$$

$$F_{\text{السفلية}} = P_{\text{السفلي}} A = \rho (l+h) g A$$

إن القوى المؤثرة في الجوانب الأربعة الرأسية متساوية في جميع الاتجاهات، لذا ليس هناك قوة محصلة أفقية. والقوة الرأسية إلى أعلى المؤثرة في قاع الصندوق أكبر من القوة الرأسية إلى أسفل المؤثرة في سطحه العلوي، لذا فهناك قوة محصلة رأسية. ويمكن الآن حساب مقدار قوة الطفو.

$$F_{\text{الطفو}} = F_{\text{السفلية}} - F_{\text{العلوية}}$$
$$= \rho (l + h) g A - \rho h g A$$
$$= \rho l g A = \rho V g$$

وتبين هذه الحسابات أن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى، تتناسب طرديًّا مع حجم الصندوق، وهذا الحجم يساوي حجم المائع المزاح أو المدفوع خارجًا بوساطة الصندوق، لذا فإن مقدار قوة الطفو $\rho V g$ تساوي وزن المائع المزاح بوساطة الجسم.

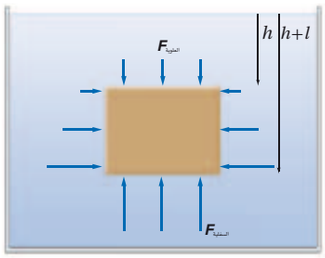
قوة الطفو $F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} V g$

قوة الطفو المؤثرة في الجسم تساوي وزن المائع المزاح بوساطة الجسم، والتي تساوي كثافة المائع المغمور فيه الجسم مضروبًا في حجم الجسم وفي تسارع الجاذبية الأرضية.

اكتُشفت هذه العلاقة في القرن الثالث قبل الميلاد بوساطة العالم الإغريقي أرخميدس، وينص **مبدأ أرخميدس** على أن الجسم المغمور في مائع، تؤثر فيه قوة رأسية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح بوساطة الجسم. ولا تعتمد القوة على وزن الجسم، ولكن تعتمد فقط على وزن المائع المزاح.

هل سينغمر الجسم أم يطفو؟ إذا أردت أن تعرف إذا كان الجسم سينغمر أم يطفو، فإنه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار كل القوى المؤثرة في الجسم. فقوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى، ولكن وزن الجسم يسحبه إلى أسفل، ويحدّد الفرق بين قوة الطفو، ووزن الجسم ما إذا كان الجسم سينغمر أم يطفو.

افترض أنك غمرت ثلاثة أجسام في خزان مملوء بالماء ($\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)، وكان حجم كل جسم منها 100 cm^3 أو $1.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. فإذا كان الجسم الأول قالبًا فولاذيًّا كتلته 0.90 kg، والجسم الثاني عبوة صودا من الألومنيوم كتلتها 0.10 kg، أما الجسم الثالث فمكعب من الجليد كتلته 0.090 kg. فكيف يتحرك كل من الأجسام الثلاثة عندما تغمر في الماء؟



الشكل 12–2 يؤثر المائع بقوة إلى أعلى في قاع الجسم المغمور أكبر من القوة التي يؤثر بها إلى أسفل في السطح العلوي للجسم. وتسمى محصلة القوة إلى أعلى بقوة الطفو.

استخدام الشكل 12–2

يوضح هذا الشكل كيف تنشأ قوة الطفو من الاختلافات في الضغط عند أعلى الجسم وعند أسفله. لذا اطلب إلى الطلبة أن يعيدوا رسم الشكل مستخدمين أشكالاً ذات أطوال وارتفاعات مختلفة، واطلب إليهم كذلك تثبيت متجهات القوة في الرسم. ثم افترض أنه تم غمر صندوق مستطيل المقطع ذي جوانب أطوالها مختلفة. ناقش الطلبة كيف أن قوة الطفو المؤثرة في مثل هذا الصندوق ستكون هي نفسها مهما كان اتجاه الصندوق.

م 2 بصري – مكاني

التفكير الناقد

طفو الهواء لقد كانت المناطيد الأولى المعدَّة لحمل الإنسان في الهواء مملوءةً بالهواء المسخّن وليس بالهليوم. اطلب إلى الطلبة التفكير في كيفية توفير منطاد الهواء الساخن قوة حمل كافية لرفع عربة معلقة به بالإضافة إلى الركاب. واسألهم إذا كان هذا المنطاد سيعمل على نحو أفضل أم أسوأ في يوم بارد. واطلب إليهم تفسير ذلك بدلالة معرفتهم بالغازات والحركة الحرارية. على الطلبة أن يكونوا قادرين على توضيح ذلك بدلالة قانون الغاز المثالي، الذي يقود إلى مفهوم درجة الحرارة بدلالة حركة الجزيء. سوف يعمل المنطاد على نحو أفضل في اليوم البارد لأن كثافة الهواء الجوي تكون أكبر؛ فيكون الهواء الساخن في المنطاد أقل كثافة من الهواء المحيط به؛ إذ تزداد الطاقة الحرارية لجزيئات الهواء داخل المنطاد، وتتحرك بعيدًا بعضها عن بعض. ويولد فرق الكثافة بين الهواء الساخن داخل المنطاد والهواء البارد المحيط به قوة الطفو التي ترفع المنطاد. اسأل الطلبة ما العلاقة بين الهواء الساخن الذي يرتفع في المنطاد، والهواء الساخن الذي يرتفع من مدخنة؟ إن خاصية الطفو للهواء المسخّن هي التي تدفع الهواء الساخن إلى أعلى في الحالتين. **م 2**

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

مبدأ أرخميدس طلب الملك هيرو حاكم سيراكيوس من أرخميدس أن يحدد ما إذا كان تاجه الجديد يحتوي على كمية الذهب كلها التي أعطيت للحرفي لصناعته. ووفقًا للأسطورة، عندما غمر أرخميدس جسده في حوض حمامه الممتلئ بالماء أدرك أن الماء قد أزيح، وبدا أن جسمه يزن أقل مما سبق. عندئذ قفز من حوض الحمام وبدأ يعدو في الشارع ويصيح "يوريكا" يعني "وجدتها". لقد استنتج أرخميدس أنه عند ثبات الوزن فإن الجسم الأكثر كثافة، كالذهب، يزيح حجمًا أقل من الماء. وقد وجد في النهاية أن التاج ليس مصنوعًا من الذهب الخالص. فالتاج الجديد أزاح كمية أكبر من الماء، مقارنة بما يزيحه الوزن نفسه من الذهب؛ ذلك لأن له حجمًا أكبر.

التفكير الناقد

الطفو وعملية الوزن تُعد عملية الوزن من أفضل الطرائـق لدراسـة قوة الطفـو. لذا اطلـب إلى الطلبة استخدام موازين مزودة بخطافات عند وزن أجسام صغيرة ذات أحجام ومواد مختلفة، بحيث توزَن تلك الأجسـام مرة في الهواء، ومرة أخرى في الماء، وأخيرًا في محلول ملحي. واطلب إليهم تسجيل مشاهداتهم. بعض المشاهدات (1) :الوزن الظاهري للأجسام الطافية يساوي صفرًا عندما يُقاس بوساطة الميزان(2) . يتناقص الوزن الظاهري للجسـم المغمور جزئيًّا عندما يُغمر الجسم أكثر (3) .الوزن الظاهري للجسم المغمور لا يسـاوي صفرًا، ولكن وزنه أقل مـن وزنه في الهواء. (4) الوزن الظاهري للجسم في المحلول الملحي أقل من وزنه الظاهري في الماء العذب؛ لأن الحجم نفسـه يزيح وزنًا أكبر من السائل. م 1 **حركي**

إن القوة الرأسية على الأجسام الثلاثة متساوية، انظر إلى **الشكل 13–2** ، لأن كلًّا منها قد أزاح الوزن نفسه من الماء، ويمكن حساب قوة الطفو على النحو الآتي:

$$F_{\text{طفو}} = \rho_{\text{ماء}} Vg$$

$$= (1.00 \times 10^{3}\ \text{kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 0.980\ \text{N}$$

إن وزن قالـب الفولاذ يسـاوي 8.8 N وهـو أكبر كثيرًا من قوة الطفـو. وتبعًا لذلك تكون القـوة المحصلـة الرأسـية المؤثـرة فيه إلى أسـفل، لـذا ينغمـر القالب. لاحـظ أن القوة المحصلة الرأسـية إلى أسـفل هي وزن الجسـم الظاهري، وهي أقل من وزنه الحقيقي. وكل الأجسام التي في سائل، – ومنها تلك التي تغطس – لها وزن ظاهري أقل من وزنها عندما تكون في الهواء. ويمكن التعبير عن الوزن الظاهري بالمعادلة الآتية:

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

وبالنسبة لقالب الفولاذ فإن وزنه الظاهري يساوي (8.8 N – 0.98 N) أو 7.8 N.

ووزن علبـة الصـودا يسـاوي 0.98 N، وهـذا يماثـل وزن المـاء المـزاح. لذا فـإن القوة المحصلـة تسـاوي صفراً (تبقي معلقة)، ولذلك تبقى العبـوة حيث توضع في الماء ولها قوة طفو متعادلة. وتوصف الأجسام ذات قوة الطفو المتعادلة بالأجسام العديمة الوزن، أيْ أن وزنهـا الظاهري صفر. إن هذه الخاصية مماثلة لتلك التي يعاني منها روّاد الفضاء في الفضاء. وهذا يفسر تدرب رواد الفضاء أحيانًا في برك السباحة.

أمـا وزن مكعـب الجليـد فيسـاوي 8.8 N، وهـو أقل من قـوة الطفو، ولذلـك توجد قوة محصلة رأسية إلى أعلى، لذا يرتفع مكعب الجليد إلى أعلى. إن القوة المحصلة الرأسية إلـى أعلى سـتجعل جزءًا من مكعب الجليد خارج المـاء. ونتيجة لذلك، تزاح كمية أقل من الماء وتقل القوة الرأسـية إلى أعلى، ويطفو مكعب الجليد في الماء ويكون جزء منه داخـل الماء والآخـر خارجه حتى يتسـاوى وزن الماء المزاح مـع وزن مكعب الجليد. وعمومًا يطفو الجسم إذا كانت كثافته أقل من كثافة المائع المغمور فيه.

السفن يفسـر مبدأ أرخميدس كيف يمكن للسـفن المصنوعة من الفولاذ أن تطفو على سطح الماء، فإذا كان جسم السفينة مفرغًا وكبيرًا بما يكفي فإن معدل كثافة السفينة يكون أقل من كثافة الماء، ولذلك تطفو.

ويمكن أن تلاحظ أنّ السـفينة المحملة بالبضائع تبحر بحيث تنخفض في الماء أكثر من السفينة الفارغة. وتستطيع توضيح هذا من خلال صنع قارب صغير من رقائق الألومنيوم، حيث يطفو هذا القارب بسهولة، وينغمر جزءٌ أكبر منه في الماء إذا أضيف إليه حمولة من مشـابك الورق. وإذا حطمت القارب وجمعت رقائق الألومنيوم التي تكونه على شـكل كرة مصمتة، فإنها في هذه الحالة تنغمر بسبب زيادة كثافتها.

الشكل 13–2 لكل من قالب الفـولاذ (a) وعبـوة الألـومنيـوم (b) ومكعب الجليد (c) الحجم نفسه، لذا تزيح كميات متساوية من الماء، وتخضع لتأثير قوى طفو متماثلة. ولأن أوزانها مختلفة فإن محصلة القوى المؤثرة في الأجسام الثلاثة مختلفة أيضًا.

طرائق تدريس متنوعة

نشاط

إعاقـة بصرية يمكـن التحقق من الطفو والضغط واللزوجة عن طريق الشـعور. لذا يجب أن يُعطى الطالب الفرصة لكي يشـعر بتأثير الطفو عن طريق دفع أو رفع الأجسـام الطافية أو المغمورة في حوض ماء أو المغمورة في مغسلة مملوءة بالماء. كما يستطيع الطالب دراسة اللزوجة عن طريق تحريك الماء أو شامبو غسيل الشعر بوساطة إصبعه. لذا اطلب إلى الطلبة وصف أحاسيسهم التي يشعرون بها. واسألهم الأسئلة التالية: ما الذي اختبروه عندما حاولوا غمر جسـم من الفلين أو مكعب من الجليد في الماء؟ وبم يخبرهم هذا عن الطفو؟ وكيف يمكن مقارنة عملية تحريك شراب الكاكاو بعملية تحريك (الكريما)؟ وبم تخبرهم هذه المقارنة عن لزوجة الموائع؟ م 1

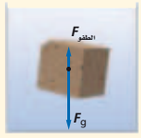
الربط مع علم الأرض

وبطريقة مماثلة، تطفو القارات الأرضية فوق مواد ذات كثافة كبيرة تحت السطح، وحركة الانجراف للصفائح القاريّة هي المسؤولة عن الأشكال، والمواقع الحالية للقارات.

وهناك أمثلة تطبيقية أخرى على مبدأ أرخميدس، منها الغواصات البحرية، والأسماك؛ إذ توظف الغواصات مبدأ أرخميدس في عملها، فكلما ضُخ الماء داخل عدد من الحجرات المختلفة، وخارجها يتغير متوسط كثافة الغواصة، مما يجعلها تطفو أو تنغمر. أما بالنسبة للأسماك، فلدى بعضها انتفاخ غشائي للسباحة يسمى مثانة العوم، وهي تطبق مبدأ أرخميدس لتتحكم في العمق الذي توجد فيه، فالأسماك تنفخ مثانة العوم أو تقلّصها كما ينفخ الإنسان خديه. فتنفخه لإزاحة كمية أكبر من الماء، وبذلك تزيد من قوة الطفو فترتفع، وفي المقابل تنزل إلى أسفل في الماء، بتقليص حجم مثانة العوم.

مثال 3

مبدأ أرخميدس ينغمر قالب بناء من الجرانيت حجمه ($1.00 \times 10^{-3}\ m^3$)، في الماء، فإذا كانت كثافة الجرانيت $2.7 \times 10^3\ kg/m^3$، فاحسب مقدار قوة الطفو والوزن الظاهري لقالب الجرانيت.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قالب جرانيت مغمورًا في الماء.
- بين قوة الطفو الرأسية إلى أعلى وقوة الجاذبية الأرضية الرأسية إلى أسفل اللتين تؤثران في القالب.

المعلوم	المجهول
$V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$	$F_{\text{الطفو}} = ?$
$\rho_{\text{الجرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ kg/m^3$ و	$F_{\text{الظاهري}} = ?$
$\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$	

2 إيجاد الكميات المجهولة

احسب قوة الطفو على قالب الجرانيت.

بالتعويض عن $\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$ و $V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$ و $g = 9.80\ m/s^2$

$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$

$= (1.00 \times 10^3\ kg/m^3)(1.00 \times 10^{-3}\ m^3)(9.80\ m/s^2) = 9.80\ N$

احسب وزن قالب الجرانيت، ثم أوجد وزنه الظاهري.

مثال صفي

سؤال شكّل طفل قطعة من رقائق ألومنيوم كتلتها 0.012 kg ليصنع منها قاربًا يطفو على الماء. ما حجم الماء الذي يزيحه قارب الألومنيوم؟

الجواب

بما أن القارب طفا لذا تكون قوة الطفو:

$F_{\text{الطفو}} = F_{g\ \text{الألومنيوم}}$

$\rho_{\text{الماء}} V_{\text{الماء}} g = m_{\text{الألومنيوم}} g$

لذا فإن $V_{\text{الماء}} = m_{\text{الألومنيوم}} / \rho_{\text{الماء}}$

$= 0.012\ kg / 1.0 \times 10^3\ kg/m^3$

$= 1.2 \times 10^{-5}\ m^3$

سؤال إذا قام الطالب بتحطيم القارب في السؤال أعلاه وتجميعه على شكل كرة صغيرة مصمتة فإنها تغطس في الماء. ما حجم الماء الذي تزيحه كرة الألومنيوم، مع افتراض أنه لا يوجد هواء داخلها؟ وما الوزن الظاهري لكرة الألومنيوم في الماء؟

الجواب حجم كرة الألومنيوم V

$V = m_{\text{الألومنيوم}} / \rho_{\text{الألومنيوم}}$

$= (0.012\ kg) / (2.70 \times 10^3\ kg/m^3)$

$= 4.4 \times 10^{-6}\ m^3$

وهذا يمثل حجم الماء المزاح بوساطة الكرة المغمورة. أما وزنها الظاهري فيساوي وزنها في الهواء مطروحًا منه قوة الطفو المؤثرة في الكرة المغمورة:

$F_{\text{الظاهري}} = m_{\text{الألومنيوم}} g - \rho_{\text{الماء}} V_{\text{الماء}} g$

$= (0.012\ kg)(9.80\ m/s^2) -$

$(1.0 \times 10^3\ kg/m^3)(4.4 \times 10^{-6}\ m^3)$

$(9.80\ m/s^2)$

$= 0.74\ N$

الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

البوميرنج (عصا معقوفة مرتدة) اكتشف سكان أستراليا الأصليون مبدأ عمل الجناح، وذلك بتغيير انحناء الحافة الخارجية للذراع العلوية للعصا والحافة الداخلية للذراع السفلية بالطريقة نفسها، وبهذه التعديلات تعود العصا إليهم عند قذفها. يفسّر مبدأ برنولي كيفية حدوث ذلك. فكّر في العصا وكأنها على شكل حرف L كبير. فعندما تدور العصا في الهواء يتحرك الهواء على أحد جانبي ذراعي العصا أسرع من الجانب الآخر. ويتضح من مبدأ برنولي أن هناك فرقًا في ضغط الهواء على جانبي الذراعين. ولأن كلًّا من الحافتين المقوستين تتبع الأخرى عندما تدور العصا فإن هناك دائمًا فرقًا في ضغط الهواء يؤثر في أحد جانبي العصا، لذا ستتحرك العصا في مسار لولبي.

مسائل تدريبية

20. $6.2\times10^{-2}\ m^3$

21. $1.09\times10^{3}\ N$

22. $8.8\times10^{2}\ N$

بالتعويض $\rho_{\text{جرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ kg/m^3$

عن

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$ و $g = 9.80\ m/s^2$

بالتعويض $F_{\text{الطفو}} = 9.80N$ ، $F_g = 26.5\ N$

عن

$$F_g = \rho_{\text{الجرانيت}} Vg$$

$$= (2.70 \times 10^3\ kg/m^3)(1.00 \times 10^{-3}\ m^3)(9.80\ m/s^2) = 26.5\ N$$

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

$$= 26.5\ N - 9.80\ N = 16.7\ N$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس كل من القوى والوزن الظاهري بوحدة النيوتن، كما هو متوقع.
- **هل الجواب منطقي؟** قوة الطفو تساوي تقريبًا ثلث وزن قالب الجرانيت، وهذه إجابة منطقية؛ لأن كثافة الماء تساوي ثلث كثافة الجرانيت تقريبًا.

مسائل تدريبية

20. يطفو سباح في بركة ماء، بحيث يعلو رأسه قليلاً فوق سطح الماء. فإذا كان وزنه 610 N احسب حجم الجزء المغمور من جسمه.

21. احسب مقدار قوة الشد في حبل يحمل كاميرا وزنها 1250 N مغمورة في الماء، إذا علمت أن حجم الكاميرا $16.5 \times 10^{-3}\ m^3$.

22. لوح من الفلين الصناعي كثافته تساوي 0.10 مرة من كثافة الماء تقريبًا. احسب أكبر وزن من قوالب القرميد تستطيع وضعها على لوح الفلين الصناعي الذي أبعاده $1.0\ m \times 1.0\ m \times 0.10\ m$ ، بحيث يطفو اللوح على سطح الماء، وتبقى قوالب القرميد جافة.

الموائع المتحركة: مبدأ برنولي

Fluids in Motion: Bernoulli's Principle

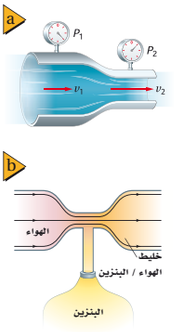
حاول تنفيذ التجربة الموضحة في **الشكل 14–2**. ضع قطعة من ورق دفتر ملاحظاتك أسفل شفتك السفلى قليلاً، ثم انفخ بقوة فوق سطحها العلوي. لماذا ترتفع قطعة الورق؟ يقلل نفخ الهواء الضغط فوق الورقة. وبسبب انخفاض الضغط أعلى الورقة، فإن ضغط الهواء الساكن نسبيًّا أسفل الورقة يدفع الورقة إلى أعلى. إن العلاقة بين السرعة، والضغط المؤثر بوساطة الموائع المتحركة يسمى مبدأ برنولي نسبة إلى العالم السويسري دانييل برنولي.

الشكل 14–2 يوضح النفخ فوق سطح صفيحة من الورق مبدأ برنولي.

ينص **مبدأ برنولي** على أنه عندما تزداد سرعة المائع يقل ضغطه. وهذا المبدأ تمثيل لمبدأ حفظ الشغل، والطاقة عند تطبيقه على الموائع. ويعتبر تدفق المائع عبر مقطع ضيق حالة من الحالات التي تزداد فيها سرعة المائع. فصنابير الماء في بعض خراطيم الحدائق يمكن أن تتسع أو تضيق، لذا تتغير سرعة تدفق الماء.

ولعلك لاحظت أنّ سرعة الماء تتزايد في جدول الماء (الوادي) عندما يمر عبر مقطع ضيّق في مجرى الجدول، وعمومًا يغير اتساع أو ضيق مجرى المائع – كخرطوم الماء أو قناة جدول الماء– من سرعة المائع، بحيث يبقى معدل التدفق للمائع محفوظًا. وبالإضافة إلى الجداول، وخراطيم الماء، فإن ضغط الدم في دورتنا الدموية يعتمد جزئيًّا على مبدأ برنولي. كما تتضمن معالجة أمراض القلب إزالة الانسداد في الشرايين والأوردة، وتجنب حدوث الجلطات في الدم.

لنأخذ حالة أنبوب أفقي مملوء بمائع مثالي يتدفق بسهولة؛ فإذا عبرت كمية معينة من المائع في أحد طرفي الأنبوب، فإن الكمية نفسها يجب أن تخرج من الطرف الآخر. افترض الآن أن المقطع العرضي أصبح أضيق، كما في **الشكل 15a–2**، فيجب أن تزداد سرعة تدفق المائع للحفاظ على كتلته المنتقلة عبر المقطع الضيّق خلال فترة زمنية ثابتة. لكن كلما ازدادت سرعة المائع، ازدادت طاقته الحركية، وهذا يعني أن هناك شغلًا منجزًا على المائع السريع الحركة، ينتج عن الفرق بين الشغل الذي بُذل لانتقال كمية من المائع داخل الأنبوب، والشغل الذي بذل بوساطة المائع، لدفع الكمية نفسها من المائع خارج الأنبوب. ويتناسب الشغل طرديًّا مع القوة المؤثرة في المائع، والتي تعتمد بدورها على الضغط. فإذا كان الشغل المنجز موجبًا، وجب أن يكون ضغط المائع في المدخل عند بداية المقطع (حيث تكون سرعة المائع أقل) أكبر من الضغط في المخرج عند نهاية المقطع، (حيث تكون سرعة المائع أكبر).



الشكل 15–2 يكون الضغط P_1 أكبر من P_2 لأن v_1 أقل من v_2 (**a**). يعمل الضغط المنخفض في الجزء الضيق من أنبوب المازج على سحب الوقود إلى مجرى الهواء (**b**).

تطوير المفهوم

مبدأ برنولي أمسك ورقتين بصورة رأسية أمام وجهك، ثم انفخ بينهما. واسأل الطلبة: لماذا تنجذب الورقتان إحداهما إلى الأخرى. التدفق الكبير للهواء يعني سرعة كبيرة لجزيئات الهواء بين الورقتين مما يسبب تقليل ضغط الهواء. والضغط الكبير على الجوانب الخارجية للورقتين يدفعهما معًا إلى الداخل.

م 2 بصري - مكاني

تقوية

مبدأ برنولي ذكّر الطلبة أن الضغط والطفو، ومبدأ برنولي خصائص للسوائل والغازات على حد سواء. واسألهم: لماذا لا تظهر خاصية الطفو في الهواء بوضوح، ولماذا نستخدم غالبًا أمثلة تتضمن الغازات لتوضيح مبدأ برنولي؟ إن الكثافة القليلة للهواء تجعل من قوة طفوه أقل. وتتحرك معظم الأجسام خلال السوائل ببطء، لذا تكون تأثيرات مبدأ برنولي في السوائل قليلة غالبًا. **م 2**

تطبيقات على مبدأ برنولي هناك بعض التطبيقات العملية الشائعة على مبدأ برنولي، ومنها مرش (بخّاخ) الطلاء، وبخاخ العطر. ويعمل بخاخ العطر في زجاجة العطر بنفخ الهواء عبر الجزء العلوي من الأنبوب المغمور في العطر، فينخفض الضغط عند قمة الأنبوب، عنه داخل الزجاجة، ونتيجة لذلك، يندفع العطر عبر تيار الهواء.

يُعدّ المازج (الكربوريتر) في محرك البنزين، حيث يختلط الهواء بالبنزين، تطبيقًا شائعًا آخر على مبدأ برنولي. إن أحد أجزاء المازج عبارة عن أنبوب فيه ضيق في منطقة معينة، كما في **الشكل 15b–2**. ويكون الضغط على البنزين في خزان الوقود مماثلاً للضغط في الجزء الأكثر اتساعًا في الأنبوب. لكنّ تدفق الهواء عبر المقطع الضيّق من الأنبوب والموصول بخزان الوقود يجعل الضغط منخفضًا، لذا يندفع الوقود في منطقة تدفق الهواء. وتتغير كمية الوقود الممزوجة بالهواء في الأنبوب تبعًا لتنظيم هذا التدفق. تتجه السيارات الحديثة إلى استخدام محقنة الوقود (الانجكترات) أو نفثه بدلاً من نظام المازج، ولكن لاتزال أنظمة المازج شائعة الاستخدام في السيارات القديمة، وفي الآلات ذات المحركات الصغيرة التي تدار بالبنزين ومنها آلات جزّ العشب.

خطوط الانسياب يستنفد صانعو السيارات والطائرات الكثير من الوقت، والجهد في اختبار تصاميم جديدة للسيارات، والطائرات داخل أنفاق هوائية للتحقق من قدرتها على العمل بكفاءة عظمى أثناء حركتها خلال الهواء. ويُمثَّل تدفق الموائع حول الأجسام بوساطة **خطوط الانسياب** الموضحة في **الشكل 16–2**. وتحتاج الأجسام إلى طاقة أقل لتتحرك عبر تدفق منتظم من خطوط الانسياب.

يمكن توضيح خطوط الانسياب بصورة أفضل بوساطة التمثيل البسيط التالي: تخيل أنك تضيف بعناية قطرات صغيرة من صبغة الطعام داخل مائع ينساب بشكل منتظم، فإذا بقيت الخطوط الملونة التي تشكلت دقيقة ومحددة قيل عندئذ إن التدفق انسيابيٌّ. لاحظ أنه إذا ضاق مجرى التدفق، فإن خطوط الانسياب تتحرك مقتربة بعضها من بعض. وتشير خطوط الانسياب التي تفصلها مسافات قليلة إلى سرعة انسياب كبيرة، لذا يكون الضغط منخفضًا. من جهة أخرى إذا تحركت خطوط الانسياب حركة ملتفة كالدوّامة، بحيث أصبحت منتشرة، فعندئذ يقال إن المائع مضطرب. ولا يطبق مبدأ برنولي في حالة التدفق المضطرب للموائع.

الشكل 16–2 خطوط الانسياب المنتظمة لتدفق الهواء فوق سيارة.

نشاط

متقدم

تصميم القوارب والزلاجات الطائرة إن تصميم الزوارق السريعة ووسائل الترفيه ـ ومنها الدراجات المائية والزلاجات الطائرة ـ تتضمن فهم قوى الطفو، وحجم الماء المزاح، ومركز كتلتها (من أجل الاتزان)، بالإضافة إلى مبدأ برنولي. فعلى سبيل المثال، يصمّم الكثير من القوارب الترفيهية، والدراجات المائية لتطفو في المياه الضحلة. وعندما تتحرك بسرعة كبيرة كافية، ترتفع جزئيًّا ويتناقص الجزء المغمور منها، فتزيح كمية أقل من الماء، مما يؤدي إلى مواجهتها قوة مقاومة أقل لحركتها. اطلب إلى الطلبة البحث عن كيفية تصميم مثل هذه الآلات، بحيث تكون مستقرة وقادرة على الارتفاع عن سطح الماء عند سرعات معينة. م2 **لغوي**

2-3 مراجعة

23. **الطفو والانغمار** هل تطفو علبة شراب الصودا في الماء أم تنغمر فيه؟ جرّب ذلك. وهل يتأثر ذلك بكون الشراب خاليًا من السكر أم لا؟ تحتوي جميع علب شراب الصودا على الحجم نفسه من السائل 354 ml، وتزيح الحجم نفسه من الماء، فما الفرق بين العلبة التي تنغمر والأخرى التي تطفو؟

24. **الطفو والكثافة** تُزوَّد صنارة الصيد بقطعة فلين تطفو بحيث يكون عشر حجمها تحت سطح الماء. ماكثافة الفلين؟

25. **الطفو في الهواء** منطاد الهيليوم يرتفع في الهواء، فإذا كانت كثافة غاز الهيليوم $0.18\ kg/m^3$ وكثافة الهواء $1.3\ kg/m^3$، فاحسب حجم منطاد الهيليوم اللازم لرفع قالب من الرصاص وزنه 10 N؟

26. **انتقال الضغط** صُمّمت لعبة قاذفة للصواريخ بحيث يدوس الطفل على أسطوانة من المطاط، مما يزيد من ضغط الهواء في أنبوب القاذف فيدفع صاروخًا خفيفًا من الرغاوي الصناعية في السماء، فإذا داس الطفل بقوة 150 N على مكبس مساحته $2.5\times10^{-3}\ m^2$، فاحسب القوة المنتقلة إلى أنبوب القذف الذي مساحة مقطعه $4.0\times10^{-4}\ m^2$.

27. **الضغط والقوة** رُفعت سيارة تزن 2.3×10^4 N بوساطة أسطوانة هيدروليكية مساحتها $0.15\ m^2$

a. احسب مقدار الضغط في الأسطوانة الهيدروليكية.

b. ينتج الضغط في أسطوانة الرفع بوساطة التأثير بقوة في أسطوانة مساحتها $0.0082\ m^2$، احسب مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في هذه الأسطوانة الصغيرة لرفع السيارة.

28. **الإزاحة** أيّ مما يلي يزيح ماءً أكثر، عندما يوضع في حوض مائي؟

a. قالب ألومنيوم كتلته 1.0 kg، أم قالب رصاص كتلته 1.0 kg؟

b. قالب ألومنيوم حجمه $10\ cm^3$، أم قالب رصاص حجمه $10\ cm^3$؟

29. **التفكير الناقد** اكتشفت في المسألة التدريبية رقم 3، أنه عندما يمر إعصار فوق منزل فإنّ المنزل ينهار أحيانًا من الداخل إلى الخارج. فكيف يفسر مبدأ برنولي هذه الظاهرة؟ وماذا يمكن أن نفعل لتقليل خطر اندفاع الباب أو الشباك إلى الخارج وتحطمه؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمراجعة هذا الفصل ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

3. التقويم

التحقق من الفهم

مبدأ برنولي والقيادة على الطريق السريعة عندما تتجاوز شاحنة كبيرة سيارة تتحرك على الطريق السريع قد تتأثر السيارة بقوة جانبية في اتجاه الشاحنة. اسأل الطلبة: ما سبب حدوث ذلك؟ يتحرك الهواء بين السيارة والشاحنة بسرعة أكبر من الهواء المحيط، لذا يقل ضغط الهواء بين السيارة والشاحنة. م2

التوسع

الاشرعة المتحركة كان ابتكار الأشرعة المتحركة للقوارب أحد الابتكارات العظيمة في التاريخ. وأصبح بمقدور الشراع بوساطة هذا الابتكار الدوران بزوايا مختلفة، حتى أصبح بإمكان القارب فعليًّا الإبحار نحو الرياح، حيث كانت القوارب قبل ذلك تبحر فقط مع اتجاه الرياح. اسأل الطلبة كيف تستخدم الأشرعة المتحركة مبدأ برنولي؟ يتم تركيب الشراع بحيث تتحرك الرياح على سطحي الشراع، فينحني الشراع على هيئة جناح. ولذا يُحدث تدفق الهواء فرقًا في الضغط على سطوح الشراع. م3

2-3 مراجعة

23. يذوب $\frac{1}{4}$ كأس من السكر تقريبًا في كأس من شراب الصودا العادي، مما يجعله أكثر كثافة من الماء. أما شراب الصودا الخالي من السكر، فيحتوي على كمية قليلة من المُحلِّيات الصناعية. لذلك يكون شراب الصودا الخالي من السكر أقل كثافة من شراب الصودا العادي (المحلى).

24. كثافة الفلين عُشر كثافة الماء تقريبًا.

25. $0.9\ m^3$

26. 24 N

27. a. 1.5×10^5 Pa

b. 1.3×10^3 N

28. a. سيزيح قالب الألومنيوم كمية أكبر من الماء.

b. سيزيح كل منهما الحجم نفسه من الماء.

29. يكون ضغط هواء الإعصار السريع أقل من ضغط الهواء الساكن نسبيًا داخل المنزل. مما يولد قوة هائلة على النوافذ والأبواب وجدران المنزل. ويمكن تقليل هذا الفرق في الضغط عن طريق فتح الأبواب والنوافذ؛ وذلك للسماح للهواء بالتدفق بحرية خارج المنزل.

2-4 المواد الصلبة

1. التركيز

نشاط محفّز

معجون اللعب الهلامي يكون الفرق بين المادة الصلبة والسائلة أحيانًا دقيقًا. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك، معجونة اللعب، التي تحضر من مسحوق أبيض متبلور والغراء الأبيض أو من كحول البوليفنيل المتوافر تجاريًّا. وزع كميات من معجون اللعب على الطلبة لدراستها، واسأل الطلبة: هل هذا المعجون مادة صلبة أم سائلة؟ وهل يحتفظ بشكله أم يتدفق؟ وهل يرتد؟ وهل من الممكن تقطيعه؟ وهل يصبح صلبًا عند وضعه في الثلاجة، ثم ينصهر عندما تشكّله بيدك (درجة حرارة جسمك)؟ تعتمد الإجابات على المعجون المستخدم (هناك عدة أنواع منه) ولكنها جميعها تعد نوعًا من أنواع الزجاج البوليمري ذي اللزوجة العالية، وقوة تماسكه قوية جدًّا، ودرجة انصهاره غير محددة تمامًا. لذا يجمع هذا المعجون بين خصائص المواد الصلبة وخصائص المواد السائلة. م 1 **حركي**

الربط مع المعرفة السابقة

التمدد الحراري والطاقة الحركية راجع نموذج المواد الصلبة الممثل بتركيب مكوّن من جسيمات متصل بعضها ببعض بوساطة نوابض. وناقش كيف تؤدي إضافة الطاقة إلى تحريك الجسيمات بنشاط كبير، كما يمكن أن تدفعها لتتحرك مبتعدًا بعضها عن بعض. ثم ناقش كيف تؤثر حركة هذه الأجزاء في حجم المادة الصلبة في بعد واحد وفي بعدين، وفي ثلاثة أبعاد.

الأهداف
- **تربط** خصائص المواد الصلبة بتراكيبها.
- **تفسر** لماذا تتمدد المواد الصلبة وتنقلص عندما تتغير درجة حرارتها.
- **تحسب** التمدد في المواد الصلبة.
- **توضح** أهمية تمدد المواد بالحرارة.

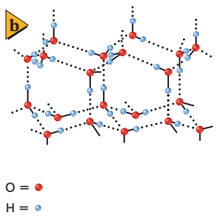
المفردات
الشبكة البلورية
المواد الصلبة غير البلورية
معامل التمدد الطولي
معامل التمدد الحجمي

كيف تختلف الموادّ الصلبة عن السائلة؟ المواد الصلبة قاسية، ويمكن أن تُقطّع عدة قطع، وتحتفظ بشكلها، كما يمكنك دفع المادة الصلبة. أمّا السوائل فتتدفق، وإذا دفعت سائلاً، كالماء مثلاً، بإصبعك. فإن إصبعك يتحرك خلاله، فخصائص المواد الصلبة تختلف عن خصائص المواد السائلة، لكنك إذا شاهدت قطعة من الزبد تُسخّن، وتفقد شكلها، فقد تتساءل عما إذا كان الحد الفاصل بين حالتي الصلابة، والسيولة واضحًا ومحددًا دائمًا.

الأجسام الصلبة Solid Bodies

يصعب التفريق بين المواد الصلبة، والسائلة تحت ظروف معينة ، فمثلاً في أثناء تسخين عبوة زجاجية لصهرها، يتم التغير من حالة الصلابة إلى حالة السيولة بشكل تدريجي، بحيث يصعب معرفة الحالة في لحظة ما. وبعض الموادّ الصلبة ومنها الكوارتز البلوري- يتكون من جزيئات مصطفة بأنماط مرتبة ومنظمة، وبعض المواد الصلبة الأخرى- ومنها الزجاج - مكونة من جزيئات ليس لها ترتيب منتظم، وحالها في ذلك مشابه للسوائل. وكما ترى في **الشكل 17-2**، فالكوارتز والكوارتز غير البلوري (ويسمى أيضا الكوارتز الزجاجي) متماثلان كيميائيًّا، ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة تمامًا.

الشكل 17-2 تترتب الجزيئات في الشبكة البلورية في نمط منظم (**a**). تنصهر المواد الصلبة البلورية عند درجة حرارة معينة. الكوارتز غير البلوري متماثل كيميائيًا مع الكوارتز البلوري، ولكن جزيئاته عشوائية الترتيب. وعندما ينصهر الكوارتز غير البلوري تتغير خصائصه ببطء على مدى معين من درجات الحرارة، مما يسمح بتشكيله بطريقة مشابهة للزجاج المعروف (**b**).



الشكل 18–2 حجم كتلة معينة من الجليد يكون أكبر من حجم نفس الكتلة من الماء (**a**). التركيب البلوري للجليد على شكل شبكة بلورية (**b**).

فعندما تنخفض درجة حرارة السائل ينخفض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وعندما تتباطأ الجزيئات يصبح تأثير قوة التماسك أكبر. وتصبح جزيئات بعض المواد الصلبة متجمدة على نمط ثابت يُسمى **الشبكة البلّورية**، الموضحة في **الشكل 18–2**. وعلى الرغم من أن قوة التماسك تحجز الجزيئات في مكانها، إلا أن الجزيئات في المواد الصلبة البلورية لا تتوقف عن الحركة تمامًا، بل تهتز حول مواضعها الثابتة. وهناك مواد أخرى مثل الزجاج، لا تشكّل جزيئاتها نمطًا بلوريًّا ثابتًا ومحددًا. وهذه المواد التي ليس لها تركيب بلوري منتظم، ولكن لها حجم وشكل محددان تُسمى **المواد الصلبة غير البلورية**، كما تصنّف أيضًا على أنها سوائل لزجة أو بطيئة التدفق.

التمدد الحراري للمواد الصلبة Thermal Expansion of Solids

من الإجراءات المعتادة عند تصميم الجسور الخرسانية، والفولاذية على الطرق السريعة، أن يترك المهندسون فجوات صغيرة (فواصل)، تسمى وصلات التمدد، بين أجزاء الجسور، وذلك للسماح بتمدد أجزاء الجسر في أيام الصيف الحارة. تتمدد الأجسام بمقدار يسير فقط عندما تتعرض للتسخين، ولكن هذا المقدار اليسير قد يكون عدة سنتمترات في حالة جسر طوله 100 m، وإذا أُغفلت فجوات التمدد هذه في التصميم فقد يتقوس الجسر أو تتحطم أجزاؤه. وقد تحطم درجات الحرارة العالية كذلك مسارات السكك الحديدية التي تُغفل فيها وصلات التمدد، انظر **الشكل 19–2**. وتصمم بعض المواد، ومنها زجاج الأفران التي تستخدم في الطبخ، وفي التجارب المخبرية لتتمدّد بأقل ما يمكن. وتصنع مرايا التلسكوبات الكبيرة من مادة السيراميك، والتي تصمّم لتعمل دون تمدد حراري يذكر.

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

الهندسة وعلم المواد يبحث العلماء والمهندسون عن مواد يصممونها لإستخدامات معينة تدخل في تركيب الآلات، أو المركبات أو الأجهزة الإلكترونية. وتتطلب مثل هذه التطبيقات مواد ذات خصائص معينة، منها القوة والصلابة والمرونة، أو ذات مزايا معينة في تمددها الحراري. لذا فإن المهندسين يعملون على تراكيب المادة وتكويناتها الكيميائية، للحصول على هذه الخصائص. فمثلاً، تُستخدم بعض السبائك المعدنية في تصنيع قطع خفيفة قوية مقاومة للحرارة؛ حيث تحتاج الطائرات النفاثة ذات السرعات العالية إلى مثل هذه الخصائص. وقد يقوم علماء آخرون بتصميم قطع مقاومة للحرارة، وتمددها قليل وذات موصلية حرارية عالية، وذلك لتصنيع محركات المركبات أو الأجهزة الإلكترونية الخاصة.

2. التدريس

استخدام الشكل 19–2

سيشاهد الطلبة في هذا الشكل كيف أدى التمدد الحراري للسكك الحديدية إلى أن تصبح في صورة متعرجة. واسأل الطلبة: لماذا تنثني سكة الحديد لمجرد أن القضبان تتمدد بالحرارة؟ ينتج عن التمدد الحراري لقضبان السكك الحديدية قوة كبيرة، تؤثر في المسامير التي تثبت نهايات القضبان بالمرابط، ويمتد تأثير هذه القوى على طول القضبان، وينتج عن ذلك انحناء قضبان سكك الحديد، فإذا كانت قضبان سكة الحديد مستقيمة تمامًا، فإن الانحناء يكون محدودًا، أما سكك الحديد المنحنية أصلًا فقد تؤدي القوى الكبيرة المؤثرة فيها إلى انبعاجها وتقوسها كما في شكل 19–2. ولا يزال السبب وراء عدم تعرض قضبان سكة الحديد المستقيمة تمامًا لمثل هذا الانحناء موضع خلاف، إلا أن التمدد الحراري للمواد الصلبة غير قابل للنقاش؛ إذ يتناسب التغير في طول المادة مع طولها الأصلي. وتكون الحافة الخارجية للقضبان المنحنية أطول من حافتها الداخلية.

تطوير المفهوم

مادة هلامية أم صلبة؟ تُحدث التغيرات في الحركة لذرات المادة الصلبة بسبب الحرارة تغيرات في البنية التركيبية للمادة وأبعادها. كما أن قوى الربط بين جزيئات المادة الصلبة تُبقيها معًا، حيث تميل المادة الصلبة للحفاظ على شكلها، على عكس الموائع. لذا تكون المواد الصلبة مرنة، وتتمدد أو تتقلص بطريقة معروفة جيدًا. وتتكوّن أكثر المواد الصلبة إثارة من جزيئات قابلة للدوران كجزيئات الماء مثلاً أو مصنوعة من جزيئات بوليميرية كبيرة تستطيع أن تدور وتنحني كما في المطاط أو البلاستيك أو المعجون الهلامي الذي نوقش في النشاط المحفز.

ولكي تفهم تمدد الموادّ الصلبة المسخنة، تخيل المواد الصلبة مجموعة من الجزيئات المتصلة معًا بوساطة نوابض، حيث تمثل النوابض قوى التجاذب بين الجزيئات؛ فعندما تصبح الجزيئات قريبة جدًّا بعضها من بعض، فإن النابض يدفعها بعيدًا. وعند تسخّين المادة الصلبة فإن الطاقة الحركية لجزيئاتها تزداد، وتبدأ في الاهتزاز السريع، وتبتعد بعضها عن بعض، مما يُضعف قوى التجاذب بين الجزيئات، فتهتز باضطراب أكثر من السابق؛ بسبب زيادة درجة الحرارة، ويزداد متوسط التباعد بين الجزيئات، مما يؤدي إلى تمددها.

يتناسب التغير في طول المادة الصلبة طرديًّا مع التغير في درجة حرارتها، كما هو موضّح في **الشكل 20–2**. فإذا ازدادت درجة حرارة جسم صلب بمقدار 20 °C، فإن تمدده يساوي ضعفي تمدده عندما تكون الزيادة في درجات حرارته بمقدار 10 °C. ويتناسب التمدّد أيضًا طرديًّا مع طول الجسم، لذا يتمدّد قضيب طوله 2 m ضعفي تمدد قضيب طوله 1 m من المادة نفسها عند التغير نفسه في درجة الحرارة. ويمكن ايجاد الطول

الشكل 19–2 تسبب درجات الحرارة العالية أيام الصيف الحارة تقوس مسارات سكة الحديد.

الجديد L_2 للمادة الصلبة عند درجة حرارة T_2 باستخدام المعادلة الآتية، حيث L_1 الطول عند درجة الحرارة T_1 ؛ أمّا ألفا α، فتمثل **معامل التمدد الطولي للمادة**.

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

باستخدام مبادئ الجبر البسيطة، يمكنك حل المعادلة بالنسبة للمعامل α.

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

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

معامل التمدد الطولي $\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$

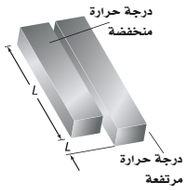
معامل التمدد الطولي يساوي التغير في الطول مقسومًا على الطول الأصلي ومقدار التغير في درجة الحرارة.

ووحدة معامل التمدد الطولي هي $(^\circ C^{-1}$ أو $\frac{1}{^\circ C})$. ولأن الموادّ الصلبة تتمدد في ثلاثة أبعاد فإن **معامل التمدد الحجمي** β، يعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي.

معامل التمدّد الحجمي $\beta = \frac{\Delta V}{V_i \Delta T}$

معامل التمدّد الحجمي يساوي التغير في الحجم مقسومًا على الحجم الأصلي ومقدار التغير في درجة الحرارة.

إن وحدة المعامل β هي $(\frac{1}{^\circ C}$ أو $^\circ C^{-1})$. ويبين **الجدول 2–2** معاملي التمدد الحراري لمجموعة من المواد المختلفة.



الشكل 20–2 يتناسب التغير في طول المادة طرديًا مع الطول الأصلي، والتغير في درجة الحرارة.

الجدول 2–2

معامل التمدد الحراري عند 20 °C

المادة	معامل التمدد الطولي α $(^\circ C^{-1})$	معامل التمدد الحجمي β $(^\circ C^{-1})$
المواد الصلبة		
الألومنيوم	25×10^{-6}	75×10^{-6}
الزجاج (التاجي)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
الزجاج (واقي الفرن)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
الأسمنت	12×10^{-6}	36×10^{-6}
الفولاذ	12×10^{-6}	36×10^{-6}
النحاس	16×10^{-6}	48×10^{-6}
السوائل		
الميثانول		1200×10^{-6}
البنزين		950×10^{-6}
الماء		210×10^{-6}

نشاط

مشروع فيزياء

عالم المواد اطلب إلى الطلبة اختيار مادة لدراستها واستقصاء خصائصها الفيزيائية التي تجعلها مفيدةً. ثم اسألهم: أي حالة من حالات المادة تستخدم فيها تلك المادة؟ وما قيم خصائصها، كتمددها الحراري وكثافتها؟ وما المواد التي تُملأ في منافذ وفجوات داخل أجسام مصنوعة من تلك المادة؟ فالألومنيوم مثلًا معدن رخيص الثمن نسبيًّا، وخفيف وقوي، ولكنه مرن، وليس قويًا كالفولاذ ويتمدد بمقدار أكبر عندما يسخّن. لذا يستخدم الألومنيوم في الطائرات وأواني الطبخ، في حين يستخدم الفولاذ في صناعة المركبات. وللخشب تمدد حراري قليل، كما أن وزنه قليل، ويمتاز بتوصيل حراري ضعيف، لذا يُعد الخشب مناسبًا جدًّا لبناء المنازل التي لا تتكون من طبقات عديدة. م2

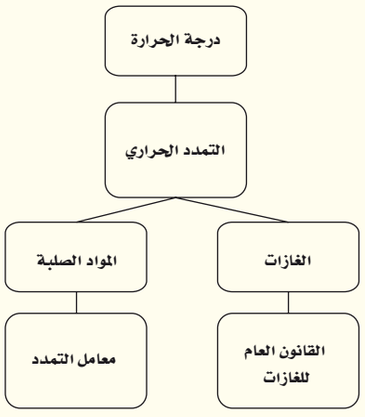
المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

التمدد النسبي قد لا يدرك الطلبة أن مقدار التمدد الحراري للجسم هو تأثير نسبي؛ فعندما تُسخن مسطرة معدنية طولها متر واحد 10°C، سيزداد طولها بمقدار عشر مرات أكثر من مسطرة معدنية طولها 0.1 m تحت الظروف نفسها. وبسبب هذا التأثير فإن الجسم المصنوع من مادة واحدة فقط سيحتفظ بشكله عندما يسخّن أو عندما يُبرّد.

التمدد السالب لا تتمدد جميع المواد عندما تُسخّن. فالمطاط مثلاً يتقلص عند تسخينه، كما أن بعض المواد تعد مفيدة جدًّا؛ لأن أبعادها لا تتغير أبدًا عندما تسخينها.

تقوية

بناء المفهوم تُعد درجة الحرارة مقياسًا لمتوسط الطاقة الحركية للجزيئات في الجسم، كما يعتمد التمدد الحراري على حركة هذه الجزيئات. لذا اطلب إلى الطلبة تكوين خريطة مفاهيمية باستخدام درجة الحرارة، والتمدد الحراري، ومعامل التمدد، والمواد الصلبة، والغازات، والقانون العام للغازات. واطلب إليهم مناقشة الطلبة الآخرين في هذه الخريطة تحت إشرافك. ستكون إحدى الخرائط الممكنة شبيهة بالخريطة التالية: م2



التفكير الناقد

التمدد والكثافة اسأل الطلبة: ماذا يحدث لكتلة جسم ما وكثافته عندما يتمدد؟ عدد ذرات الجسم وكتلته الكلية لا يتغيران، في حين يزداد حجمه. لذا فإن كثافة الجسم (كتلة وحدة الحجوم) تقل عندما يتمدد.

مثال صفي

سؤال شريط من الألومنيوم مستطيل الشكل، وله الأبعاد التالية: $0.015\ m \times 0.125\ m \times .45\ m$ عند درجة حرارة $30.0\ ^\circ C$. إذا سُخِّن القضيب بشكل منتظم لدرجة حرارة $310.0\ ^\circ C$ فما الأبعاد الجديدة للشريط؟

الجواب

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

أو

$$L_2 = L_1 (1 + \alpha (T_2 - T_1))$$

حيث

$$(1 + \alpha (T_2 - T_1) = 1 + (25 \times 10^{-6}\ /^\circ C)$$

$$(310.0^\circ C - 30.0^\circ C) = 1.007$$

لذا فإن الأبعاد الجديدة هي:

$$(0.0150\ m)\ (1.007) = 0.0151\ m$$

$$(0.125\ m)(1.007) = 0.126\ m$$

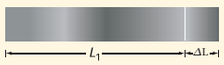
$$(1.45\ m)(1.007) = 1.46\ m$$

مثال 4

التمدّد الطولي قضيب معدني طوله $1.60\ m$ عند $21^\circ C$، فإذا وضع هذا القضيب في فرن وسُخّن إلى درجة حرارة $84^\circ C$، وقيس طوله فوجد أنه ازداد بمقدار $1.7\ mm$، احسب معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها القضيب.

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح بالرسم القضيب الذي ازداد طوله بمقدار $1.7\ mm$ عند درجة حرارة $84^\circ C$ وأصبح طوله أكبر مما كان عليه عند درجة حرارة $21^\circ C$.
- حدد الطول الأصلي للقضيب L_1، والتغير في الطول ΔL.



المعلوم	المجهول
$L_1 = 1.60\ m$	$\alpha = ?$
$\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$	
$T_1 = 21\ ^\circ C$	
$T_2 = 84\ ^\circ C$	

2 إيجاد الكميات المجهولة

احسب معامل التمدّد الطولي مستخدمًا الطول المعلوم، والتغير في كل من الطول ودرجة الحرارة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

بالتعويض عن $\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$ ، $L_1 = 1.60\ m$

$$\alpha = \frac{1.7 \times 10^{-3}\ m}{(1.60\ m)\ (84^\circ C - 21^\circ C)}$$

$$\Delta T = (T_2 - T_1) = 84^\circ C - 21^\circ C$$

$$= 1.7 \times 10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم التعبير عن الوحدات بطريقة صحيحة بوحدة $^\circ C^{-1}$.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار المعامل قريب من القيمة المقبولة للنحاس.

مسائل تدريبية

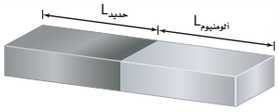
30. قطعة من الفولاذ طولها 11.5 cm عند 22°C، فإذا سُخّنت حتى أصبحت درجة حراراتها 1221°C، وهي قريبة من درجة حرارة انصهارها، فكم يبلغ طولها بعد التسخين؟(معامل التمدد الطولي للفولاذ $12 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$)

31. مُلئ وعاء زجاجي سعته 400 ml عند درجة حرارة الغرفة، بماء بارد درجة حرارته 4.4°C. احسب مقدار الماء المنسكب من الوعاء عندما يسخن الماء إلى 30.0°C .

32. حُفر ثقب قطره 0.85 cm في صفيحة من الفولاذ عند 30.0°C فكان الثقب يتسع بالضبط لقضيب من الألومنيوم له القطر نفسه. احسب مقدار الفراغ بين الصفيحة والقضيب عندما يبردان لدرجة حرارة 0.0°C.

مسألة تحدٍّ

تحتاج إلى صنع قضيب طوله 1.00 m، يتمدّد بازدياد الحرارة بالطريقة نفسها التي يتمدد بها قضيب من النحاس طوله 1.00 m. يشترط في القضيب المطلوب أن يكون مصنوعًا من جزأين، أحدهما من الفولاذ، والآخر من الألومنيوم موصولين معًا، كما يبين الشكل. فكم يجب أن يكون طول كل منهما؟



مسائل تدريبية

30. 12 cm

31. 2 mL

32. 1.6×10^{-4} cm

مسألة تحدٍّ

$$L_{نحاس} = L_{ألومنيوم} + L_{فولاذ}$$

$$\alpha_{نحاس} L_{نحاس} \triangle T = (\alpha_{ألومنيوم} L_{ألومنيوم} + \alpha_{فولاذ} L_{فولاذ}) \triangle T$$

عوض مستخدمًا $L_{ألومنيوم} = L_{نحاس} - L_{فولاذ}$

فينتج

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

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

$$= 0.69\ m$$

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

$$= 1.00\ m - 0.69\ m = 0.31\ m.$$

تجربة إضافية

الأقراص القفازة

الهدف إظهار معدلات مختلفة لتمدد الفلزات.

المواد والأدوات أقراص قفازة (شريط ثنائي الفلز)

الخطوات افحص القرص القفاز، ولاحظ أنه منحنٍ قليلاً. وادلك القرص ثواني عدة حتى يصبح منحنيًا في الاتجاه الآخر. ثم ضعه على سطح مستوٍ وقف بعيدًا عنه. تؤدي الحرارة الناتجة عن يدك إلى تمدد السطح السفلي للقرص بمقدار أكبر من سطحه العلوي. فينتج عن هذا التباين في التمدد انحناء القرص بشكل عكسي مما يجعل القرص يقفز.

التقويم هل يتغير شكل أو انحناء الجسم المصنوع من نوع واحد من الفلزات عند تسخينه؟ لا؛ فالأجسام المصنوعة من أكثر من مادة هي وحدها التي يتغير شكلها وانحناؤها انحناؤها عند تسخينها.

تطبيقات التمدّد الحراري تتمدّد المواد المختلفة بمعدلات مختلفة، كما أشير إليها بمعاملات التمدّد المختلفة الموضحة في **الجدول 2–6**. وعلى المهندسين الأخذ بعين الاعتبار معدلات التمدّد المختلفة هذه، عند تصميم المباني. فمثلاً، تستخدم القضبان الفولاذية غالبًا لتقوية الأسمنت، لذا يجب أن يكون للفولاذ، والأسمنت معامل التمدد نفسه، وإذا لم يكن كذلك؛ فإن المبنى سيتصدع في الأيام الحارّة. وبطريقة مماثلة، يكون على طبيب الأسنان استخدام الموادّ التي يحشو بها الأسنان بحيث تتمدد وتتقلص بالمعدل نفسه لتمدد مينا الأسنان.

إنّ المعدلات المتباينة للتمدد لها تطبيقات مهمة؛ فمثلاً يستفيد المهندسون من هذه الاختلافات في صنع أداة مفيدة تُسمى المزدوج الحراري، وهي عبارة عن شريحة ثنائية الفلز تستخدم في منظمات الحرارة (أجهزة الثرموستات.)

الشكل 21–2 في منظم الحرارة (الثيرموستات) المبين هنا، يتحكم شريط حلزوني الشكل مصنوع من فلزين (مزدوج حراري) في تدفق الزئبق لفتح الدوائر الكهربائية وإغلاقها..

يتكون المزدوج الحراري من شريحتين من فلزين مختلفين، مثبتتين إحداهما إلى جوار الأخرى، وتكون إحداهما عادة من النحاس الأصفر والأخرى من الحديد، وعند تسخينهما يتمدد النحاس الأصفر أكثر من الحديد. وعندما يُسخّن الشريط الثنائي الفلز (النحاس الأصفر والحديد)، يصبح جزء النحاس أطول من جزء الحديد، ونتيجة لذلك ينحني الشريط الثنائي الفلز بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للمنحنى، وعندما يبرد ينحني في الاتجاه العكسي، حيث يكون النحاس في الجزء الداخلي للمنحنى.

يُركّب الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة (الثرموستات) في أجهزة التدفئة المنزلية، كما في **الشكل 21–2**، بحيث ينحني في اتجاه نقطة التوصيل الكهربائي عندما تبرد الغرفة؛ فعندما تنخفض درجة حرارة الغرفة أقل من درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات ينحني الشريط الثنائي الفلز بمقدار يكون كافيًا لإحداث توصيل كهربائي مع المفتاح حيث يُشغِّل المُسخِّن، وحينما تصل درجة حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات تفتح الدائرة الكهربائية، ويتوقف المسخِّن عن العمل. أما في أجهزة التبريد فيصمم الشريط الثنائي الفلز بحيث ينحني لإحداث توصيل كهربائي يشغل المبرد إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى حد معين في جهاز الثيرموستات، وعندما تنخفض الحرارة عن حد معين ينحني في الاتجاه المعاكس، فيوقف عمل المبرد.

3. التقويم

التحقق من الفهم

التمدد الحراري اسأل الطلبة: ماذا تعني قيمة الإجابة السالبة إذا حصلوا عليها في حسابهم للتغير في الطول في المسائل المتعلقة بالتمدد الحراري؟ تشير الإجابة السالبة إلى التقلص وليس إلى التمدد. واسألهم كيف يختبرون ما إذا كانت إجاباتهم عن مثل هذه المسائل منطقية؟ تتمدد معظم الأجسام عند تسخينها، إلا أن التغير في الطول يكون قليلاً جدًّا عادة. فإذا كانت نتيجة حساباتك تشير إلى زيادة طول الجسم عند تبريده، فاعلم أن شيئًا ما غير صحيح. م 2

إعادة التدريس

فتح برطمان المايونيز اسأل الطلبة: لماذا يصبح غطاء معدني محكم الإغلاق لبرطمان زجاجي أقل إحكامًا في اغلاقه بعد تسخينه بسكب الماء الساخن عليه؟ عندما ترتفع درجة حرارة المعدن يتمدد الغطاء مما يؤدي إلى توسيع فتحته؛ لأن المعدن يسخن أسرع من الزجاج، ويتمدد أكثر منه. م 3

2-4 مراجعة

33. **التقلص الحراري النسبي** إذا ركَّبت بابًا من الألومنيوم في يوم حار على إطار باب من الأسمنت، وأردت أن يكون الباب محكم الإغلاق تمامًا في أيام الشتاء الباردة، فهل ينبغي أن تجعل الباب محكمًا في الإطار أم تترك فراغًا إضافيًّا؟

34. **حالات المادة** لماذا يعد الشمع مادة صلبة؟ ولماذا يُعد أيضًا سائلاً لزجًا؟

35. **التمدد الحراري** هل يمكنك تسخين قطعة من النحاس بحيث يتضاعف طولها؟

36. **حالات المادة** هل يزودنا **الجدول 2–2** بطريقة مناسبة للتمييز بين الموادّ الصلبة، والسوائل؟

37. **التفكير الناقد** إذا قطعت من الحلقة الحديدية الصلبة في **الشكل 22–2** قطعة صغيرة مخلفة فجوة في الحلقة. وسُخِّنت الحلقة، فهل تصبح الفجوة أكبر أم أصغر؟ وضح إجابتك.

الشكل 22–2

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمراجعة هذا الفصل ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

2-4 مراجعة

33. اجعل الباب محكمًا في الاطار.

34. يمكن أن يُعد الشمع مادة صلبة لأن حجمه وشكله محددان. ويمكن اعتباره مائعًا لزجًا لأن جسيماته لا تشكّل نمطًا بلوريًّا ثابتًا.

35. لمضاعفة طول قطعة النحاس يجب أن تزداد درجة حرارتها بمقدار $6.3 \times 10^4\ ^\circ C$. وعند تلك الدرجة يتبخر النحاس.

36. معاملات التمدد الحجمي للسوائل أكبر كثيرًا من معاملات التمدد الحجمي للمواد الصلبة.

37. ستصبح الفجوة أكثر اتساعًا.

الزمن المقترح حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية استخدام التفسير العلمي، والملاحظة والاستنتاج، والمقارنة، وصنع النماذج، والتفكير الناقد، والقياس، واستخلاص النتائج، وجمع البيانات وتصنيفها.

احتياطات السلامة

- يجب إجراء هذه التجربة داخل خزانة طرد الغازات أو في أي مكان ذي تهوية جيدة.
- المواد الكيميائية المستخدمة في التجربة سامة وقابلة للاشتعال.
- راجع دليل إجراءات الأمن والسلامة لمعرفة المواد الخطرة المستخدمة في التجربة.
- لا تستنشق الغازات.
- لا تستخدم أي مصدر لهب بالقرب من السوائل.
- تجنب ملامسة المواد الكيميائية للجلد أو الملابس.
- أرشد الطلبة لاتباع احتياطات الأمن والسلامة والتعليمات العملية، عندما يتخلصون من الكحول وأوراق الترشيح المبللة.
- على الطلبة أن يغسلوا أيديهم إذا لامست الكحول، كما يجب غسلها بعد إجراء التجربة.

الموادّ البديلة لا تستخدم مقياس الحرارة الزئبقي في هذه التجربة.

استراتيجيات التدريس

- **اختبر الكحول المستخدم في هذه التجربة قبل تنفيذها مع الطلبة، وذلك بمساعدة مدرسي الكيمياء في مدرستك. ويجب حفظ الكحول في خزانة خاصة؛ لأنه مادة متطايرة وقابلة للاشتعال.**

مختبر الفيزياء

التبريد بالتبخر

هل سبق أن سكبت كمية صغيرة من الكحول على جلدك؟ من المحتمل أنك قد شعرت بالبرودة. وقد تعلمت سابقًا أن هذه البرودة تكون نتيجة التبخر. ستختبر في هذه التجربة المعدلات التي تتبخر بها أنواع مختلفة من الكحول. إن الكحول مادة مكونة من مجموعة الهيدروكسيل الوظيفية ($-OH$) مرتبطة مع الكربون أو مع سلسلة كربونية. وستستنتج من خلال ملاحظاتك عن التبريد بالتبخر، قوى التماسك النسبية في الكحول الخاضع للاختبار.

سؤال التجربة

ما الفرق بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول؟

الأهداف

- تجمع البيانات حول تبخر أنواع مختلفة من الكحول وتنظمها.
- تقارن بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول.
- تحلّل سبب تبخر بعض أنواع الكحول، بمعدل أكبر مقارنة بالأنواع الأخرى.
- تستنتج العلاقة بين قوى التماسك، ومعدلات التبخر.

المواد والأدوات

ميثانول (كحول الميثيل)
إيثانول (كحول إيثيلي)
2 – بروبانول (كحول إيزوبروبيلي)
شريط لاصق (قطعتان)
مقياس حرارة (غير زئبقي)
ورق ترشيح (ثلاث قطع 2.5 cm × 2.5 cm)
رباطات مطاطية صغيرة

احتياطات السلامة

- **الموادّ الكيميائية المستخدمة في هذه التجربة قابلة للاشتعال وسامّة، فلا تستنشق الأبخرة المتصاعدة من هذه الكيماويات، ولا تترك مصدرًا مشتعلاً بالقرب من هذه المواد، واستخدم هذه المواد في غرفة جيدة التهوية أو تحتوي على جهاز طرد الغازات.**
- احذر ملامسة هذه المواد لجلدك أو ملابسك، وأخبر معلمك فورًا، إذا وقع حادث أو انسكبت إحدى هذه الموادّ.
- اغسل يديك جيدًا بعد إنهاء التجربة.

الخطوات

1. غلّف مقياس الحرارة بقطعة مربعة الشكل من ورق الترشيح، وثبتها جيدًا بوساطة رباط مطاطي صغير.
2. أحضر إناءً صغيرًا فيه ميثانول، وضع نهاية مقياس الحرارة المغطاة بالورقة فيه . ولا تدع الإناء ينقص، واترك مقياس الحرارة في الإناء دقيقة واحدة.
3. سجّل بعد دقيقة واحدة درجة الحرارة التي يقرؤها مقياس الحرارة في جدول البيانات في العمود T_1. حيث تمثل هذه القراءة درجة الحرارة الابتدائية للميثانول.
4. أزل مقياس الحرارة من الميثانول وضعه على حافة الطاولة، بحيث يمتد طرف مقياس الحرارة 5 cm تقريبًا خلف الحافة. واستخدم الشريط اللاصق لتثبيت مقياس الحرارة في مكانه.

عينة بيانات

ستختلف البيانات اعتمادًا على ظروف درجة الحرارة والرطوبة.

السائل	T_2(°C)	T_1(°C)	$\triangle T$ (°C)
كحول الميثيل	24.0	12.0	12.0
كحول الإيثيل	24.1	16.3	7.8
كحول الأيزوبروبيل	24.2	18.5	5.7

جدول البيانات			
السائل	T_2 (°C)	T_1 (°C)	ΔT (°C)
الكحول الميثيلي			
الكحول الإيثيلي			
الكحول الأيزوبروبيلي			

5. راقب درجة الحرارة خلال التجربة، وبعد مضي أربع دقائق راقب، ثم سجل درجة الحرارة في جدول البيانات في العمود T_2.
6. أزل الرباط المطاطي من مقياس الحرارة، وتخلص من ورقة الترشيح حسب تعليمات المعلم.
7. كرّر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا الإيثانول سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.
8. كرّر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا الأيزوبروبيل سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسر النتائج** هل أظهر مقياس الحرارة في أثناء محاولاتك ارتفاعًا في درجة الحرارة أم انخفاضًا؟ ولماذا؟
2. احسب ΔT لكل من السوائل، وذلك بإيجاد الفرق بين درجة الحرارة النهائية، ودرجة الحرارة الابتدائية للسوائل ($T_2 - T_1$).
3. استخدم الصيغ الكيميائية للميثانول (CH_3OH)، والإيثانول (C_2H_5OH)، الأيزوبروبيل (C_3H_7OH) لتحديد الكتلة المولية، لكل من المحاليل التي تم اختبارها. ستحتاج إلى الرجوع للجدول الدوري لحساب الكتلة المولية.
4. **استنتج** ماذا تستنتج من قيمة ΔT في كل محاولة بالنسبة لمعدل التبخر، للأنواع المختلفة من الكحول؟
5. **التفكير الناقد** لماذا وُضع الورق على مقياس الحرارة بدلاً من استخدام مقياس الحرارة وحده؟

الاستنتاج والتطبيق

1. استخدم معدلات التبخر للكحول التي درستها، في هذه التجربة، وحدد أي أنواع الكحول قوة تماسكه أكبر؟
2. أي أنواع الكحول قوة تماسكه أقل؟
3. ما العلاقة العامة التي وجدتها بين مقدار التغير في درجة الحرارة (ΔT)، والكتلة المولية للكحول؟
4. **كوّن فرضية** هل يؤدي تشغيل مروحة في المختبر إلى تغيير درجة حرارة الغرفة؟ وهل يغير قيمة ΔT التي راقبتها؟ وضح ذلك.

التوسع في البحث

توقع مقدار ΔT لكحول بيوتانول الذي صيغته الكيميائية C_4H_9OH، بالنسبة إلى قيم ΔT، لأنواع الكحول التي اختبرتها.

الفيزياء في الحياة

بدأت دوائر الأرصاد الجوية حديثًا في استخدام دليل برودة الرياح، وكانت خرائط الطقس القديمة تعتمد على البيانات المستخلصة من تجارب تجمد الماء التي أجريت في منطقة القطب الجنوبي سنة 1940م. وضح كيف ترتبط برودة الرياح مع التبريد بالتبخر؟ ولماذا تعد هذه الظاهرة مهمة في الطقس البارد؟ وما التعديل الذي أضافته الخرائط الحديثة للخرائط القديمة؟

التحليل

1. تنخفض درجة الحرارة. فالتبخر يعد عملية تبريد.
2. عينة إجابات: ميثانول 12.0° C، إيثانول 7.8 °C، كحول أيزوبروبيل 5.7 °C
3. ميثانول 32 g /mol، إيثانول 46g /mol، كحول أيزوبروبيل 60 g /mol.
4. كلما زادت قيمة ΔT زاد معدل التبخر.
5. لأن الورق يمتص الكحول ويبقية قريبًا من مقياس الحرارة على العكس من الزجاج. كما تحتفظ الورقة بالكحول فترة زمنية أطول تكون كافية للحصول على القراءات الضرورية.

الاستنتاج والتطبيق

1. لأن كحول الأيزوبروبيل هو الأبطأ في التبخر، فستكون قوى تماسكه هي الأكبر.
2. الميثانول هو الأسرع في التبخر، لذا فقوى تماسكه هي الأضعف.
3. كلما ازدادت الكتلة المولية للكحول، ازدادت قوى التماسك، وتناقص معدل التبخر.
4. ستعمل المروحة على زيادة معدل التبخر، ويزيد معدل التغير في درجة الحرارة (ΔT).

التوسع في البحث

إن ΔT لـ 1- بيوتانول (كتلته المولية 74 g /mol) ستكون أقل من التغيرات الملاحظة للكحول قيد الاختبار.

الفيزياء في الحياة

تزيد برودة الرياح معدل تبخر الرطوبة من الجلد. يأخذ دليل برودة الرياح بعين الاعتبار تأثيرات زيادة التبريد التبخري والحملي. ويمكن خلال الطقس البارد أن تزيد الرياح كثيرًا من خطر الإصابات المرتبطة مع البرد، ومنها قرصة الصقيعة.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية يستطيع الطلبة إحضار أو اقتراح أنواع أخرى من السوائل لاختبارها؛ للإجابة عن الأسئلة التالية: أي أنواع السوائل تتبخر أسرع؟ وأيها له أقل معدل تبخر؟ وهل لتلك السوائل خصائص مشتركة أخرى؟ اسأل الطلبة إذا كان بإمكانهم استخدام نتائج تجاربهم لتطوير نظام لتصنيف السوائل. وحفّزهم على استخدام النتائج؛ وذلك لابتكار طريقةٍ ما لمعرفة سائل مجهول وتحديده من قائمة تحتوي على خيارات متعددة. واتبع احتياطات السلامة لجميع السوائل المتوافرة لدى الطلبة.

الخلفيّة العلميّة

في أثناء عملية التبريد بالليزر ترتد فوتونات الليزر عن الذرات، لكنها أيضًا تدفع الذرات، وتعد عملية دفع الذرات هذه عاملًا محددًا لكفاءة التبريد بالليزر؛ إذ تنتقل إلى الذرات طاقة حرارية تعيق وصولها إلى درجات الحرارة المنخفضة التي يتطلبها تكوين تكاثف بوزانيشتاين (BEC). أما التبريد بالتبخر فإن المصائد المغناطيسية تحجز الذرات في موقع لا يوجد فيه فوتونات لتسخينها. ومن الصعوبات التي لا بد من التغلب عليها في إيجاد تطبيقات لـ BEC، الهشاشة المفرطة، فحتى التغيرات الطفيفة في البيئة المسيطر عليها بعناية فائقة يمكن أن تدمر العينة، كما تتلف خصائص العدد القليل من الذرات (بعض ملايين فقط) التي تم تجميعها حتى الآن. ويسعى الفيزيائيون أيضًا إلى استخدام ذرات مختلفة في حالة تكاثف بوز- أينشتاين (BEC).

استراتيجيات التدريس

- اطلب إلى الطلبة كتابة قصة تتضمن التفاصيل العلمية الدقيقة حول كيفية استخدام تقنية تكاثف بوز- أينشتاين في المستقبل.
- اطلب إلى الطلبة بناء اختبار قصير (مع الإجابات) اعتمادًا على المقال. واجمع الاختبارات القصيرة، واطرح على طلبة صفك أفضل الأسئلة.

المناقشة

تصوير تكاثف بوز- أينشتاين يؤدي التصوير دورًا مهمًّا في فهم بنية الذرات في تكاثف بوز- أينشتاين. ناقش الطلبة في الطرائق التي يمكن من خلالها الحصول على صورة لتكاثف بوز- أينشتاين. أولاً ناقش الطلبة في كيفية الحصول على صور للحالات الأخرى للمادة (التصوير بالأشعة، التصوير بالفيديو)، وفي مزايا هذه التقنيات، وعيوبها، وهل من الممكن تطبيق أي من التقنيات السابقة على تكاثف بوز- أينشتاين؟ واطلب إلى الطلبة التفكير في أي خصائص تكاثف بوز- أينشتاين (مثل درجة الحرارة والحجم وقابلية التحطم (الهشاشة)) يمكن أن تشكّل تحديًا لعملية التصوير.

التوسع في البحث

1. ستختلف الإجابات. قد يذكر الطلبة أنه من الصعب جدًّا إيجاد حالة BEC، وتكون قابلة للتطبيق فقط تحت ظروف خاصة جدًّا محدودة ومقيدة في مختبر الفيزياء.
2. مع أن الظرفين الذين تحدث فيها العمليتان تبدوان ظاهريًّا مختلفين جدًّا، إلا أن ظرف العملية الأساسية للتبريد التبخري مماثل لظرف الآخرى. فعندما تغادر الجسيمات (الذرات أو الجزيئات) ذات الطاقة الحركية الكبيرة العينة تكون الجسيمات المتبقية ذات متوسط طاقة حركية منخفض أو درجة حرارة منخفضة.

الإثراء العلمي

المادة العجيبة A Strange Matter

أصبحت حالات المادة الأربع الأكثر شيوعًا (الصلبة، والسائلة، والغازية، والبلازما) مألوفة لديك، ولكن هل علمت أن هناك حالة خامسة للمادة؟ تَعرَّفْ تكاثف بوز - أينشتاين (BEC).

ما تكاثف بوز - أينشتاين؟ إن بدايات BEC كانت عام 1920م من خلال الدراسات التي قام بها ستندراناث بوز على قوانين فيزياء الكم التي تخضع لها طاقات الفوتونات. فقد طبّق أينشتاين معادلات بوز على الذرات، وأظهرت المعادلات أنه إذا كانت درجة الحرارة منخفضة لذرات معينة، فإن معظم الذرات ستكون في مستوى الطاقة الكمي نفسه. وبتعبير آخر، عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا تهبط الذرات التي تحتل مستويات مختلفة للطاقة فجأة إلى أقل مستوى ممكن للطاقة. وعند درجات الحرارة هذه - والتي لاتوجد في الطبيعة، ولكن يمكن إيجادها في المختبر باستخدام تقنية متقدمة جدًّا - لايمكن التمييز بين ذرات BEC كما تكون مواقعها متماثلة.

كيف نشأت BEC؟ تمكن العالمان إيرك كورنيل، وكارل وايمن من التوصل إلى أول حالة BEC في عام 1995م، ولإيجاد BEC استخدم العالمان ذرات عنصر الروبيديوم. وكان عليهما أن يقررا كيفية تبريد هذه الذرات إلى درجة حرارة أخفض من أي درجة تم الوصول إليها حتى تلك اللحظة.

وقد تندهش عندما تعلم أن إحدى الخطوات المهمة للوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا، هي استخدام أشعة الليزر لتبريد ذرات الروبيديوم. يمكن لليزر صهر الفلز، ويمكنه أيضًا تبريد عينة من الذرات إذا ضُبط لكي ترتد فوتوناته عن الذرات، وفي هذه الحالة ستحمل الفوتونات جزءًا من طاقة الذرات ممّا يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة العينة، ولكن أشعة الليزر لن تُبرّد العينة، إذا لم يتم ضبطها بدقة عالية.

وعندما تُضبط أشعة الليزر عند التردّد المناسب، فإن النتيجة تكون عبارة عن عينة ذراتها باردة جدًّا.

تُحفظ هذه المادة المتكوّنة في حيِّز يحدده شعاع الليزر مع المجال المغناطيسي، ولا تُحفظ في وعاء ماديّ لمنع حدوث تماسٌّ حراري يكسبها حرارة.

تُبرّد هذه العينة عن طريق الليزر إلى درجة حرارة ($\frac{1}{10000}$ K) تقريبًا)، لكنها بذلك لن تكون باردة بما يكفي لتكوين BEC، لذا يستخدم العلماء التبريد بالتبخر لإنجاز الخطوة النهائية للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. وتتم عملية التبريد بالتبخر كالآتي:

تُحتوى المادة الناتجة بوساطة وعاء مغناطيسي أقوى من ذي قبل، مما يسمح للذرات ذات الطاقة الأعلى بالانطلاق تاركة الذرات ذات الطاقة المتدنية جدًّا، وهذه هي الذرات التي تتكاثف فجأة لتكوين BEC.

التوسع

1. **قوِّم** الصعوبات التي من الممكن أن تواجه العلماء للتغلب على إيجاد تطبيقات لحالة BEC.
2. **قارن** هل عملية التبريد بالتبخر التي توجد حالة BEC هي العملية نفسها التي تساعدك على الحفاظ على برودتك في يوم حار؟ وضح ذلك

80

المفاهيم الرئيسة

يمكـن أن يسـتخدم الطلاب العبـارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

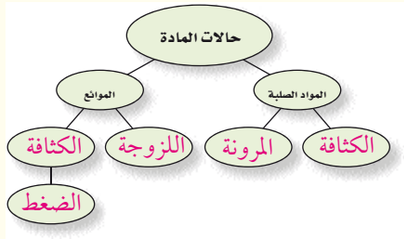
الفصل 2
دليل الدراسة

2—1 خصائص الموائع	Properties of fluids
المفردات • الموائع • الضغط • باسكال • القانون العام للغازات • قانون الغاز المثالي • التمدد الحراري • البلازما	**المفاهيم الرئيسة** • من خصائص المواد في الحالة السائلة القدرة على التدفق، وعدم ثبات الشكل. • الضغط يساوي القوة مقسومة على المساحة التي تؤثر فيها القوة. $P = \frac{F}{A}$ • يمكن استخدام القانون العام للغازات لحساب التغير في الحجم، ودرجة الحرارة، وضغط الغاز المثالي. $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ • يمكن كتابة قانون الغاز المثالي على النحو التالي: $PV = nRT$
2—2 القوى داخل السوائل	**Forces within Liquids**
المفردات • قوى التماسك • قوى التلاصق	**المفاهيم الرئيسة** • قوى التماسك هي قوى التجاذب التي تؤثر بها الجزيئات المتماثلة بعضها في بعض، وينتج عن قوى التماسك كلٌ من التوتر السطحي، واللزوجة. • قوى التلاصق هي قوى تجاذب تؤثر بها جزيئات المواد المختلفة بعضها في بعض، وتنتج عن قوى التلاصق الخاصية الشعرية.
2—3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة	**Fluids at Rest and in Motion**
المفردات • مبدأ باسكال • قوة الطفو • مبدأ أرخميدس • مبدأ برنولي • خطوط الانسياب	**المفاهيم الرئيسة** • ينتقل التغير في الضغط، دون نقصان، خلال السائل اعتمادًا على مبدأ باسكال. $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$ • يتناسب الضغط عند عمق معين طرديًّا مع وزن المائع عند ذلك العمق. $P = \rho hg$ • قوة الطفو تساوي وزن المائع المزاح بوساطة جسم اعتمادًا على مبدأ أرخميدس. $F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} Vg$ • ينص مبدأ برنولي على أن ضغط المائع ينخفض كلّما ازدادت سرعته.
2—4 المواد الصلبة	**Solids**
المفردات • الشبكة البلورية • المواد الصلبة غير البلورية • معامل التمدد الطولي • معامل التمدد الحجمي	**المفاهيم الرئيسة** • تترتب الجزيئات في المواد الصلبة البلورية وفق نمط منتظم، أما المواد الصلبة غير البلورية فلا يوجد لجزيئاتها نمط منتظم. • يتناسب التمدد الحراري طرديًّا مع التغير في درجة الحرارة، والحجم الأصلي، ويعتمد ذلك على نوع المادة. $\beta = \frac{\Delta V}{V_i \Delta T}$ $\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \Delta T}$

التقويم

خريطة المفاهيم

38.



إتقان المفاهيم

39. تعتمد القوة فقط على دفع الجسم أو سحبه. في حين يعتمد الضغط على القوة كما يعتمد على المساحة التي تؤثر فيها القوة.

40. لن يتغير حجم السائل، وسيتمدد الغاز حسب حجم الوعاء الذي يحويه.

41. كلاهما ليس له حجم أو شكل محدد. إن جسيمات البلازما ذات طاقة عالية جدًّا، وتستطيع البلازما إيصال الكهرباء، يتكون الغاز من ذرات والبلازما من ايونات موجبة الشحنة والكترونات سالبة الشحنة.

42. بلازما الشمس حارة جدًّا، والأكثر أهمية من ذلك أن كثافتها عالية جدًّا لدرجة أن كثافتها أكبر من كثافة أغلب المواد الصلبة على الأرض.

43. لكي ينصهر الجليد يجب أن يمتص كمية من الطاقة الحرارية اللازمة لانصهاره من الهواء والماء، مما يؤدي إلى تبريد الهواء فوقه.

44. يتبخر الماء الموجود في كيس القماش ممتصًّا الطاقة من المطرة (القِرْبة) ومن الماء الذي داخلها.

45. تتوزع التغيرات في الضغط بالتساوي على جميع أجزاء الإناء، حيث يتزايد الضغط عند القمة.

46. يتناقص ضغط الماء حسب مبدأ برنولي.

47. توضح أنابيب الاتزان أن الضغط لا يعتمد على شكل الوعاء.

48. حجم الماء أو شكله غير مهمين، بل المهم هو العمق فقط. لذا يكون الضغط متساويًا في كلتا الحالتين.

49. تترتب الذرات في المادة البلورية في نمط مرتب، أمّا في المادة غير البلورية فتكون الذرات عشوائيَّة، اي ليس لها نمط مرتب.

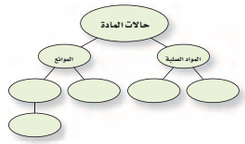
50. لا؛ فمعامل التمدد مقياس لتمدد الجسم بالنسبة لطوله الكلي. أما الوحدات والطول الكلي فلا يغيران من قيمة α.

تطبيق المفاهيم

51. يزداد الضغط، ويبقى الوزن كما هو، فالضغط هو القوة المؤثرة في وحدة المساحة.

خريطة المفاهيم

38. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا المصطلحات التالية: الكثافة، اللزوجة، المرونة، الضغط. (يمكن استخدام المفهوم الواحد أكثر من مرة).



إتقان المفاهيم

39. كيف تختلف القوة عن الضغط؟

40. حُصِر غاز في وعاء مغلق بإحكام، ووضع سائل في وعاء له الحجم نفسه وكان لكل من الغاز والسائل حجم محدد، فكيف يختلف أحدهما عن الآخر؟

41. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الغازات والبلازما؟

42. تتكون الشمس من البلازما، فكيف تختلف بلازما الشمس، عن تلك التي على الأرض؟

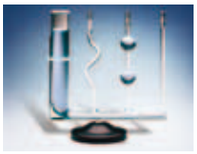
43. تنصهر البحيرات المتجمدة خلال فصل الربيع، فما تأثير ذلك في درجة حرارة الهواء فوق البحيرة؟

44. **الكثافة** تُغطي المطرات التي يستخدمها الكشافة أحيانًا بكيس من قماش الكتّان. إذا رطّبت الكيس الذي يغطي المطرة فإن الماء في المطرة سيبرد. فسر ذلك.

45. ماذا يحدث للضغط عند قمة الإناء إذا ازداد الضغط عند قاعه اعتمادًا على مبدأ باسكال؟

46. ينتقل تيار مائي خلال خرطوم ويخرج من فوهته. فماذا يحدث لضغط الماء عندما تزداد سرعته؟

47. بم تخبرك الأواني المستطرقة الموضحة في الشكل 23–2 عن الضغط المؤثر بوساطة السائل؟



الشكل 23–2

48. قارن بين ضغط الماء على عمق 1 m تحت سطح بركة صغيرة، وضغط الماء عند العمق نفسه تحت سطح بحيرة؟

49. كيف يختلف ترتيب الذرات في المادة البلورية عن ترتيبها في المادة غير البلورية؟

50. هل يعتمد معامل التمدد الطولي على وحدة الطول المستخدمة؟ فسر ذلك.

تطبيق المفاهيم

51. يستقر صندوق على شكل متوازي مستطيلات على وجهه الأكبر على طاولة. فإذا أدير الصندوق بحيث أصبح يستقر على وجهه الأصغر، فهل يزداد الضغط على الطاولة، أم ينقص أم يبقى دون تغيير؟

52. بَيّن أن وحدة الباسكال تكافئ وحدة $kg/m.s^2$.

53. **شحن البضائع** أيهما تغوص لمسافة أعمق في الماء: باخرة مملوءة بكرات تنس الطاولة أم باخرة فارغة مماثلة لها؟ فسر إجابتك.

54. احسب عمق وعاء من الماء الضغط عند قاعه يساوي قيمة الضغط في قاع وعاء مملوء بالزئبق، وعمقه 10.0 cm، علمًا بأن كثافة الزئبق تزيد 13.55 مرة على كثافة الماء؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

تقويم الفصل - 2

55. يتبخر الكحول بمعدل أسرع من تبخر الماء عند درجة الحرارة نفسها، ماذا تستنتج من هذه الملاحظة عن خصائص الجزيئات في كلا السائلين؟

56. افترض أنك استخدمت مثقبًا لإحداث ثقب دائري في صفيحة من الألومنيوم. إذا سخنت الصفيحة، فهل يزداد حجم الثقب أم يقل؟ فسر ذلك.

57. وضعت خمسة أجسام في خزان من الماء كثافاتها على النحو الآتي:

a. $0.85\ g/cm^3$ **d.** $1.15\ g/cm^3$

b. $0.95\ g/cm^3$ **e.** $1.25\ g/cm^3$

c. $1.05\ g/cm^3$

وكثافة الماء $1.00\ g/cm^3$. ويوضح **الشكل 24–2** ستة مواقع محتملة لهذه الأجسام، اختر المواقع من 1 إلى 6 لكل من الأجسام الخمسة. (ليس من الضروري اختيار المواقع كلها)

الشكل 24– 2

58. تم تسخين حجمين متساويين من الماء في أنبوبين ضيقين ومتماثلين، إلا أن الأنبوب A مصنوع من الزجاج العادي، والأنبوب B مصنوع من الزجاج القابل للتسخين في الأفران. وعندما ارتفعت درجة الحرارة، ارتفع مستوى الماء في الأنبوب B أكثر من الأنبوب A. فسر ذلك.

إتقان حلّ المسائل

2–1 خصائص الموائع

59. **الكتاب المقرر** كتاب فيزياء كتلته 0.85 kg، وأبعاد سطحه $20.0\ cm \times 24.0\ cm$، يستقر على سطح طاولة. احسب:

a. القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة.

b. الضغط الذي يؤثر به الكتاب.

60. احسب مقدار القوة الرأسية الكلية أسفل الغلاف الجوي التي تؤثر في قمة رأسك الآن؟ افترض أن مساحة قمة رأسك $0.025\ m^2$ تقريبًا.

61. **المشروبات الغازية** إن غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المذاب في المشروبات الغازية يجعلها تفور، وتتم عادة إذابة كمية من غاز ثاني أكسيد الكربون تساوي 8.0 L تقريبًا عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة 300.0 K في زجاجة مشروبات غازية سعتها 2 L. إذا كانت الكتلة المولية للغاز CO_2 تساوي 44 g/mol، فاحسب:

a. عدد المولات من غاز ثاني أكسيد الكربون في زجاجة سعتها 2 L.

b. كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في زجاجة صودا سعتها 2 L.

62. كمية ثابتة من الغاز محصورة في أسطوانة حجمها $0.23\ m^3$. بواسطة مكبس مساحته $0.015\ m^2$ فإذا كان الضغط الابتدائي للغاز $1.5\times10^5\ Pa$، ووضع جسم كتلته 150 kg على المكبس فتحرك المكبس في اتجاه الأسفل إلى موقع جديد كما موضّح في **الشكل 25–2**، فاحسب الحجم الجديد للغاز داخل الأسطوانة ، علمًا بأن درجة الحرارة ثابتة.

التقويم

52. $1\ Pa = 1\ N/m^2 = (kg.m/s^2)/m^2 = 1\ kg/m.s^2$

53. سوف تغطس الباخرة المملوءة بكرات التنس إلى عمق أكبر داخل الماء؛ لأن لها وزنًا أكبر.

54. 136 cm

55. إن قوى التماسك للماء أكبر من قوى التماسك للكحول.

56. كلما سُخّنت الصفيحة أكثر ازداد حجم الثقب. لأن التسخين ينقل طاقة أكبر إلى جزيئات الالومنيوم مما يسبب زيادة حجمه

57. **a**– 1، **b**– 2، **c**– 6، **d**– 6، **e**– 6

58. يتمدد الزجاج المستخدم في الأفران بمقدار أقل من الزجاج العادي عند التسخين. فلا يرتفع الماء في الأنبوب (A) كثيرًا؛ لأن أنبوب الزجاج العادي قد تمدد وازداد حجمه.

إتقان حلّ المسائل

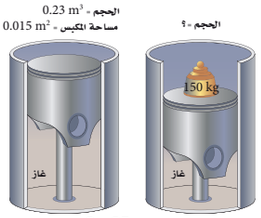
2–1 خصائص الموائع

59. **a.** 8.3 N

b. $1.7\times10^2\ Pa$

60. $2.5\times10^3\ N$

تقويم الفصل - 2



الشكل 25 – 2

2–3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

63. الخزان إذا كان عمق الماء خلف سد 17 m، فما ضغط الماء عند المواقع المختلفة الآتية؟

a. عند قاعدة السد.

b. على عمق 4.0 m من سطح الماء.

64. يستقر أنبوب اختبار رأسيًّا على حامل أنابيب اختبار، ويحتوي على زيت ارتفاعه 2.5 cm وكثافته $0.81\ g/cm^3$، وماء ارتفاعه 6.5 cm. ما مقدار الضغط المؤثر بوساطة السائلين عند قاع أنبوب الاختبار؟

65. الأثريات تمثال طائر أثري مصنوع من معدن أصفر مُعلق بميزان نابضي، تشير قراءة الميزان النابضي إلى 11.81 N عندما يُعلق التمثال في الهواء، وتشير إلى 11.19 N عندما يُغمر التمثال كليًّا في الماء.

a. أوجد حجم التمثال.

b. هل تمثال الطائر مصنوع من الذهب ($\rho = 19.3\times10^3\ kg/m^3$) أم مصنوع من الألومنيوم المطلي بالذهب ($\rho = 2.7\times10^3\ kg/m^3$)؟

66. خلال تجربة في علم البيئة وضع حوض لتربية الأسماك مملوء حتى منتصفه بالماء على ميزان، فكانت قراءة الميزان 195 N.

a. أُضيف حجر وزنه 8 N إلى الحوض، فإذا غطس الحجر إلى قاع الحوض، فما قراءة الميزان؟

b. أُزيل الحجر من الحوض، وعدّلت كمية الماء حتى عادت قراءة الميزان ثانية 195 N، فإذا أضيفت سمكة تزن 2 N إلى الحوض، فما قراءة الميزان في حالة وجود السمكة في الحوض؟

67. ما مقدار قوة الطفو المؤثرة في كرة وزنها 26.0 N إذا كانت تطفو على سطح ماء عذب؟

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

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

2–4 المواد الصلبة

70. إذا كان طول قضيب مصنوع من معدن مجهول 0.975 m عند $45\ ^\circ C$، وتناقص طوله ليصبح 0.972 m عند $23\ ^\circ C$، فاحسب معامل تمدده الطولي.

71. الجسور جسر أسمنتي طوله 300 m في شهر أغسطس، عندما كانت درجة الحرارة $50\ ^\circ C$، فكم يكون مقدار الفرق في الطول في إحدى ليالي شهر يناير، إذا كانت درجة الحرارة $10\ ^\circ C$؟

72. ما التغير في حجم قالب من الأسمنت حجمه $1.0\ m^3$، إذا ارتفعت درجة حرارته بمقدار $45\ ^\circ C$؟

73. خزان مصنوع من الفولاذ نصف قطره 2.000 m وارتفاعه 5.000 m مُلئ بالميثانول عند درجة حرارة $10\ ^\circ C$، فإذا ارتفعت درجة الحرارة حتى $40.0\ ^\circ C$، فاحسب مقدار الميثانول الذي سيتدفق خارج الخزان إذا تمدّد كل من الخزان والميثانول.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

دليل الدراسة

61. a. $0.32\ mol$

b. $14\ g$

62. $0.14\ m^3$

2–3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

63. a. $1.7\times10^5\ Pa$

b. $3.9\times10^4\ Pa$

64. $8.4\times10^2\ Pa$

65. a. $6.33\times10^{-5}\ m^3$

b. $19.0\times10^3\ kg/m^3$، مصنوع من الذهب

66. a. $203\ N$

b. $197\ N$

67. $26.0\ N$

68. $10.0\ N$

69. $5.0\times10^1 N$

2–4 المواد الصلبة

70. $1.4\times10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$

71. $0.1\ m$

72. $1.6\times10^{-3}\ m^3$

73. $0.55\ m^3$

تقويم الفصل - 2

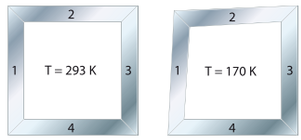
74. سُخّنت كرة من الألومنيوم حتى أصبحت درجة حرارتها 580°C، فإذا كان حجم الكرة $1.78\ cm^3$ عند درجة حرارة 11°C، فاحسب مقدار الزيادة في حجم الكرة عند 580°C.

75. صفيحة من الفولاذ مربعة الشكل طول ضلعها 0.330 m، سُخنت من 0°C حتى أصبحت درجة حرارتها 95°C؛ فاحسب:

a. مقدار تغير طول جوانب المربع.

b. نسبة التغير في مساحة المربع.

76. الصناعة صمّم مهندس قطعة ميكانيكية مربعة الشكل لنظام تبريد خاص. تتألف القطعة الميكانيكية من قطعتين مستطيلتين من الألومنيوم، وقطعتين مستطيلتين من الفولاذ، وكانت القطعة المصممة مربعة تمامًا عند درجة 293 K، ولكن عند درجة 170 K أصبحت القطعة مفتولة كما في **الشكل 26–2**. حدد أي القطع المبينة في الشكل مصنوعة من الفولاذ، وأيها مصنوعة من الألومنيوم؟



الشكل 26–2

77. ما مقدار الضغط المؤثر في جسم الغواصة عند عمق 65 m؟

78. تطفو كرة بولنج وزنها 18 N بحيث ينغمر نصفها فقط في الماء؛ فاحسب:

a. مقدار قطر كرة البولينج.

b. الوزن الظاهري التقريبي لكرة بولنج تزن 36 N.

79. يطفو قضيب من الألومنيوم في حوض زئبق. فهل يطفو القضيب إلى أعلى أكثر أم أن جزءًا أكبر منه سينغمر عند تسخين الزئبق والألومنيوم معًا؟

80. وضع 100.0 ml من الماء في وعاء من الزجاج العادي سعته 800.0 ml عند 15.0 °C. احسب ارتفاع مستوى الماء أو انخفاضه عندما يُسخن كل من الإناء والماء إلى 50.0 °C؟

81. المنطاد يحتوي منطاد الهواء الساخن على حجم ثابت من الغاز. عندما يُسخَّن الغاز يتمدد ويطرد بعض الغاز خارجًا من النهاية السفلى المفتوحة، لذلك تنخفض كتلة الغاز في المنطاد. فلماذا ينبغي أن يكون الغاز في المنطاد أكثر سخونة لرفع حمولة من الأشخاص إلى قمة ارتفاعها 2400 m عن سطح البحر، مقارنة بمنطاد مهمته رفع الحمولة ذاتها من الأشخاص إلى ارتفاع 6 m عن مستوى سطح البحر؟

82. عالم الأحياء تستطيع بعض النباتات والحيوانات العيش تحت ضغط مرتفع جدًّا؛ فاحسب:

a. مقدار الضغط المؤثر بوساطة الماء في جسم سمكة أو دودة تعيش بالقرب من قاع أخدود مائي في منطقة بورتوريكو الذي يبلغ عمقه 8600 m تحت سطح المحيط الأطلنطي. افترض أن كثافة مياه البحر $1030\ kg/m^3$.

b. كثافة الهواء عند ذلك الضغط بالنسبة لكثافته فوق سطح المحيط.

التفكير الناقد

83. تطبيق المفاهيم إذا كنت تغسل الأواني في حوض، فطفا أحد الأواني في الحوض، فقمت بملئه بماء الحوض فغطس إلى القاع، فهل ارتفع مستوى الماء في الحوض أم انخفض عندما انغمر الإناء؟

دليل الدراسة

74. $7.6 \times 10^{-2}\ cm^3$

75. a. $3.8 \times 10^{-4}\ m$

b. 2.3×10^{-3}

76. يعاني الجزآن 1 و 2 انكماشًا أكبر في الطول من الجزأين 3 و 4. لذا فإن الجزأين 1 و 2 يجب أن يكونا مصنوعين من الألومنيوم الذي معامل تمدده أكبر من معامل تمدد الفولاذ.

77. $7.4 \times 10^5\ Pa$

78. a. 0.19 m

b. غُمر نصف كرة البولنج عندما كان وزنها 18 N. لذا يجب أن يكون الوزن الظاهري لكرة وزنها 36 N قريبًا من الصفر.

79. معامل التمدد الحجمي للزئبق أكبر من معامل التمدد الحجمي للألومنيوم. لذا فعند تسخينهما سوف يكون النقص في كثافة الزئبق أكبر من النقص في كثافة الألومنيوم وسوف يغوص الألومنيوم إلى عمق أكبر في الزئبق.

80. يتمدد الماء بمقدار 0.735 mL

يتمدد الوعاء بمقدار 0.756 mL

سوف ينخفض مستوى الماء قليلاً، ولكن ليس إلى المستوى الذي يمكن ملاحظته.

81. يكون الضغط الجوي منخفضًا عند الارتفاعات العالية، لذا فإن كتلة حجم المائع المزاح بوساطة منطاد حجمه ثابت تكون أقل عند الارتفاعات الكبيرة. وللحصول على قوة الطفو نفسها عند الارتفاعات الكبيرة ينبغي للمنطاد أن ينفث غازًا أكثر، حيث تلزمه درجة حرارة أكبر.

82. a. $8.7 \times 10^7\ Pa$

b. سوف تكون كثافة الهواء أكبر بمقدار 860 مرة من كثافة الهواء عند سطح المحيط.

التفكير الناقد

83. سينخفض مستوى الماء في الحوض.

دليل الدراسة

84. يتوافق سطح فرشة الماء ويتكيف مع تضاريس الجسم أكثر من الفرشة العادية. كما يهبط الجسم في فرشة الماء بسهولة أكبر. ولأن $\rho_{\text{الفرشة}} < \rho_{H_2O}$ فإن قوة الطفو من فرشة الماء تكون أقل.

85. يزن الطبيب الشخص بشكل طبيعي ثم يزنه وهو مغمور تمامًا في الماء. وللتأكد من الانغمار التام لابد من إضافة أثقال إلى الشخص؛ لأن كثافة الإنسان عادة أقل من كثافة الماء. كما يجب أن يقاس حجم الماء المزاح بوساطة الشخص. أما متوسط كثافة الشخص فيمكن حسابه من توازن القوى التي تبقي الشخص في حالة اتزان تحت الماء.

86. a. سينغمر 9.5% من الكرة الطافية.

b. $7 \times 10^{1}\text{N}$

c. $8 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$

87. إن كثافة الماء في الكيس بالإضافة إلى كثافة السمك والبلاستيك مجتمعةً قريبةٌ من كثافة الماء في حوض السمك. لذا يجب أن يطفو الكيس بحيث يكون على مستوى الماء في الكيس وعلى ارتفاع مستوى الماء نفسه في حوض السمك.

الكتابة في الفيزياء

88. تُصنع الأربطة المطاطية من جزيئات المطاط الطويلة التي تسمى البوليمرات، والتي تتخذ هيئة سلاسل مزودة ببعض الوصلات الطويلة. وتنشأ خصائص المطاط من قدرة هذه الوصلات على الالتواء والدوران. وعندما يُبرّد المطاط تتمدد هذه الوصلات بخط مستقيم تمامًا كوصلات سلسلة الحديد التي تمسكها من أحد طرفيها وتسمح لها أن تتدلى بحرية. ولأن الوصلات مرتبة بتلك الطريقة فإن للبوليمرات فوضى (إنتروبي) صغيرة نسبيًّا. إن إضافة الحرارة إلى هذه البوليمرات تزيد من حركتها الحرارية، وتبدأ عندها الوصلات في الاهتزاز ويتزايد عدم ترتيبها. وإذا جُعلت هذه الوصلات تهتز بهذه الطريقة فإنك سترى أن متوسط طولها يصبح أقل مقارنة بحالة بقاء السلسلة معلقة دون حركة.

مراجعة تراكمية

89. b. 9.4 m/s، 55° شرق الجنوب

c. 8.2 m

تقويم الفصل - 2

84. تطبيق المفاهيم إن الأشخاص الملازمين للأسرة أقل احتمالاً للإصابة بمرض تَقَرُّح الفراش إذا استخدموا فرشة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

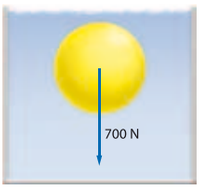
85. حلّل تعتمد إحدى طرائق قياس النسبة المئوية لمحتوى الدهون في الجسم على حقيقة أن الأنسجة الدهنية أقل كثافة من الأنسجة العضلية. كيف يمكن تقدير معدل كثافة شخص باستخدام ميزان وبركة سباحة؟ وما القياسات التي يحتاج الطبيب إلى تدوينها لإيجاد معدل النسبة المئوية للدهون في جسم شخص ما؟

86. حلّل واستنتج يلزم قوة رأسية إلى أسفل مقدارها 700 N، لغمر كرة من البلاستيك كليًّا كما في **الشكل 27–2**. إذا علمت أن كثافة البلاستيك $95\ \text{kg/m}^3$، فاحسب:

a. النسبة المئوية للجزء المغمور من الكرة إذا تُركت تطفو بحرية.

b. وزن الكرة في الهواء.

c. حجم الكرة.



الشكل 27–2

87. تطبيق المفاهيم تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية، عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئيًّا بالماء. إذا وضعت سمكة في كيس مغلق داخل الحوض، فأي الحالات المبينة في **الشكل 28–2** تمثل أفضل ما يمكن أن يحدث؟ فسر استدلالك.

الشكل 28–2

الكتابة في الفيزياء

88. تتمدد بعض المواد الصلبة عندما تبرد، ومن أكثر الأمثلة شيوعًا تمدد الماء عند انخفاض درجة حرارته بين 4°C و 0°C، ولكن تتمدد الأربطة المطاطية أيضًا عند تبريدها، ابحث عن سبب هذا التمدد.

مراجعة تراكمية

89. تتحرك سيارة كتلتها 875 kg في اتجاه الجنوب بسرعة 15 m/s، فتصطدم بسيارة أخرى كبيرة كتلتها 1584 kg وتتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 12 m/s، فتلتصقان معًا بعد التصادم، بحيث يكون الزخم الخطي محفوظًا.

a. مثّل الحالة بالرسم، معينًا محاور الإحداثيات ومحددًا الحالة قبل التصادم وبعده.

b. جد سرعة حطام السيارتين مقدارًا واتجاهًا، بعد التصادم مباشرة، وتذكّر أن الزخم كمية متجهة.

c. ينزلق الحطام على سطح الأرض ثم يتوقف، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي عندما كان الحطام ينزلق 0.55. ومع افتراض أن التسارع ثابت، فاحسب مسافة الانزلاق بعد التصادم.

اختبار مقنن الفصل 2–

الفصل 2

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. غاز حجمه 10.0 L محصور في أسطوانة قابلة للتمدد، فإذا تضاعف الضغط ثلاث مرات، وازدادت درجة الحرارة بنسبة 80.0 % عند قياسها بمقياس كلفن، فما الحجم الجديد للغاز؟

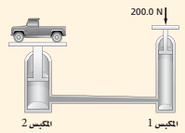
Ⓐ 2.70 L Ⓒ 16.7 L
Ⓑ 6.00 L Ⓓ 54.0 L

2. حجم عينة من غاز النيتروجين يساوي 0.080 m^3 عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa، فإذا كان يوجد 3.6 mol من الغاز، فما مقدار درجة الحرارة؟

Ⓐ 0.27 K Ⓒ 0.27°C
Ⓑ 270 K Ⓓ 270°C

3. يؤثر عامل بقوة مقدارها 200.0 N في مكبس مساحته 5.4 cm^2 ، فإذا كان هذا المكبس هو المكبس الأول لرافعة هيدروليكية، كما هو موضح في الرسم أدناه، فما مقدار الضغط المؤثر في المائع الهيدروليكي؟

Ⓐ 3.7×10^1 Pa Ⓒ 3.7×10^3 Pa
Ⓑ 2.0×10^3 Pa Ⓓ 3.7×10^5 Pa



4. إذا كان المكبس الثاني في الرسم أعلاه يؤثر بقوة مقدارها 41000 N، فما مساحة المكبس الثاني؟

Ⓐ 0.0049 m^2 Ⓒ 0.11 m^2
Ⓑ 0.026 m^2 Ⓓ 11 m^2

5. ما مقدار الوزن الظاهري لنموذج مصنوع من خشب خاص كثافته 1.10 g/cm^3، إذا أزاح 786 ml ماء، عندما غُمر في بحيرة من الماء العذب؟

Ⓐ 0.770 N Ⓒ 7.70 N
Ⓑ 0.865 N Ⓓ 8.47 N

6. ما مقدار قوة الطفو لجسم كتلته 17 kg إذا أزاح 85 L من الماء؟

Ⓐ 1.7×10^2 N Ⓒ 1.7×10^5 N
Ⓑ 8.3×10^2 N Ⓓ 8.3×10^5 N

7. أي الأجسام الآتية لا يحتوي على مادة في حالة البلازما؟

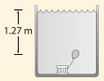
Ⓐ إضاءة النيون Ⓒ البرق
Ⓑ النجوم Ⓓ المصابيح العادية

8. ما كتلة عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 365 ml عند 3.0 ضغط جوي (1 atm = 101.3 kPa) ودرجة حرارة 24°C، إذا علمت أن الكتلة المولية لثاني أكسيد الكربون 44.0 g/mol؟

Ⓐ 0.045 g Ⓒ 45 g
Ⓑ 2.0 g Ⓓ 2.0 kg

الأسئلة الممتدة

9. بالون مملوء بالهواء حجمه 125 ml عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa، فإذا استقر البالون على عمق 1.27 m تحت سطح الماء في بركة سباحة، كما في الشكل، فما الحجم الجديد للبالون؟



إرشاد

مرن العضلة الضعيفة، وحافظ على العضلة القوية.

إذا كنت تحضّر لاختبار نهائي، فقد يكون من الصعب أحيانًا أن تركز على الموضوعات كلها. لذا ركّز معظم طاقتك على المواضيع التي تكون فيها ضعيفًا، وراجع المواضيع التي تكون فيها قويًا باستمرار.

أسئلة اختيار من متعدد

1. B
2. B
3. D
4. C
5. A
6. B
7. D
8. B

الأسئلة الممتدة

9.

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

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_{\text{جوي}} + \rho h g}$$

$$V_2 = \frac{(101.3 \times 10^3\ \text{Pa})(125\ \text{mL})}{101.3 \times 10^3\ \text{Pa} + (1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(1.27\ \text{m})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 111\ \text{mL}$$

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

الفصل 3

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
3–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة	
1. **تصف** حركة الإلكترون في الموصلات وأشباه الموصلات. 2. **تقارن** بين أشباه الموصلات من النوع n وأشباه الموصلات من النوع p.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلالية** مصدر قدرة متردد 9–12 V AC، مقاومة 100 Ω، دايود مشع للضوء LED ذي لونين (أحمر–أخضر) قدرته $\frac{1}{2}$ W أو 1 W، أسلاك توصيل معرّاة، جهاز ستروبوسكوب يدوي. **تجربة إضافية** دايود مشع للضوء، خلية ضوئية CdS، شريط لاصق أسود، مقاومة مقدارها 330 Ω، بطارية 9 V، جهاز أوميتر. **عرض المعلم** **عرض سريع** خلية ضوئية مصنوعة من كبريتات الكادميوم، جهاز أوميتر.
3–2 الأدوات الإلكترونية	
3. **تصف** كيف يعمل الدايود على جعل التيار الكهربائي يتدفق في اتجاه واحد فقط. 4. **توضح** كيف يمكن للترانزستور العمل على زيادة أو تضخيم تغيرات الجهد.	**تجارب الطالب** **تجربة** مصدر قدرة مستمر قابل للضبط من 0 V وحتى 12 V، مقاومة مقدارها 470 Ω، دايود مشع للضوء الأحمر، أسلاك توصيل. **مختبر الفيزياء** مصدر قدرة مستمر DC قابل للضبط 0–12 VDC، مقاومة مقدارها 100 Ω، دايود 1N4002 قدرته $\frac{1}{2}$ W أو 1 W، دايود مشع للضوء الأحمر، جهاز أميتر DC (0–100 mA)، جهاز فولتميتر DC مداه (0–5 V)، أسلاك توصيل معزولة ومعراة الطرفين، فولتميتر رقمي **عرض المعلم** **عرض سريع** خليتان 1.5 V، دايود مشع للضوء الأحمر، مقاومة مقدارها 100 Ω.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثالث

الفصل 3

إلكترونيات الحالة الصلبة

نظرة عامة إلى الفصل

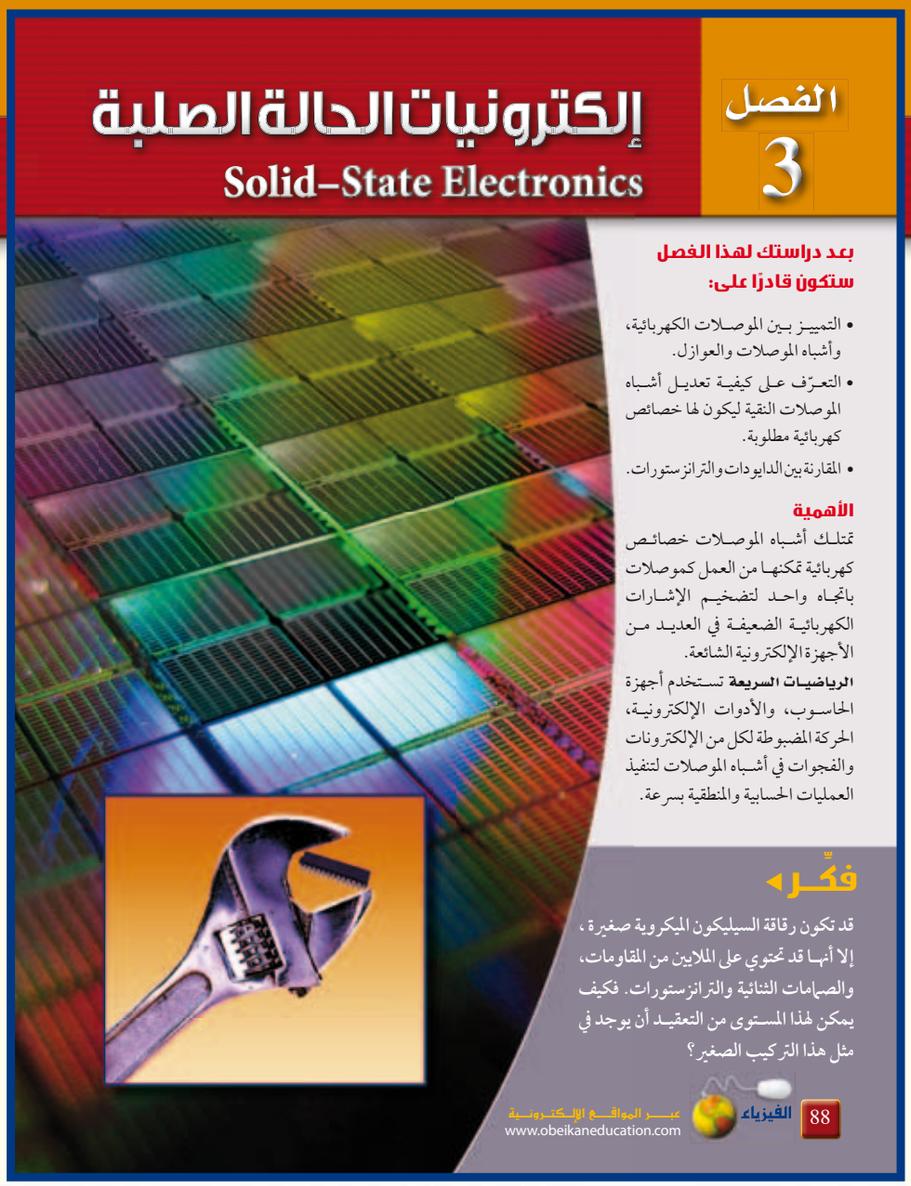
تُستخدم نظرية الأحزمة للمواد الصلبة لتفسير سلوك كل من العوازل الكهربائية، والموصلات وأشباه الموصلات. وقد تم توضيح الفرق بين أشباه الموصلات النقية وغير النقية في هذا الفصل. وقُدمت تطبيقات تقنية أشباه الموصلات، كالمجسات الحرارية، ومقاييس الضوء. وعَرض القسم الثاني من هذا الفصل مبدأ عمل الدايودات، والترانزستورات، بالإضافة إلى كيفية تركيب الدوائر المتكاملة.

فكّر

تسمح تقنية الدوائر المتكاملة بتجميع ملايين أدوات الحالة الصلبة ضمن حيّز صغير. وكانت تقنية الدوائر المتكاملة فاتحة للعصر الرقمي أيضًا، هذا بالإضافة إلى تأثيرها الكبير في كيفية تواصل الناس، وتعلمهم، والقيام بأعمالهم، وحتى اللعب أيضًا. ولذلك يقول بعض الناس إننا نعيش الآن في مجتمع السيليكون.

المفردات الرئيسة

- أشباه الموصلات
- نظرية الاحزمة
- أشباه الموصلات النقية
- الشوائب
- أشباه الموصلات غير النقية
- الدايود
- طبقة النضوب
- الترانزستور
- رقاقة ميكرويه



تجربة استهلالية

الهدف تعريف الطلبة بالدايودات المشعة للضوء LEDs، والسماح لهم باستكشاف كيف يمكن للدايود المشع للضوء أن يمتلك القدرة على إنتاج لونين من الضوء.

المواد والأدوات مصدر قدرة متردد 9-12 V A C، مقاومة 100 Ω، دايود مشع للضوء ذو لونين (أحمر-أخضر) قدرته $\frac{1}{2}$ W أو 1 W، أسلاك توصيل معرّاة الطرفين، جهاز ستروبوسكوب يدوي.

استراتيجيات التدريس

- يمكن للطلبة أن يهزوا إحدى أيديهم أمام الدايود المشع للضوء إلى الأعلى وإلى الأسفل على أن تكون أصابع اليد مفتوحة بدلاً من استخدام جهاز الستروبوسكوب.
- يمكن إجراء هذا كعرض توضيحي ينفّذ داخل الغرفة الصفّيّة، عندما يكون الدايود الذي تمتلكه مضيئًا بقدر كافٍ.
- قد يصبح المقاوِم دافئًا أو حتى ساخنًا بعد

3-1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة

1. التركيز

نشاط محفز

المقاومة ودرجة الحرارة استخدام المجس الحراري والأوميتر لتوضيح كيفية تغيّر المقاومة مع درجة الحرارة في بعض المواد، ويتعين أن يقرأ مؤشر المجس الحراري عند درجة حرارة الغرفة، ومن ثم يغمر في الماء الساخن مدة 30 s وتؤخذ قراءة المؤشره مرة أخرى. وتمتلك معظم المجسات الحرارية معامل درجة حرارة سالبًا، وهذا يعني أن هناك هبوطًا في المقاومة مع زيادة درجة الحرارة.

وتظهر أشباه الموصلات هذه الخصائص، أما الموصلات فتظهر معامل درجة حرارة موجبًا، فمثلاً المصباح الكهربائي الصغير جدًّا 12 V، يمكن أن يقيس 15 Ω عند درجة حرارة الغرفة ويوصل تيارًا مقداره 100 mA. لكن تزداد مقاومته إلى 120 Ω عند درجة الحرارة أثناء تشغيليه. م1

بصري-مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

المنحنيات البيانية (فرق الجهد-التيار) تَعلَّمَ الطلبة أن منحنى (فرق الجهد-التيار) البياني للمادة أو الاداة التي تخضع لقانون أوم يكون خطًّا مستقيمًا. وتظهر منحنيات (فرق الجهد-التيار) البيانية للأدوات المصنوعة من مواد شبه موصلة سلوكيات غير أومية.

تجربة استهلالية

كيف توضح توصيل الدايود للكهرباء؟

سؤال التجربة ما طريقة توصيل الدايود المشع للضوء للتيار الكهربائي؟

الخطوات

1. احصل على دايود مشع للضوء ذي لونين (أحمر-أخضر) ومصدر قدرة كهربائي متردد 12 V-9 أو محوّل كهربائي.
2. صل المقاومة 100 Ω والدايود على التوالي مع مصدر القدرة المتردد.
3. احذر عند توصيل مصدر القدرة المتردد كي لا تتعرض لصدمة كهربائية. ولا تلمس المقاومة، لأنها قد تصبح ساخنة. صل مصدر القدرة المتردد بقابس الكهرباء المتأرض.
4. دوّن ملاحظاتك عن الدايود المشع للضوء.
5. ضع قرص ستروبوسكوب أمام الدايود ودوّره، ثم دوّن ملاحظاتك عن الدايود الباعث للضوء كما تشاهدها من خلال القرص.

التحليل

كيف أصبح لون الدايود المشع للضوء بعد أن وصلته بمصدر القدرة؟ ما اللون الذي شاهدته للدايود من خلال فرص الستروبوسكوب؟

التفكير الناقد اقترح تفسيرًا محتملاً لملاحظاتك.

3-1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة
Conduction in Solids

الأهداف
- تصف حركة الإلكترون في الموصلات وأشباه الموصلات.
- تقارن بين أشباه الموصلات من النوع n وأشباه الموصلات من النوع p.

المفردات
أشباه الموصلات — نظرية الأحزمة
أشباه الموصلات النقية — الشوائب
أشباه الموصلات غير النقية

لا تعتمد الأجهزة الإلكترونية على الموصلات والعوازل الطبيعية فقط، ولكنها تعتمد أيضًا على مواد أخرى صممت وأنتجت بجهد وعمل مشترك من العلماء والمهندسين. سوف يبدأ هذا الفصل بدراسة كيفية توصيل المواد للكهرباء.

يعود الفضل في جميع الأجهزة الإلكترونية إلى أنابيب التفريغ التي استخدمت في بدايات القرن العشرين؛ تعلم أن الإلكترونات تتدفق خلال الفراغ في أنابيب التفريغ لتكبير الإشارات الكهربائية الضعيفة وضبطها. وكانت أنابيب الغازات المخلخلة المستخدمة كبيرة، مما يتطلب قدرة كهربائية كبيرة، وبسبب احتوائها على فتائل التسخين فهي تنتج كمية كبيرة من الحرارة. مما يتطلب استبدالها خلال سنة إلى خمسة سنوات.

في أواخر عام 1940 اخترعت أدوات الحالة الصلبة، والتي يمكن أن تقوم بوظيفة أنابيب التفريغ نفسها. وهذه الأدوات صُنعت من

89

فترة من التشغيل. لذا حذّر الطلبة ونبّههم إلى ضرورة عدم لمس المقاوِم.

النتائج المتوقّعة يتعين أن يشاهد الطلبة الدايود المشع للضوء باللون الأصفر (مزيج بين الضوء الأحمر والأخضر). حقيقةً يوجد دايودان في هذه المجموعة من الدايودات، يضيئان بصورة متبادلة في كل نصف دورة للتيار المتردد. وسيتيح استخدام جهاز الستروبوسكوب للطلبة مشاهدة أحد الدايودين المشعين للضوء أو الآخر وهو يعمل.

التحليل بعد توصيل مصدر القدرة بقابس الكهرباء، سيصبح الدايود المشع للضوء أصفر اللون. وسيشاهد الدايود عند النظر إليه من خلال قرص الستروبوسكوب بطريقة متناوبه بين اللونين الأحمر والأخضر.

التفكير الناقد ستختلف الإجابات. ينتج الضوء الأصفر من مزج الضوئين الأحمر والأخضر معًا. ويتعين على الطلبة لاحقًا في هذا الفصل، فهم كيفية عمل الدايود المشع للضوء على أنه أداة توصل الكهرباء في اتجاه واحد فقط.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الموصلية والإلكترونات قد يعتقد الطلبة أن المواد التي تحتوي على إلكترونات أكثر من غيرها سيكون لها موصلية أكبر. أشر إلى أن الكبريت يحتوي على عدد من الإلكترونات أكثر بـ 1.07 مرة من الإلكترونات الموجودة في عنصر النحاس لكل وحدة كتلة، إلاّ أن موصلية النحاس أفضل بكثير من الكبريت.

استخدام الشكل 1–3

أشر إلى أن الشغل المبذول على الأجسام المشحونة بشحنة متماثلة (مثل الإلكترونات) لتقريبها من بعضها البعض يزيد من طاقة وضعها. اسأل الطلبة كيف سيبدو هذا الشكل بالنسبة للموصلات ذات التوصيل الجيد كالنحاس مثلاً. ستتقاطع الخطوط الرأسية المتقطعة في المنطقة التي تتداخل فيها الأحزمة، ولن تكون هناك فجوات طاقة بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ. م 1 **بصري-مكاني**

مواد تعرف **بأشباه الموصلات** مثل السيليكون والجرمانيوم، وتعمل هذه الأدوات على تضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة. وتعمل الأدوات المصنوعة من أشباه الموصلات بوساطة قدرة كهربائية صغيرة، وذلك بسبب قلة عدد الإلكترونات المتدفقة خلالها، بالإضافة إلى أنها لا تحتوي على فتائل، وهي صغيرة جدًّا، ولا تولّد حرارة كبيرة، وكلفة صناعتها قليلة، ويقدّر عمرها الافتراضي بعشرين عامًا أو أكثر.

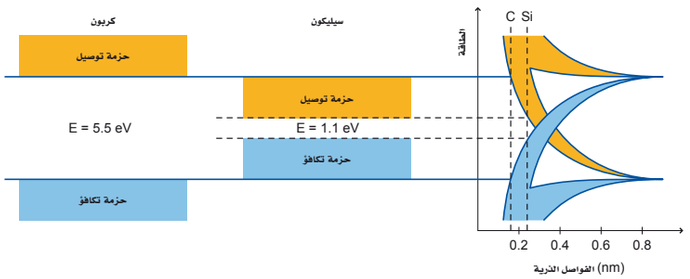
نظرية الأحزمة للمواد الصلبة Band Theory of Solids

تتحرك الشحنات الكهربائية بسهولة في الموصلات، في حين لا تتحرك كذلك في العوازل. وعندما تختبر هذين النوعين من المواد على المستوى الذريّ يصبح الفرق بينهما من حيث مقدرتهما على نقل الشحنات أكثر وضوحًا.

كذلك تتكون المواد الصلبة البلورية من ذرات مرتبطة معًا بترتيبات منتظمة، والذرة تتكوّن من نواة كثيفة موجبة الشحنة محاطة بسحابة من الإلكترونات سالبة الشحنة. و هذه الإلكترونات تتواجد في مستويات طاقة محددة مسموح بها فقط، وتحت معظم الظروف تحتل الإلكترونات في الذرة أدنى مستويات ممكنة للطاقة، وهذه الظروف تسبب حالة استقرار للذرة. وبما أن الإلكترونات تمتلك كم محدد من الطاقة، وأن أي تغيرات في الطاقة تكون مكماة، فإن ذلك يعني أن تغيرات الطاقة تحدث بكميات محددة أيضا.

حزم الطاقة افرض أنه يمكنك تكوين مادة صلبة عن طريق تجميع ذرات بعضها مع بعض واحدة تلو الأخرى، فسيتعين عليك أن تبدأ بذرة في حالة إستقرار. في الفراغات البينية الكبيرة في الذرة، وفي حالة عدم وجود ذرات مجاورة قريبة جدًّا منها، فإن **الشكل 1–3** يوضح مستويي طاقة منفصلين للذرة. وعندما تبدأ البلورات الصلبة بالتشكل باقتراب الذرات المتحركة المتقاربة من الذرة، فإن المجالات الكهربائية للذرات المتجاورة تؤثر على الإلكترونات في مستويات طاقتها، وفي البلورة الصلبة

الشكل 1–3 تتجزأ مستويات الطاقة للذرة إلى عدة أجزاء عندما تصبح ذرات أخرى قريبة منها، وتكون النتيجة تكوّن فجوات طاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل.



تكـون النتيجـة أن مسـتويات الطاقة لحالة الاسـتقرار في كل ذرة، تتجزأ إلى مسـتويات طاقة متعددة بسبب المجالات الكهربائية للذرات مجاورة لها. ولذلك سيوجد الكثير من هذه المسـتويات القريبة جدًّا بعضها من بعض، التي تبدو كأنها ليسـت منفصلة، ولكنها تظهـر كحزم طاقة، كما في **الشـكل 1–3**. وحـزم الطاقة ذات مسـتويات الطاقة الدنيا أو حزم التكافؤ تكون مملوءة بالكترونات مترابطة في البلورات، أما مستويات الطاقة العليا أو حزم التوصيل، فتكون متاحة لانتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى.

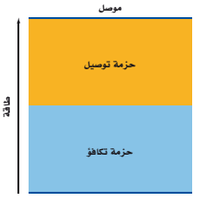
لاحـظ من **الشـكل 1–3** أن الفواصـل الذرية للسـيليكون البلوري، والكربـون البلوري (ألماس) تتحول إلى حزم تكافؤ وحزم، توصيل يفصل بعضها عن بعض فجوات طاقة. ولا توجد في هذا الفجوات مستويات طاقة متاحة للإلكترونات، ولذلك فهذه الفجوات تسـمى مناطـق الطاقة الممنوعـة أو المحظورة. ويسـمى هذا الوصـف لحزمتي التكافؤ والتوصيل المنفصلتين بوسـاطة فجوات الطاقة الممنوعة **نظرية الأحزمة** للمواد الصلبة، ويمكن استخدامها من أجل فهم أفضل للتوصيل الكهربائي.

فمثلاً **الشـكل 1–3**، يشـير إلى الحاجة إلى طاقة كبيرة لنقل إلكترونات التكافؤ من حزمة التكافـؤ إلى حزمة التوصيل في حالـة الكربون البلوري (التركيب الماسـي)، مقارنة مع السـيليكون. ويعـدّ الكربون في شـكله الجرافيتي موصلاً جيـدا، لأن ترتيب الذرات في الجرافيت يمنحه فجوة طاقة أقل مقارنة بحالة الماس.

وللسـيليكون البلـوري فجوة طاقة صغيـرة مقارنة مع فجوة الطاقـة للماس. وعند درجة حـرارة الصفـر المطلق، تكـون حزمة التكافؤ للسـيليكون مملـوءة كليًـا بالإلكترونات، وتكون حزمة التوصيل فارغة تمامًا. أما عند درجة حرارة الغرفة، فيمتلك عدد معين من إلكترونات التكافؤ طاقة حرارية تكون كافية لتقفز عن الفجوة التي مقدارها 1.1 eV، لتصل إلـى حزمـة التوصيل، وتكوّن نواقل للشـحنة. وعندمـا تزداد درجة الحرارة، وتكتسـب المزيـد مـن الإلكترونـات طاقـة كافيـة للقفز عن الفجـوة، تـزداد موصلية السـيليكون. يمتلـك الجرمانيـوم فجوة طاقة مقدارها 0.7 eV، وهي أقل من فجوة الطاقة التي يمتلكها السيليكون، وهذا يعني أن الجرمانيوم أكثر موصلية من السيليكون عند أي درجة حرارة، ومـع ذلك، فـإن ذلك يعني أن الجرمانيوم حسـاس جـدًّا للحرارة في معظـم التطبيقات الإلكترونيـة أيضًـا. إن التغيـرات الطفيفـة نسـبيًا في درجـة الحرارة تتسـبب في إحداث تغييـرات كبيـرة في موصليـة الجرمانيـوم، مما يجعـل عملية ضبـط الدوائـر الكهربائية واستقرارها أمرًا صعبًا.

يمتلك الرصاص فراغات تسـاوي 0.27 nm بين ذراته ، ويبين **الشـكل 1–3** أن ذلك من شـأنه أن يترجم إلى مخطط الحزم– الفجوة الـذي تتداخل فيه حزمة التوصيل مع حزمة التكافؤ. ولذلك فمن المتوقع أن يكون الرصاص موصلاً جيدًا، وهو كذلك فعلاً. وتعدّ المـواد التي يوجـد فيها تداخلا ، بالإضافة إلـى حزم مملـوءة جزئيًا مواد موصلة، كما في **الشكل 2–3**.

الشكل 2–3 في المادة جيدة التوصيل، تكون حزمة التوصيل مملوءة جزيئًا. وتبين المنطقة المظللة بالأزرق منطقة الطاقة المشغولة بالإلكترونات.



تقوية

الموصليـة تتعـزز كل مـن الموصليـة الكهربائيـة، والموصليـة الحراريـة بوسـاطة الإلكترونـات الحرة في المـواد، عـلى الرغـم مـن اختـلاف تفاعـلات الإلكترونـات المؤثـرة في كل نـوع مـن الموصليـة بصـورة تامّـة. وتعـدّ الفلـزّات أفضـل الموصـلات الكهربائيـة والموصـلات الحرارية عمومًـا. وتمتلك الفضة أكبر موصلية كهربائية وحرارية من بين جميع الفلـزات. ويصنّـف النحـاس عـلى أنه ثـاني أفضل الموصـلات الكهربائيـة، ويعـدّ أيضًا موصّـلاً جيدًّا جدًّا للحرارة. وبالنسـبة للفلزّات عند درجة حرارة معينة فإن الموصّليتين الحرارية والكهربائية تشكلان نسـبة ثابتـة، ولكـن زيادة درجـة حرارة الفلـزّ تزيد مـن موصليته الحراريـة في حين تقلل مـن موصليته الكهربائيـة، بسـبب اختلاف الآليـات المؤثرة في كل نوع من نوعي التوصيل.

تطوير المفهوم

إلكترونـات التكافـؤ اطلـب إلى الطلبـة توضيـح العلاقـة بـين إلكترونـات التكافـؤ وإلكترونـات التوصيل. يتذكر الطلبة أن إلكترونات التكافؤ تحتل مسـتويات الطاقة الأعلى للذرات، وهي تسـاهم في جميـع التفاعـلات الكيميائية أيضا. أمـا إلكترونات التوصيـل فهي إلكترونـات تكافؤ في المـواد الصلبة اكتسـبت طاقة كافيـة لتتحرك بحرية بـين الذرات.

م 2 متفاعل

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

فيزياء الحالة الصلبة تعدّ دراسة فيزياء الحالة الصلبة المدخل إلى مجموعة مذهلة من الوظائـف. ففي أحد الجوانب المتعددة من هـذه الوظائف، يقوم العلماء بإجراء البحوث الأساسية على المادة المكثفة، وعلى الأغشية الرقيقة. وكذلك تعنى هذه الدراسات في نمو البلورات، وتطوير السـبائك متعددة التبلور، وترسـيب الفلزات. يعتمد التقدم المهم في مجـال تقنية الأجهزة الإلكترونيـة غالبًا على هذه البحوث الأساسـية. وفي الجانب الآخر يشارك المهندسون والفنيون المشاركون في الصناعات الضخمة في تصميم أدوات الحالة الصلبة هذه وتصنيعها.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الموصلية وإلكترونات التكافؤ قد يعتقد الطلبة أن المواد التي تحتوي على إلكترونات تكافؤ أكثر من غيرها، سوف تكون من أفضل الموصلات. أشر إلى أن الفضة والنحاس هما أفضل الموصلات الكهربائية، على الرغم من أن ذرات هذين الفلزّين تحتوي على إلكترون تكافؤ واحد فقط في كل منهما. لكن مستويات الطاقة للفضة تحتوي على إلكترونات وفق الترتيب الآتي: 2. 8. 18. 18. 1 بينما مستويات الطاقة الخاصة بالنحاس مملوءة وفق الترتيب الآتي: 2. 8. 18. 1.

مثال صفي

سؤال ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في $2.55\ cm^3$ من الحديد؟ علمًا بأن الحديد يمتلك إلكتروني تكافؤ.

الإجابة

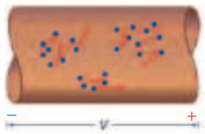
عدد الإلكترونات الحرة في ذرة $= \frac{\text{(إلكترون حر)2}}{\text{ذرة1}}$

$$\left(\frac{7.86\ g}{1\ cm^3}\right)\left(\frac{1\ mol}{55.8\ g}\right)\left(\frac{6.02\times10^{23}\ \text{ذرة}}{1\ mol}\right)(2.55\ cm^3) = 4.32\times10^{23}$$

إلكترون حر في $2.55\ cm^3$ من الحديد

الموصلات الكهربائية Conductors

عند تطبيق فرق في الجهد عبر مادة ما، سيؤثر المجال الكهربائي الناتج بقوة على الإلكترونات، فتتسارع وتكتسب طاقة، وبذلك يبذل المجال شغلاً عليها. وعند وجود حزم مملوءة جزئيًا فقط في المادة، فستكون هناك مستويات متاحة وطاقتها أكبر قليلاً من طاقة إلكترونات في مستويات الاستقرار. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات التي اكتسبت طاقة من المجال الكهربائي، يمكنها أن تتحرك من ذرة إلى الذرة التالية، وحركة الإلكترونات هذه تسمى التيار الكهربائي، وتعرف العملية عمومًا بالتوصيل الكهربائي. و المواد ذات الحزم المملوءة جزئيًا كالفلزات ومنها الألومنيوم، والرصاص، والنحاس توصل الكهرباء بسهولة.



الشكل 3–3 تتحرك الإلكترونات في الموصل بسرعة وبصورة عشوائية. وإذا طبّق مجال كهربائي عبر السلك، تندفع الإلكترونات نحو إحدى نهايتي السلك. في اتجاه معاكس لاتجاه حركة التيار الاصطلاحي.

الحركة العشوائية تتحرك الإلكترونات في الموصلات بسرعة، وبصورة عشوائية، حيث تتغيّر اتجاهاتها عندما تصطدم بالذرات، ومع ذلك إذا طبّق مجال كهربائي على طول معين من سلك فلزي، ستؤثر قوة محصلة تدفع الإلكترونات في اتجاه واحد. وعلى الرغم من أن حركتها لا تتأثر كثيرًا، إلا أنها تكون بطيئة، وموجهة بوساطة تأثير المجال الكهربائي بصورة عامة، كما هو موضح في **الشكل 3–3**. وتستمر الإلكترونات بالتحرك بسرعة $10^6\ m/s$ في اتجاهات عشوائية، وتتحرك ببطء شديد بسرعة تساوي $10^{-5}\ m/s$ أو أقل باتجاه النهاية الموجبة للسلك. ويسمى هذا النموذج من الموصلات نموذج الكترون – غاز. وعندما ترتفع درجة الحرارة، تزداد سرعة الإلكترونات، ومن ثم تزداد احتمالية تصادمها بالذرات. لذا فإنه عندما ترتفع درجة حرارة الفلز، فإن موصليته تقل. والموصلية هي مقلوب المقاومية، فكلما قلت موصلية المادة ازدادت مقاومتها.

مثـــال 1

كثافة الإلكترونات الحرة في الموصلات ما عدد الإلكترونات الحرة في السنتيمتر المكعب من النحاس($free\ e^-/cm^3$)؟ علما بأن كثافة النحاس $\rho = 8.92\ g/cm^3$، والكتلة الذرية للنحاس $M = 63.54\ g/mol$ وأن كل ذرة تشارك بإلكترون واحد.

1 تحليل المسألة ورسمها

- تعويض القيم.

المعلوم

للنحاس: إلكترون حر واحد e^- في كل ذرة

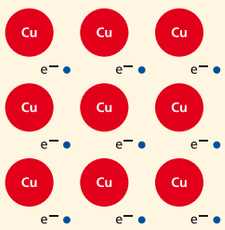
$\rho = 8.92\ g/cm^3$

$M = 63.54\ g/mol$

$N_A = 6.02\times10^{23}$ ذرة/mol

المجهول

$free\ e^-/cm^3 = ?$



معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الموصلية والمقاومية يُطلق على الكمية المستخدمة للتعبير عن نسبة كثافة التيار لكل وحدة مجال كهربائي مطبق الموصلية الكهربائية، ويرمز لها بالرمز σ. والموصلية هي إحدى خصائص المادة، وتختلف باختلاف درجة الحرارة. أما المقاومية ρ، فهي مقلوب الموصلية. ومقاومة المادة في تركيب هندسي معين تتناسب طرديًّا مع المقاومية. فمثلاً يمتلك قضيب من النحاس قطره 1 cm وطوله أكبر ببليون مرة من المسافة بين الأرض والشمس مقاومة أقل من قطعة من الكوارتز لها نفس القطر وسمكها 0.1 mm فقط.

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن

$\text{free } e^-/1 \text{ atom} = 1 \text{ free } e^-/1 \text{ atom}$

$N_A = 6.02\times10^{23} \text{ Atoms/mol}$

$M = 63.54 \text{ g/mol}$

$\rho = 8.96 \text{ g/cm}^3$

$$\frac{\text{free } e^-}{\text{cm}^3} = \frac{(\text{free } e^-)}{\text{atom}} (N_A)\left(\frac{1}{M}\right)(\rho)$$

$$= \left(\frac{1 \text{ free } e^-}{1 \text{ atom}}\right)\left(\frac{6.02\times10^{23} \text{ atoms}}{1 \text{ mol}}\right)\left(\frac{1 \text{ mol}}{63.54 \text{ g}}\right)\left(\frac{8.96 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3}\right)$$

$= 8.45\times10^{22} \text{ free } e^-/\text{cm}^3$ في النحاس

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يؤكد تحليل الوحدات على تحديد عدد الإلكترونات الحرة في كل cm^3 بدقة .
- **هل الجواب منطقي؟** يُتوقع وجود عدد كبير من الإلكترونات في cm^3.

مسائل تدريبية

1. إذا علمت أن كثافة عنصر الخارصين 7.13 g/cm^3 وكتلته الذرية 65.37 g/mol. وهو يمتلك إلكترونين حرين في كل ذرة. فكم عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتيمتر مكعب من الخارصين؟
2. إذا علمت أن كثافة الألومنيوم 2.7 g/cm^3 وكتلته الذرية 26.98 g/mol ويمتلك عنصر الألومنيوم ثلاثة إلكترونات حرة في كل ذرة. فاحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتيمتر مكعب من الألومنيوم.

العوازل Insulators

تكون حزمة التكافؤ في المادة العازلة مملوءة، في حين تكون حزمة التوصيل فارغة. وكما هو موضح في **الشكل 4–3**، فإنه يتعين أن يكتسب الإلكترون كمية كبيرة من الطاقة كي ينتقل إلى مستوى الطاقة التالي. وفي العوازل يكون أدنى مستوى للطاقة في حزمة التوصيل فوق أعلى مستوى للطاقة في حزمة التكافؤ بمقدار 5–10 eV ، كما هو موضح في **الشكل 4a–3**. وتوجد في العوازل فجوات طاقة مقدارها 5 eV على الأقل، وهذه الطاقة لا تمتلكها الإلكترونات.

على الرغم من أن الإلكترونات تمتلك بعض الطاقة الحركية الناتجة عن طاقتها الحرارية، إلا أن متوسط الطاقة الحركية للإلكترونات عند درجة حرارة الغرفة لا تكفيها لكي تقفز عن الفجوة الممنوعة. وإذا طبق مجال كهربائي صغير على العازل، فعلى الأغلب لا تكتسب الإلكترونات طاقة كافية للوصول إلى حزمة التوصيل، ولذلك فلن يتولد تيار كهربائي. ويتعين أن تمنح الإلكترونات في العازل كمية كبيرة من الطاقة، لتسحب إلى حزمة التوصيل، ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات في المادة العازلة تميل إلى أن تبقى في مكانها، وعليه فإن المادة العازلة لا توصل التيار الكهربائي.

مسائل تدريبية

1. $1.31\times10^{23} \dfrac{\text{free } e^-}{\text{cm}^3}$
2. $1.81\times10^{23} \dfrac{\text{free } e^-}{\text{cm}^3}$

عرض سريع

الخلية الضوئية

الزمن المقترح دقيقتان.

المواد والأدوات خلية ضوئية مصنوعة من كبريتيد الكادميوم، جهاز أوميتر.

الخطوات تعدّ خلية كبريتيد الكادميوم الضوئية نوعًا من أنواع كواشف التوصيل الضوئي، حيث تنشئ الإلكترونات التي تمتلك طاقة كافية لاجتياز فجوة الطاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل ناقلات إضافية، فيؤدي ذلك إلى هبوط في المقاومة. بعض الناقلات تتوافر عند درجة حرارة الغرفة، حتى لو لم يكن هناك ضوء على الإطلاق، مما ينتج مقاومة الظلام، ويكون مقدار هذه المقاومة كبيرًا، ولكن لا يصل إلى مالانهاية.

غطِّ نافذة الخلية الضوئية، وقس مقاومة الظلام الخاصة بها. ستكون بحدود 500 kΩ تقريبًا.

عرّض جزءًا من نافذة الخلية للضوء، ومن ثم قس مقاومتها مرة أخرى. سوف تكون أقل من مقاومة الظلام. عرّض نافذة الخلية كاملة للضوء، ومن ثم قس مقاومتها مرة أخرى. سوف تكون 10 kΩ تقريبًا في الضوء الساطع.

المناقشة

سؤال تصنع بعض المقاومات من الكربون. ويستخدم الكربون في صناعة الأقطاب، وصناعة الوصلات ذات الأجزاء المنزلقة، كفرشاتي المحرك. إذا كان الكربون موصلاً بمقدار كافٍ في هذه التطبيقات، فلماذا يعدّ الماس عازلاً؟

الإجابة الماس في حالته النقية عبارة عن كربون بلوري. في الشكل غير البلوري للعنصر لا تكون جميع إلكترونات التكافؤ محجوزة في حزمة التكافؤ، وهذا يسمح للكربون غير البلوري بالتوصيل. لكن إلكترونات التكافؤ في الماس مربوطة بشدة ولا تتحرك بسهولة إلى حزمة التوصيل، ولذلك يسلك الماس سلوك العوازل. م2 **منطقي–رياضي**

أشباه الموصلات Semiconductors

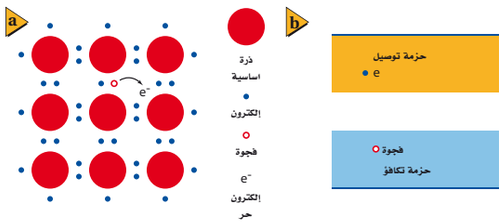
يمكن للإلكترونات أن تتحرك بحرية أكبر في أشباه الموصلات، مقارنة بحركتها في العوازل، ولكن حركتها ليست سهلة كما في الموصلات. وكما هو موضح في **الشكل 4b–3**، فإن فجوة الطاقة بين حزمة التكافؤ، وحزمة التوصيل تساوي 1 eV تقريبًا. كيف يفسّر تركيب أشباه الموصلات خصائصها الإلكترونية؟ تمتلك ذرات أشباه الموصلات الأكثر شيوعًا كالسيليكون Si والجرمانيوم Ge أربعة إلكترونات تكافؤ. وتساهم الإلكترونات الأربعة هذه في ربط الذرات معًا في المادة الصلبة البلورية. وتشكل إلكترونات التكافؤ حزمة مملوءة، كما في العوازل، في حين تكون الفجوة الممنوعة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل أصغر بكثير مقارنة مع العوازل. ولذلك فإنه لا يتطلب توفير طاقة كبيرة لسحب أحد إلكترونات ذرة السيليكون مثلا ووضعه في حزمة التوصيل، كما في **الشكل 5a–3**. وتكون الفجوة صغيرة جدًّا، بحيث يمكن لبعض الإلكترونات أن تصل إلى حزمة التوصيل نتيجة لطاقتها الحركية الحرارية لوحدها فقط. ولذلك، فإن الحركة العشوائية للذرات، والإلكترونات تمنح بعض الإلكترونات طاقة كافية للتحرر من ذراتها الأصلية، وتتجول حول بلورة السيليكون.

وإذا طبّق مجال كهربائي على أشباه الموصلات، فإن الإلكترونات الموجودة في حزمة التوصيل تتحرك خلال المادة الصلبة حسب اتجاه المجال الكهربائي المطبّق. وعلى النقيض من التأثير في الفلزّ، فإن زيادة درجة حرارة أشباه الموصلات يزيد من عدد الإلكترونات القادرة على الوصول إلى حزمة التوصيل، ومن ثم تزداد الموصلية.

عندما يتحرر إلكترون من الذرة يترك مكانه فجوة. وكما هو موضح في **الشكل 5b–3**، فإن الفجوة عبارة عن مستوى طاقة فارغ في حزمة التكافؤ، و تصبح الشحنة الكلية للذرة الآن موجبة. ويمكن للإلكترون القادم من حزمة التوصيل أن يقفز داخل هذه الفجوة ليصبح مرتبطًا مع الذرة مرة أخرى. وعندما يعاد اتحاد الفجوة مع الإلكترون الحر، فإن

الشكل 4–3 قارن بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل في المادة العازلة (a) وفي المادة الموصلة (b). قارن هذه الرسومات التوضيحية بالرسم التوضيحي في **الشكل 2–3**.

الشكل 5–3 تمتلك بعض الإلكترونات في أشباه الموصلات طاقة حركية وحرارية كافية كي تتحرر وتتجول خلال البلورة، كما هو موضح في التركيب البلوري (a) وفي الحزم (b).



معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الطباعة الضوئية الطباعة الضوئية عملية تستخدم الآن لصنع معظم الدوائر المتكاملة. وقد تطورت هذه العملية من عدم القدرة على تحديد المعالم التي عرضها أصغر من 10 µm إلى القدرة على تحديد المعالم التي يقل عرضها عن 1 µm في الوقت الحاضر. وتدل خصائص الضوء على أن الاطوال الموجبة الأقصر تظهر تفاصيل أوضح وتوفر الطباعة بوساطة الأشعة فوق البنفسجية قدرًا أكبر من كثافة الدوائر الكهربائية مقارنة مع الطباعة بوساطة الضوء المرئي، وهذا يجعل الدوائر المتكاملة قابلة للتصنيع بأحجام صغيرة وتكلفة أقل. وتختبر البحوث التي تجري الآن أساليب أخرى، مثل الطباعة بوساطة شعاع الإلكترون، أو استخدام مصادر ليزر أوالأشعة السينية. ويومًا ما ستصبح معالم الدائرة التي عرضها أصغر من 10 nm ممكنة الوجود في الأجهزة ذات حجم الإنتاج الكبير.

شحنتيهما المختلفتين تعادل كل منهما الأخرى.

ومع ذلك، فإن الإلكترون قد ترك خلفه فجوة في موقعه السابق، وأخيرًا، – كما في لعبة الكراسي الموسيقية–. فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات الحرة) تتحرك في اتجاه واحد، في حين تتحرك الفجوات موجبة الشحنة في الاتجاه المعاكس. وأشباه الموصلات النقية التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًا تسمى **أشباه الموصلات النقية**. ولأن عددًا قليلاً جدًّا من الإلكترونات والفجوات متوافرة لحمل الشحنة، فإن الموصلية في أشباه الموصلات النقية منخفضة جدًّا مما يجعل مقاومتها كبيرة جدًّا.

مثـــال 2

بعض من الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية بسبب الطاقة الحركية والحرارية للسيليكون الصلب عند درجة حرارة الغرفة، فإنه يوجد 1.45×10^{10} من الإلكترونات الحرة/ cm^3 . ما عدد الإلكترونات الحرة في كل ذرة سيليكون عند درجة حرارة الغرفة؟علماً أن كثافة عنصر السيليكون $2.33\ g/cm^3$ وكتلته الذرية $28.09g/mol$

1 تحليل المسألة ورسمها

• حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة .

المعلوم

$\rho = 2.33\ g/cm^3$

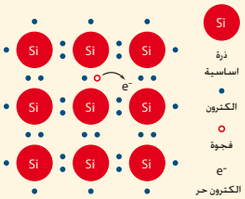
$M = 28.09\ g/mol$

$N_A = 6.02\times10^{23}\ atoms/mol$

$free\ e^-/cm^3 = 1.45\times10^{10}$

المجهول

$free\ e^-/cm^3 = ?$



2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن

$N_A = 6.02\times10^{23}\ atoms/mol$

$M = 28.09\ g/mol$,

$\rho = 2.33\ g/cm^3$

$Si = 1.45\times10^{10}\ free\ e^-/cm^3$

$free\ e^-/cm^3$

$$\frac{free\ \bar{e}}{atom} = \left(\frac{1}{N_A}\right)(M)\left(\frac{1}{\rho}\right)\left(1.45\times10^{10}\ \frac{free\ e^-}{cm^3}\right) \text{ للسيليكون}$$

$$= \left(\frac{1\ mol}{6.02\times10^{23}\ atoms}\right)\left(\frac{28.09\ g}{1\ mol}\right)\left(\frac{1\ cm^3}{2.33\ g}\right)\left(\frac{1.45\times10^{10}\ free\ e^-}{cm^3}\right)$$

$= 2.90\times10^{-13}\ free\ e^-\ /\ atom$ للسيليكون

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** يؤكد تحليل الوحدات على أن الوحدات صحيحة.

• **هل الجواب منطقي؟** في أشباه الموصلات الذاتية، كالسيليكون مثلاً عند درجة حرارة الغرفة، يمتلك عدد قليل جدًّا من الذرات إلكترونات حرة.

مثال صفي

سؤال كم عدد الإلكترونات الحرة في طبقة السيليكون النقي ذات الأبعاد $1.03\ mm \times 15.9\ mm \times 3.33\ mm$ عند درجة 0 K؟ وكم عددها عند درجة حرارة الغرفة؟

الجواب

لا توجد إلكترونات حرة عند درجة حرارة الصفر المطلق، لأن الإلكترونات جميعها تكون في حالة سكون. أما عند درجة حرارة الغرفة فتساوي:

عدد الإلكترونات الحرة free é

$$= \left(\frac{1.45\times10^{23}\ free\ \acute{e}}{cm^3}\right)(0.103\ cm)(1.59\ cm)(0.333\ cm)$$

عند درجة حرارة الغرفة $= 7.91\times10^{20}$

استخدام التشابه

حركة الإلكترون يمكن لحبيبات الرمل في الساعة الرملية أن تنزلق بسهولة بعضها فوق بعض، وأن تتدفق من قمة الإناء الزجاجي إلى قاعدته. وإذا كان الرمل رطبًا، فإن الحبيبات تلتصق بعضها ببعض ويصبح تدفقها صفرًا. تحتوي المواد جميعها على إلكترونات، لكنها لا تستطيع الانتقال بسهولة من موقع إلى آخر دائما.

مسائل تدريبية

.3 $5.19\times10^{-10}\ \frac{\text{free } e^-}{\text{atom}}$

.4 $8.00\times10^{-23}\ \frac{\text{free } e^-}{\text{atom}}$

مسائل تدريبية

.3 كثافة عنصر الجرماينوم النقي $5.23\ g/cm^3$ وكتلته الذرية $72.6\ g/mol$. ويوجد به $2.25\times10^{13}\ free\ e^-/cm^3$ عند درجة حرارة الغرفة، ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة؟

.4 يمتلك عنصر الجرماينوم $3.47\ free\ e^-/cm^3$ عند درجة حرارة $100.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة ؟

أشباه الموصلات المعالجة Doped Semiconductors

يتعين أن تزداد موصلية أشباه الموصلات النقية بمقدار كبير عند صنع الادوات الإلكترونية حيث تضاف ذرات مانحة أو مستقبلة للإلكترونات بتركيز قليل إلى أشباه الموصلات النقية تسمى الشوائب، تعمل على زيادة الموصلية لها، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية. وأشباه الموصلات التي تعالج بإضافة شوائب تسمى **أشباه الموصلات غير النقية (المعالج)**.

أشباه الموصلات من النوع السالب (n) إذا كانت المادة المانحة لإلكترون ما خماسية التكافؤ كالزرنيخ As الذي يستخدم كمعالج للسيليكون مثلا، فإن الناتج يكون مادة شبه موصلة من النوع n. ويوضح **الشكل 3–6a** الموقع الذي احتلته الذرة المانحة As محل إحدى ذرات السيليكون Si في بلورة السيليكون. حيث ترتبط أربعة من إلكترونات التكافؤ الخمسة مع ذرات السيليكون المجاورة. ويسمى الإلكترون الخامس لذرة As بالإلكترون المانح. وتكون طاقة الإلكترون المانح قريبةً جدًّا من طاقة حزمة التوصيل، و يكون مقدار هذه الطاقة الحرارية كافيا لنقل هذا الإلكترون بسهولة من الذرة المعالجة إلى حزمة التوصيل، كما هو موضح في **الشكل 3–7a**. وتزداد موصلية أشباه الموصلات من النوع **n** بتوافر عدد أكبر من هذه الإلكترونات المانحة وانتقالها إلى حزمة التوصيل.

معلومة للمعلم

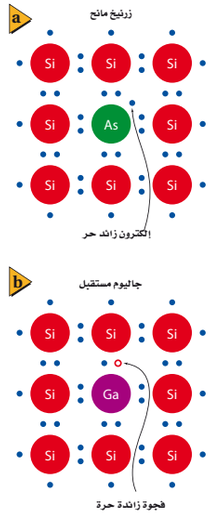
مهن في الحياة اليومية

صناعة أشباه الموصلات يعمل علماء الرياضيات، والفيزيائيون، والكيميائيون والمهندسون كلهم كفريق واحد في مجال صناعة أشباه الموصلات. وهم يتعاونون معًا في البحث، والتطبيقات الحديثة وتقنيات التصنيع المُحسّنة. بل يوجد تنافس عالمي شديد في صناعة أشباه الموصلات، لأنها تسهم في جزء كبير من الناتج القومي الإجمالي في العديد من الدول لكونها تقنية متاحة للجميع، ومن ثم فإنها تقود التطور والكفاءة في القطاعات الأخرى.

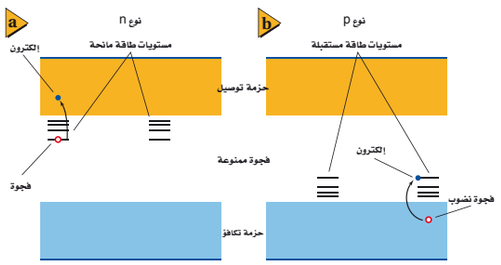
أشباه الموصلات من النوع الموجب (p) إذا كانت المادة المستقبلة لإلكترون ما ثلاثية التكافؤ كالجاليوم Ga الذي يستخدم كمعالج للسيليكون مثلا، فإن الناتج يكون مادة شبه موصلة من النوع p. وعندما تحل ذرة الجاليوم م Ga محل ذرة السيليكون Si في بلورة السيليكون، حيث ترتبط إلكترونات التكافؤ الثلاثة مع ذرات السيليكون المجاورة وينقص إلكترون واحد، مما يُحدث فجوة في بلورة السيليكون كما هو موضح في **الشكل 6b–3**. ويمكن للإلكترونات في حزمة التكافؤ أن تسقط بسهولة في هذه الفجوات، محدثةً فجوات جديدة. ومما يعزّز الموصلية في أشباه الموصلات من النوع p وجود وفرة من الفجوات التي تنتجها ذرات المستقبل المعالج، كما موضح في **الشكل 7b–3**.

تكون كل من أشباه الموصلات من النوع p والنوع n متعادلة كهربائيًّا. وإضافة ذرات معالجة من كلا النوعين لا تضيف أي شحنة محصلة إلى المادة شبه الموصلة. وكلا النوعين من أشباه الموصلات يستخدم الإلكترونات أوالفجوات في عملية التوصيل. ولا يكون مطلوبًا سوى القليل من الذرات المعالجة لكل مليون ذرة سيليكون مثلا لزيادة موصلية أشباه الموصلات بمعامل مقداره 1000 أو أكثر.

يُعالَج السيليكون بوضع بلورة نقية منه في فراغ مع عينة من المادة المعالجة. ثم يُسخّن المعالج حتى يتبخر، وتتكاثف ذراته على مادة السيليكون الباردة. ينتشر المعالج في السيليكون بالتسخين، وتبخر طبقة رقيقة من الألومنيوم أو الذهب على البلورة المعالَجة. ويُلحَم سلك بطبقة الفلزّ هذه، مما يسمح للمستخدِم بتطبيق فرق جهد على السيليكون المعالج بالشوائب.



الشكل 6–3 تحل ذرة الزرنيخ المانحة مع إلكترونات التكافؤ الخمسة الخاصة بها محل ذرة السيليكون وتنتج إلكترونًا غير مرتبط في بلورة السيليكون (a). وتنشئ ذرة الجاليوم المستقبلة مع إلكترونات التكافؤ الثلاثة الخاصة بها فجوات في البلورة (b).



الشكل 7–3 في النوع n من أشباه الموصلات (a)، مستويات الطاقة المانحة الإلكترونات تضع الالكترونات في حزمة التوصيل. في النوع p من أشباه الموصلات (b)، تُنتج مستويات طاقة المستقبل كفجوات في حزمة التكافؤ.

تقوية

استعمال الشوائب الموصلية الكهربائية خاصية حرجة للمواد المستخدمة في صناعة أدوات أشباه الموصلات. لا تعدّ أشباه الموصلات النقية ذات فائدة عظيمة في العديد من التطبيقات، وذلك لقصور موصليتها عن الحد المطلوب. ويمكن أن تزداد موصليتها بصورة كبيرة جدًّا عن طريق إضافة ذرات مانحة (نوع n) أو ذرات مستقبلة (نوع p) التي تسمى بالمعالجات أو الشوائب. اطلب إلى الطلبة توضيح السبب وراء زيادة موصلية المواد شبه الموصلة بمقدار كبير جدًّا عند إضافة القليل من ذرات الشوائب لكل مليون ذرة من ذرات المادة شبه الموصلة. في أشباه الموصلات النقية يوجد عدد قليل من الإلكترونات في حزمة التوصيل في أي وقت، وعليه فإن إضافة نسبة صغيرة نسبيًا من الشوائب إلى المادة تؤدي إلى زيادة مصدر إلكترونات التوصيل بصورة كبيرة. م 2

التفكير الناقد

اختيار الشوائب اسأل الطلبة: لماذا لا تستخدم بعض المواد مثل الثاليوم (مجموعة 13) والبزموث (المجموعة 15) لصنع السيليكون من النوع p والسيليكون من النوع n؟ إن ذرات الثاليوم والبزموث أكبر بكثير من ذرات السيليكون، وسوف تسبب تمزقات في التركيب البلوري إذا استخدمت كشوائب. م 2

نشاط

استخدام الجدول الدوري اطلب إلى الطلبة استقصاء الجدول الدوري وتحديد مواقع المواد المستقبلة المحتملة في المجموعة 13 والمواد المانحة المحتملة في المجموعة 15. المواد المستقبلة المحتملة الشائعة للسيليكون والجرمانيوم هي البورون، والجاليوم، والإنديوم. أما المواد المانحة الشائعة فهي الفوسفور، والزرنيخ والقصدير. تحقّق أيضًا من ملاحظة الطلبة أن السيليكون والجرمانيوم من عناصر المجموعة 4. م 2 **بصري-مكاني**

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الألماس والإلكترونيات دُرست أشباه موصلات الماس بصورة مكثّفة. فالماس في حالته النقية يعدّ مادة غير موصلة. ومع ذلك، فإن أغشية الماس الرقيقة المعالجة بالبورون تظهر خصائص مماثلة لخصائص أشباه الموصلات من النوع p. ومن الصعوبة تكوين أشباه موصلات الماس من النوع n. وبرغم ذلك، فقد صُنّع العديد من نماذج ترانزستورات الماس والدايودات المشعة للضوء. وبالرغم من أنه لا يمكن لأدوات السيليكون العمل عند درجات حرارة أكبر من 150°C، لأنها محدودة في تبديد القدرة. فإنه يمكن لأدوات الماس العمل عند درجات حرارة أكبر من ذلك بكثير، وعند مستويات طاقة أكبر بكثير. ويمكن تصنيع أدوات الماس أصغر من أدوات السيليكون.

مثال صفي

سؤال تعالج طبقة السيليكون الأساسية المثالية بوساطة 10^{15} من ذرات الزرنيخ لكل سنتمتر مكعب عند صناعة سيليكون من النوع n. ما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية عند درجة حرارة الغرفة؟

الجواب نسبة الناقلات المعالجة إلى الحرارية =

$$(1.0\times10^{15}\ \frac{\text{ē معالج}}{\text{cm}^3})/$$

$$(1.45\times10^{10}\ \frac{\text{ē حراري}}{\text{cm}^3})$$

$$= 6.9\times10^{4}$$

سؤال ما نسبة عدد ذرات السيليكون إلى عدد ذرات الزرنيخ؟

الإجابة إن نسبة عدد ذرات السيليكون إلى عدد ذرات الزرنيخ =

$$(4.99\times10^{22}\ \frac{\text{ذرة Si}}{\text{cm}^3})$$

$$(1.0\times10^{15}\ \frac{\text{ذرة As}}{\text{cm}^3}) = 5.0\times10^{7}$$

المجسات الحرارية إن الموصلية الكهربائية في أشباه الموصلات النقية وغير النقية حساسة لكل من درجة الحرارة والضوء، وبعكس الفلزّات التي تنخفض موصليتها بارتفاع درجة الحرارة، فإن زيادة درجة حرارة أشباه الموصلات تسمح بوصول المزيد من الإلكترونات إلى حزمة التوصيل، فتزداد الموصلية وتقل المقاومة. وقد صُمم جهاز شبه موصل سُمِّيَ المجس الحراري، تعتمد مقاومته بدرجة كبيرة على درجة الحرارة، ويمكن استخدام المجس الحراري كمقياس حسّاس لدرجة الحرارة، وللكشف عن تغيرات درجة الحرارة للمكوّنات الأخرى للدائرة الكهربائية. ويمكن استخدامه أيضًا للكشف عن الموجات الراديوية، والأشعة تحت الحمراء والأشكال الأخرى من الإشعاع.

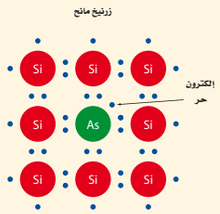
مثـــال 3

موصلية السيليكون المُعالَج يعالج السيليكون بفلزّ الزرنيخ، وبذلك تستبدل ذرة واحدة من كل مليون ذرة سيليكون بذرة زرنيخ. وتمنح كل ذرة زرنيخ حزمة التوصيل إلكترون واحد.

a. ما كثافة الإلكترونات الحرة؟

b. ما النسبة بين كثافة السيليكون غير النقي والسيليكون النقي عندما يوجد $1.45\times10^{10}\text{free}/\text{cm}^3$؟

c. هل يعتمد التوصيل على إلكترونات السيليكون أم على إلكترونات الزرنيخ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة

المعلوم	المجهول
ذرة واحدة As $/10^6$ Si atoms	$\text{free e}^-/\text{cm}^3$ التي تمنح بوساطة الزرنيخ=؟
$1\ \text{free e}^-/\text{As atom}$	عدد الإلكترونات الحرة التي يمنحها الزرنيخ بالنسبة للإلكترونات الحرة في شبه الموصل النقي=؟
$4.99\times10^{22}\ \text{Si atoms}/\text{cm}^3$	
$1.45\times10^{10}\ \text{free e}^-/\text{cm}^3$ في السيليكون النقي	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a.

بالتعويض عن

ذرة free e^- / ذرة As

= 1 free e^- / 1 ذرة As

ذرة As / ذرة Si

= 1 ذرة As/1×10^6 ذرة Si

Si ذرة/cm^3

= 4.99×10^{22} ذرة Si/cm^3

$$(\frac{\text{free e}^-}{\text{cm}^3}\ \text{من As}) = (\frac{\text{free e}^-}{\text{ذرة As}})\ (\frac{\text{ذرة As}}{\text{ذرة Si}})\ (\frac{\text{ذرة Si}}{\text{cm}^3})$$

$$(\frac{\text{free e}^-}{\text{cm}^3}) = (\frac{1\ \text{free e}^-}{1\ \text{ذرة As}})\ (\frac{1\ \text{ذرة As}}{1\times10^6\ \text{ذرة Si}})\ (\frac{4.99\times10^{22}\ \text{ذرة Si}}{\text{cm}^3})$$

$$= 4.99\times10^{16}\ \text{free e}^-/\text{cm}^3$$

نشاط — مشروع فيزياء

السيليكون فائق النقاوة اطلب إلى الطلبة البحث في كيفية تحضير السيليكون ذي النقاوة العالية لصناعة أدوات أشباه الموصلات. واستخدم حديثًا ترسيب البخار الكيميائي لإنشاء طبقة سيليكون ذات نقاوة عالية فوق رُقاقة سيليكون قطعت من سبيكة. وتستخدم تلك الطبقة لصناعة الأدوات بعد ذلك، وهكذا، فإن زيادة نقاوة سبائك السيليكون أصبحت أقل أهمية في صناعة الإلكترونيات الدقيقة. اطلب إلى الطلبة إعداد مخطط يتضمن الخطوط العريضة لعرض تقديمي حول موضوع صناعة أشباه الموصلات بهدف عرضه داخل الصف، وينبغي أن يستخدموا هذا المخطط لتنظيم أية وسائل بصرية سيستخدمونها، مثل لوحات العرض أو الملصقات أو شرائح العرض التقديمي المعدّ بوساطة الحاسوب. م 3 لغوي

b.

بالتعويض عن 4.99×10^{16} free e^- / cm^3 في Si المعالج
1.45×10^{10} free e^- / cm^3 في Si النقي

$$\text{النسبة} = \left(\frac{\text{في Si المعالج } \text{free } e^- / cm^3}{\text{في Si النقي } \text{free } e^- / cm^3}\right)$$

$$= \left(\frac{\text{في Si المعالج } 4.99\times10^{16} \text{ free } e^- / cm^3}{\text{في Si النقي } 1.45\times10^{10} \text{ free } e^- / cm^3}\right)$$

$$= 3.44\times10^{6}$$

c. التوصيل أساسه إلكترونات الزرنيخ المانحة بسبب وجود أكثر من ثلاثة ملاين إلكترون زرنيخ مقابل كل إلكترون موجود أصلًا.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل يؤكد صحة الوحدات .
- **هل الجواب منطقي؟** النسبة كبيرة لدرجة كافية، بحيث أن الالكترونات الموجودة أصلا، لا تساهم تقريبًا في الموصلية.

مسائل تدريبية

5. إذا أردت الحصول على 1×10^{4} من إلكترونات الزرنيخ المعالج كإلكترونات حرة في السيليكون عند درجة حرارة الغرفة، فما عدد ذرات الزرنيخ التي يتعين أن تتواجد لكل ذرة سيليكون؟

6. يمتلك الجرمانيوم 1.13×10^{15} ناقلاً حراريًا حرا/ cm^3 عند درجة حرارة 400.0 K. إذا عولج الجرمانيوم بوساطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة جرمانيوم Ge. فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

مقاييس الضوء تعتمد التطبيقات المفيدة الأخرى لأشباه الموصلات على حساسيتها للضوء. فعندما يسقط الضوء على المادة شبه الموصلة، فإنه يعمل على إثارة إلكترونات تنتقل من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل بالطريقة نفسها التي تعمل فيها مصادر الطاقة الأخرى لإثارة الذرات. وبذلك تتناقص المقاومة مع زيادة شدة الضوء. ويمكن تصميم أشباه الموصلات المعالجة للاستجابة لأطوال موجية محددة من الضوء، ويتضمن ذلك مناطق الأشعة تحت الحمراء ومنطقة الضوء المرئي من الطيف. بالإضافة إلى ذلك، تعدّ بعض المواد كالسيليكون، وكبريتيد الكادميوم مقاومات يعتمد مقدارها على الضوء، وتستخدم في مقاييس الضوء التي يستخدمها مهندسو الإضاءة في إنارة المحال التجارية، والمكاتب، والمنازل، ويستخدمها أيضًا المصورون الفوتوجرافيون لتعديل آلات التصوير لالتقاط أفضل الصور.

مسائل تدريبية

5. 2.91×10^{-9} $\frac{\text{ذرة As}}{\text{ذرة Si}}$

6. 38.4

3. التقويم

التحقق من الفهم

فرق الجهد اسأل الطلبة ماذا سيحدث إذا وصلت قطعة سيليكون من النوع n مع قطعة سيليكون من النوع p، ثم صل الفولتميتر مع طرفي الوصلتين. ستكون قراءة الفولتيميتر صفرًا، لأنه لن يكون هناك شحنة كلية على أي من القطعتين. م2

التوسع

مشعات الحرارة أزل الغطاء عن جهاز حاسوب شخصي، وأشر إلى مشعاع الحرارة المثبت فوق رقاقةَ المعالِج. واسأل الطلبة: ما الغرض الذي يؤديه هذا المشعاع ؟ يوفر مشعاع الحرارة مسارًا للمقاومة الحرارية المنخفضة. تزيد مشعات الحرارة الإلكترونية من معدل نقل الحرارة من الأدوات الإلكترونية كالترانزستور أو الدائرة المتكاملة إلى الهواء المحيط. إن رقاقات السيليكون الخاصة بالحاسوب تحدث أخطاءً أو تتوقف عن العمل إذا أصبحت ساخنةً جدًّا، لأن الناقلات الحرارية تزداد بازدياد درجة الحرارة. م2

3–1 مراجعة

7. **حركية الناقل** في أي نوع من المواد، الموصلة، أو شبه الموصلة، أو العوازل يرجح أن تبقى الإلكترونات في الذرة نفسها؟
8. **أشباه الموصلات** إذا زادت درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية. فمثلاً، زيادة درجة الحرارة حتى ثماني درجات سيليزية (8 °C)، يؤدي إلى مضاعفة عدد الإلكترونات الحرة في السيليكون. فهل من المرجح أن يكون لدى شبه الموصل النقي أو شبه الموصل غير النقي موصلية تعتمد على درجة الحرارة؟ وضح إجابتك.
9. **موصل أم عازل؟** لأكسيد الماغنيسيوم فجوة ممنوعة مقدارها 8 eV، فهل هذه المادة موصلة أم عازلة، أم شبه موصلة؟
10. **أشباه الموصلات النقية وغير النقية** إذا كنت تصمم دائرة متكاملة باستخدام بلورة سيليكون مفردة. وأردت أن تحصل على منطقة ذات خصائص عازلة جيدة نسبيًا. فهل من المفروض أن تعالج هذه المنطقة أم نتركها كشبه موصل نقي؟
11. **التفكير الناقد** تضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها السيليكون عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8 °C ، ويتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها الجرمانيوم عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C. يبدو أن الجرمانيوم يتفوق في التطبيقات ذات درجة الحرارة الكبيرة، ولكن العكس هو الصحيح. وضح ذلك؟

3-1 مراجعة

7. العوازل
8. تعتمد موصلية اشباه الموصلات النقية على درجة الحرارة، لأن مصدر موصليتها جميعًا الإلكترونات المحررة حراريًا، بينما تعتمد المادة شبه الموصلة المعالجة على الشحنات التي مصدرها الشوائب، والتي تعتمد قليلاً على درجة الحرارة.
9. عازل
10. نتركها كشبه موصل نقي.
11. إن السيليكون يُظهر نواقل محررة حراريًا أقل بكثير عند أي درجة حرارة، حتى لو أن معدل تغير إنتاج الناقل الحراري كبير بالنسبة له.

1. التركيز

نشاط محفز

الترانزستورات صل خلية 1.5 V على التوالي مع مكبر صوت ومقاوم مقداره 390 Ω. أغلق الدائرة وافتحها. سيكون الصوت ضعيفًا جدًّا نظرًا للمقاومة والتيار الصغير الناتج. صل القطب الموجب للخلية مع أحد طرفي مكبر الصوت، وصل طرفه الآخر مع جامع ترانزستور NPN. عندما يكون الجانب المسطح من غلاف الترانزستور مواجهًا لك على أن تشير أطراف الترانزستور إلى الأسفل، وسيكون الجامع على اليمين والباعث على اليسار. صل باعث الترانزستور مع القطب السالب للخلية. لن يكون هناك صوت مسموع، لأن الترانزستور مغلق. صل أحد طرفي المقاوم 390 Ω بطرف القاعدة الخاصة بالترانزستور، وصل الطرف الآخر بطرف الجامع. سيكون الصوت عاليًا نسبيًا (عندما تصل وصلة القاعدة وتفتحها)، وهذا يعود إلى تضخيم تيار الترانزستور من دائرة القاعدة إلى دائرة الجامع. **م 1 سمعي-موسيقي**

الربط مع المعرفة السابقة

المقاومات تذكر كيف يرتفع وينخفض فرق الجهد في الدوائر الموصولة على التوالي.

إن مقاومة الجامع في مضخم الترانزستور تخفّض جزءًا من جهد المصدر، ويهبط كذلك في الأجزاء الأخرى عبر دائرة الجامع–الباعث الخاصة بالترانزستور.

تعتمد الأجهزة الإلكترونية في عصرنا الحاضر كالمذياع، والتلفاز، ومشغلات الأقراص المدمجة CD، والحواسيب الصغيرة على أدوات مصنوعة من أشباه الموصلات، تتجمع في رقائق من السيليكون لا يتجاوز عرضها بضعة مليمترات. وفي هذه الأدوات يتغير كل من التيار والجهد بطرائق أكثر تعقيدًا عما وصف بقانون أوم.

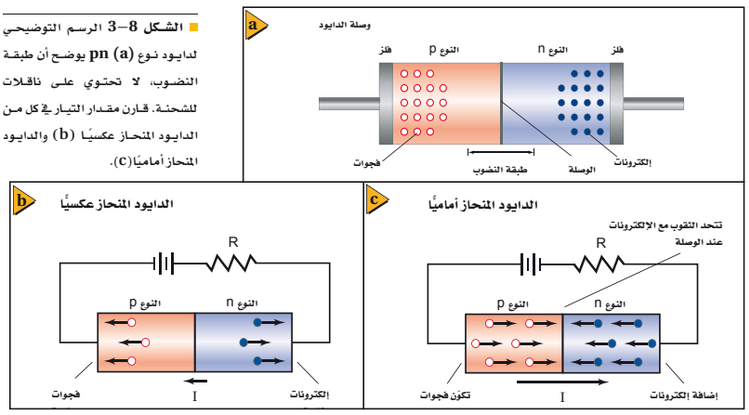
الأهداف
- **تصف** كيف يعمل الدايود على جعل التيار الكهربائي يتدفق في اتجاه واحد فقط.
- **توضح** كيف يمكن للترانزستور العمل على زيادة أو تضخيم تغيرات الجهد.

المفردات
الدايود
طبقة النضوب
الترانزستور
رقاقة ميكروبه

الدايودات Diodes

يعدّ الدايود (الوصلة الثنائية) أبسط الأدوات المصنوعة من أشباه الموصلات. ويتكوّن من قطعة صغيرة من أشباه الموصلات من النوع p موصولة بقطعة أخرى من النوع n. وبدلاً من استخدام قطعتين منفصلتين من السيليكون المعالج ومن ثم وصلهما معًا، تؤخذ عينة واحدة من السيليكون النقي ثم تُعالج أولاً بالمعالج p، ومن ثم تعالج بالمعالج n. وتُطلى مناطق الوصل الفلزّية في كل منطقة بحيث يمكن وصل الأسلاك بها كما هو موضح في **الشكل 3–8a**. ويطلق على الحد الفاصل بين شبه الموصل من نوع p وشبه الموصل من نوع n بالوصلة، وعليه تسمى الأداة الناتجة؛ بالدايود pn نوع pn.

تنجذب الإلكترونات الحرة في الطرف n من الوصلة نحو الفجوات الموجبة في الطرف p، حيث تتحرك الإلكترونات بسهولة إلى المنطقة p وتتحد مع الفجوات. وبطريقة مماثلة تتحرك الفجوات من الطرف p إلى المنطقة n حيث تتحد مع الإلكترونات، ونتيجة لهذا التدفق تمتلك المنطقة n شحنة كلية موجبة، بينما تمتلك المنطقة p شحنة كلية سالبة. وتنتج هذه الشحنات قوى في الاتجاه المعاكس مما يؤدي إلى توقف حركة المزيد من



الشكل 3–8 الرسم التوضيحي لدايود نوع pn (a) يوضح أن طبقة النضوب، لا تحتوي على ناقلات للشحنة. قارن مقدار التيار في كل من الدايود المنحاز عكسيًا (b) والدايود المنحاز أماميًا (c).

2. التدريس

تطوير المفهوم

- **رمز الدايود** يستخدم الخط المستقيم كرمز يمثل المهبط أو الجانب ذا الشحنة السالبة الكبرى في حالة الانحياز الأمامي للدايود. وتمتلك مجموعات الدايود خطًّا أو حزمة خطوط عند نهاية المهبط. أما المصعد، أو الجانب ذو الشحنة الموجبة الكبرى في حالة الانحياز الأمامي فيُمثَّل بوساطة السهم.
- **الانحياز العكسي** وضّح للطلبة كيف أن الانحياز العكسي يعني أن شحنة المهبط ذي الشحنة الموجبة أكبر من شحنة مصعد الدايود. وتحت ظرف الانحياز العكسي، يوجد تيار إشباع عكسي صغير خلال الدايود لا يعتمد على الجهد العكسي، والذي عادةً ما يكون أصغر بعدة مرات من التيارات الأمامية المثالية.
- **الانهيار التيهوري** سيؤدي الإفراط في زيادة جهد الانحياز العكسي المطبق على الدايود إلى ارتفاع شديد ومفاجئ في التيار العكسي. ويسمّى هذا الظرف أحيانًا "الانهيار التيهوري"، وقد صممت أداة تسمّى دايود زينر لتعمل بطريقة صحيحة تحت هذا الظرف.
- **مقاومة التوالي** يتعين أن لا توصل الدايودات مطلقًا بها في ذلك الدايودات المشعة للضوء مع مصدر الجهد مباشرة، من دون أن توصل بمقاومة على التوالي تحُدّ من قوة التيار. وإلا، فإن الارتفاع السريع في درجة الحرارة سيتلف الأداة.

ناقلات الشحنة. وتترك المنطقة المحيطة بالطبقة الفاصلة دون فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب فيها ناقلات الشحنة. لذلك تسمى طبقة النضوب. وبما أن **طبقة النضوب** لا تحتوي على ناقلات الشحنة، فإنها تعدّ رديئة التوصيل للكهرباء. ولذلك، يتكون الدايود نوع pn من موصلات جيدة التوصيل نسبيًا عند الأطراف تحيط بمنطقة رديئة التوصيل.

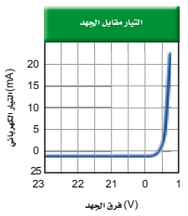
عندما يوصل الدايود في الدائرة الكهربائية بالطريقة الموضحة في **الشكل 3–8b**، فإن كلاً من الإلكترونات الحرة في المادة شبه الموصلة من النوع n والفجوات في المادة شبه الموصلة من النوع p تنجذب نحو البطارية، فيزداد عرض طبقة النضوب، ولا تتلاقى ناقلات الشحنة. ويكاد لا يمرّ تيار كهربائي من خلال الدايود: وبالتالي فإنه يعمل عمل مقاومة كبير جدًّا. ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة؛ الدايود المنحاز عكسيًّا.

أما إذا عكس اتجاه توصيل البطارية كما موضح في **الشكل 3–8c**، فإن ناقلات الشحنة تُدفع باتجاه طبقة النضوب. وإذا كان جهد البطارية كبيرًا إلى درجة كافية كأن يكون 0.7 V عند استعمال دايود السيليكون، فإن الإلكترونات تصل إلى الطرف p وتملأ الفجوات. وتضمحل طبقة النضوب ويعبر التيار من خلال الدايود. وتستمر البطارية بتزويد الطرف n بالإلكترونات. وتزيل الإلكترونات من الطرف p أيضًا، وبذلك تعمل البطارية عمل مزوّد للفجوات. وبزيادة متواصلة في الجهد من البطارية، يزداد التيار. ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز أماميًّا.

يبين الرسم البياني الموضح في **الشكل 3–9** التيار الكهربائي المارّ خلال دايود السيليكون كدالّة رياضية للجهد المطبق عليه. فإذا كان الجهد المطبق عليه سالبًا، يعمل الدايود المنحاز عكسيًّا عمل مقاومة ذات مقدار كبير جدًّا، ووفقًا لذلك يمرّ تيار صغير جدًّا فقط (10^{-11} A تقريبًا لصمام السيليكون).

وإذا كان الجهد موجبًا، فإن الدايود يكون منحازًا أماميًّا، ويعمل عمل مقاومة صغيرة، وعلى الرغم من ذلك فإن الدايود لا يخضع لقانون أوم. إن إحدى الاستخدامات الرئيسة للدايود هي تحويل الجهد المتردّد AC إلى جهد مستمر DC بقطبية واحدة فقط. وعندما يستخدم الدايود في دائرة كهربائية يقوم بهذه الوظيفة، فعندئذ يسمى بالمقوّم. ويبين السهم المرسوم على رمز الدايود، والذي ستشاهده في المثال 4 اتجاه التيار الاصطلاحي.

الشكل 3–9 يشير الرسم البياني إلى خصائص التيار–الجهد لوصلة دايود مصنوع من السيليكون.



نشاط **متقدم**

مصابيح الدايود المشعة للضوء هي دايودات تشع ضوءًا مرئيًا. اطلب إلى الطلبة اقتراح نموذج دائرة لمصباح الدايود الذي يعمل بالبطارية. الدايود المثالي ذو الضوء الأبيض المصمم لهذا الغرض سوف يعطي إضاءة جيدة ، وعمر تشغيل طويل عند مستوى تيار 25 mA، وسيمتلك هبوط جهد مقداره 3.5 V في حالة الانحياز الأمامي. يتعين على الطلبة تحديد مكونات البطارية وشكلها. ومقاومة التوالي، ومعدلات قدرة هذا المصباح. كمثال على ذلك؛ دائرة توالي تحتوي على أربع خلايا 1.5 V من شأنها توفير مصدر جهد مقداره 6 V. إن الجهد عبر مقاومة التوالي سيكون 6.0 V–3.5 V = 2.5 V. وستعطي مقاومة توالي قدرتها 100.0 W تيارًا شدته 25mA. ويتعين أن يقيّم هذا المقاوم على الأقل بالمقدار الآتي:

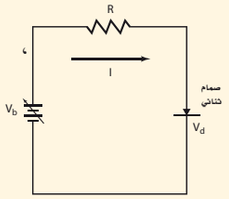
$P = (0.025\ A)^2\ (100.0\ W) = 0.063\ W$. **م 3 بصري-مكاني**

مثـــال 4

الدايود في الدائرة الكهربائية البسيطة دايود مصنوع من السيليكون له الخصائص I/V الموضحة في الشكل 9–3 موصول بمصدر قدرة خلال مقاومة مقداره 470 Ω. إذا عمل مصدر القدرة على انحياز الدايود إلى الأمام، وعدّل جهده حتى أصبح تياره 12 mA. فما مقدار جهد مصدر القدرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا توضيحيًا للدائرة الكهربائية التي وصل بها الدايود والمقاومة 470 Ω ومصدر القدرة. ثم بيّن اتجاه التيار.



المعلوم	المجهول
$I = 0.012\ A$	$V_b = ?$
$V_d = 0.70\ V$	
$R = 470\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن هبوط الجهد عبر المقاومة يعرف من خلال المعادلة V = IR، ويمثل مصدر الجهد مجموع هبوط الجهد في المقاومة والدايود.

$$V_b = IR + V_d$$

بالتعويض عن $I = 0.012\ A, R = 470\ \Omega, V_d = 0.70\ V$

$$= (0.012\ A)\ (470\ \Omega) + 0.70\ V$$

$$= 6.3\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** فرق جهد مصدر القدرة مقيس بوحدة الفولت.
- **هل الجواب منطقي؟** تتفق مع التيار والمقاومة.

مسائل تدريبية

12. ما جهد البطارية الضروري لتوليد تيار كهربائي مقداره 2.5 mA في الدايود الوارد في المثال 4؟

13. إذا كان مقدار هبوط الجهد للدايود المصنوع من الجرمانيوم 0.40 V عند مرور تيار كهربائي مقداره 12 mA خلاله. ووصلت مقاومة مقدارها 470 Ω على التوالي مع الدايود ، فما جهد البطارية اللازم؟

مسائل تدريبية

12. 1.7 V

13. 6.0 V

مثال صفي

سؤال وُصِلَ دايود مشع للضوء، ومقاوم مقداره 330 Ω وبطارية 9.0 V معًا على التوالي. ما مقدار التيار. افرض أن الهبوط في الجهد عبر الدايود يساوي 2.2 V؟

الجواب

جد أولاً الهبوط في الجهد عبر المقاوم:

$V_R = 9.0\ V - 2.2\ V = 6.8\ V$، ثم استخدم قانون أوم لإيجاد التيار:

$I = V/R = 6.8\ V/330\ \Omega = 21\ mA$

عرض سريع

الدايودات المشعة للضوء

الهدف إثبات أن الدايود يوصل التيار في اتجاه واحد فقط.

المواد والأدوات خليتان 1.5 V، ودايود مشع للضوء الأحمر، ومقاوِم مقداره 100 Ω.

الخطوات صل الخلايا على التوالي لتكوين مصدر جهد 3.0 V. ثم صل الدايود المشع للضوء الأحمر على أن يكون منحازًا أماميًا على التوالي مع المقاوِم 100 Ω ومصدر الجهد. سيضيء الدايود المشع للضوء. اعكس قطبية مصدر الجهد. وعندها لن يكون هناك ضوء. تمتلك الدايودات المشعة للضوء الأخضر والدايودات المشعة للضوء الأزرق كلها هبوط جهد أمامي كبير (3.4 V تقريبًا مقابل 1.6 V للدايودات المشعة للضوء الأحمر)، إذا كان أحد الدايودات المشعة للضوء الأخضر أو الأزرق متوافرة، فاستخدمها لإثبات أن الدايود لن يوصل التيار في أي اتجاه عندما يكون جهد المصدر منخفضًا جدًّا.

استخدام النماذج

برنامج محاكاة الدوائر تستند برامج المحاكاة الحاسوبية للدوائر الإلكترونية على المصطلح SPICE الذي يعني "برنامج محاكاة مع تأكيد الدوائر المتكاملة". ونماذج SPICE متوافرة للدايودات، والترانزستورات والدوائر المتكاملة. كان يتطلب تشغيل برنامج محاكاة SPICE حواسيب مركزية، أما الآن فيمكن أن تعمل بوساطة الحواسيب الشخصية، وقد أصبحت أداة قياسية لكل من الهواة والمحترفين على حدٍ سواء.

التفكير الناقد

الضوء الأبيض والدايودات المشعة للضوء تعدّ الدايودات المشعة للضوء مصادر أحادية اللون، اسأل الطلبة: كيف يمكن صنع الدايودات المشعة للضوء لتنتج ضوءًا أبيض؟. تكمن إحدى الطرائق بتراكب مخرجات الدايودات المشعة للضوء الأحمر، والأخضر، والأزرق. وتستند الطريقة الأخرى إلى تقنية التحويل،التي يتم فيها تركيب رقاقات InGaN الزرقاء مع محوّل فلوري مناسب. م2

استخدام الشكلين 11– 3 و 12–3

عندما توصل الترانزستورات كمضخمات، فإن الدايود بين الجامع–القاعدة يكون منحازًا عكسيًا، والدايود بين القاعدة–الباعث يكون عادة منحازًا أماميًا. وسوف يتطلب أن يمتلك كلا المصدرين قطبية معكوسة لتحويل الشكل 12–3 من أجل استخدامه مع ترانزستور pnp.

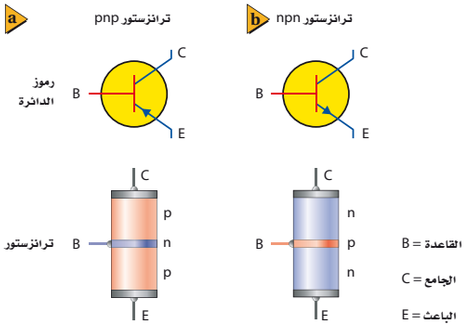
المناقشة

سؤال تحت أي ظروف تكون أنابيب التفريغ أفضل من الترانزستورات؟

الإجابة توجد عدة إجابات: (1) يمكن أن تعمل أنابيب التفريغ عند جهود عالية، مما يجعلها قادرة على تزويد عدة كيلوواطات من القدرة، وهي لا تزال تستخدم في التطبيقات التي تعمل بقدرة عالية مثل المذياع، والتلفاز، والميكروويف. (2) يمكنها تحمّل تغيرات الجهد المفاجئة بصورة أفضل. (3) يمكنها الإبقاء على نبضة كهرومغناطيسية كبيرة. م2

الشكل 10–3 تعمل صمامات الليزر عمل باعثات للضوء، وكاشفات لأشرطة الترميز.

الدايودات المشعة للضوء الدايودات المصنوعة من مزيج الجاليوم، والألومنيوم مع الزرنيخ والفوسفور تبعث ضوءً عندما تكون منحازة أماميًا. فعندما تصل الإلكترونات إلى الفجوات في الوصلة، فإنها تتحد معًا مجددًا وتطلق الطاقة الفائضة على هيئة ضوء بأطوال موجية محددة. وتسمى هذه الدايودات ؛ بالدايودات المشعة للضوء، أو LEDs. وقد شكلت بعض الدايودات المشعة للضوء لتبعث حزمة ضيقة من ضوء الليزر المترابط أحادي اللون. ودايودات الليزر هذه تَعد مصادر قوية للضوء، وتستخدم في مشغلات الأقراص المدمجة CD، ومؤشرات الليزر، وفي الماسحات الضوئية لأشرطة الترميز المستخدمة في الأسواق التجارية الموضحة في **الشكل 10–3**. ويمكن لهذا الدايود استشعار الضوء، والكشف عنه بالإضافة إلى قدرته على بعثه. والضوء الساقط على وصلة الدايود من النوع pn المنحاز عكسيًا ينشئ إلكترونات وفجوات، و ينتج تيارا يعتمد على شدة الضوء الساقط.



الشكل 11–3 قارن رموز الدائرة الكهربائية المستخدمة لتمثيل ترانزستور pnp(**a**) وترانزستور npn(**b**).

الترانزستورات والدوائر المتكاملة Transistors and Integrated Circuits

يعدّ **الترانزستور** أداة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالجة. حيث يتكون ترانزستور npn من طبقتين من شبه الموصل من النوع n على طرفي الطبقة الرقيقة المصنوعة من شبه الموصل من النوع p، وتسمى الطبقة المركزية القاعدة، وتسمى إحدى المنطقتين عند كلا الجانبين الباعث، كما تسمى الطبقة الأخرى الجامع ويوضح **الشكل 11–3** الرسوم التخطيطية لنوعي الترانزستور، ويوضح السهم المرسوم على الباعث اتجاه التيار الاصطلاحي.

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

تشابهات التضخيم يمكن أن يكون التضخيم مفهومًا صعبًا. حاول عمل تشابه بين التضخيم وبعض الإجراءات الصغيرة التي تضبط شيئًا كبيرًا. ويعدّ مقود موجّه حركة السيارة الحديث أحد التشابهات المحتملة. وبسبب وجود المضخم الهيدروليكي في السيارة، تكون القوة اللازمة لتدوير المقود أقل كثيرًا من القوة التي ستلزم لتدوير العجلات الأمامية للسيارة بطريقة مباشرة. ويعدّ استخدام الرافعة كمضاعِف للقوة تشابهًا آخر أكثر وضوحًا. م1 منطقي-رياضي

يوضح **الشكل 12–3** طريقة عمل ترانزستور npn. ويمكن اعتبار وصلتي pn في الترانزستور تشكيلًا مبدئيًا لدايودين موصولين معًا بصورة عكسية، وتعمل البطارية الموضوعة على اليمين V_C على إبقاء الجامع ذي شحنة موجبة أكبر من شحنة الباعث. ويكون الدايود الموجود بين القاعدة، والجامع منحازًا عكسيًّا، وتكون طبقة النضوب عريضة، ولذلك لا يتدفق تيار من الجامع إلى القاعدة. وعندما تكون البطارية الموضوعة عن يسارك V_B موصولة، تكون القاعدة ذات شحنة موجبة أكبر من شحنة الباعث، وذلك من شأنه أن يجعل الدايود الموجود بين القاعدة والباعث منحازًا أماميًّا، فيؤدي ذلك إلى السماح للتيار I_B بالتدفق من القاعدة إلى الباعث.

إن القاعدة الرقيقة جدًّا جزء من كلا الدايودين في الترانزستور، وحقن الشحنات بوساطة التيار I_B يقلل من الانحياز العكسي للدايود الموجود بين القاعدة والجامع، بحيث يسمح للشحنة بالتدفق من الجامع إلى الباعث، وينتج التغير القليل في التيار I_B تغيرًا كبيرًا في التيار I_C.

يؤدي تيار الجامع إلى هبوط الجهد عبر المقاومة R_C. وتؤدي التغيرات الصغيرة في الجهد V_B المطبّق على القاعدة إلى انتاج تغيرات كبيرة في تيار الجامع وإلى تغيرات في هبوط الجهد عبر المقاومة R_C أيضًا، ونتيجة لذلك فإن الترانزستور يضخّم تغيرات الجهد الصغيرة إلى تغيرات أكبر بكثير. وإذا كانت الطبقة المركزية منطقة شبه موصلة من النوع n، فإن الأداة عندئذ تسمى ترانزستور pnp. ويعمل هذا الترانزستور بطريقة مماثلة كذلك ، ما عدا أن قطبي كل من البطاريتين معكوسان.

كسب التيار يعدّ كسب التيار من دائرة القاعدة إلى دائرة الجامع مؤشرًا مفيدًا على أداء الترانزستور. وعلى الرغم من أن تيار القاعدة صغير جدًّا، إلا أنه يعتمد على جهد القاعدة–الباعث الذي يتحكم في تيار الجامع. فمثلاً، إذا أزيل الجهد V_B في **الشكل 12–3**، سيهبط تيار الجامع إلى الصفر.

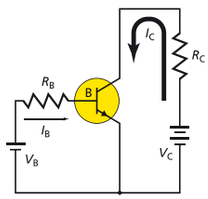
وإذا ازداد الجهد V_B، يزداد بالمقابل تيار القاعدة I_B، ويزداد أيضًا تيار الجامع I_C ولكن بصورة أكبر مرات عدة (من المحتمل أن يزيد 100 مرة أو أكثر). يتراوح مدى كسب التيار من القاعدة إلى الجامع من 50 إلى 300 للإستخدامات العامة للترانزستورات.

في جهاز التسجيل فإن التغيرات الصغيرة في الجهد الحثي في الملف بوساطة المناطق الممغنطة الموجودة على الشريط تُضخَّم لتحريك ملف السماعة. وفي الحواسيب يمكن للتيارات الصغيرة في دوائر القاعدة–الباعث تشغيل وإيقاف التيارات الكبيرة في دوائر الجامع–الباعث. وبالإضافة إلى ذلك يمكن وصل العديد من الترانزستورات معًا لتنفيذ العمليات المنطقية أو لإضافة الأرقام معًا، وفي هذه الحالات تعمل الترانزستورات عمل مفاتيح تحكم سريعة الأداء بدلاً من عملها كمضخمات.

تطبيق الفيزياء

دايود الليزر يبعث دايود الليزر المثالي الضوء بطول موجي مقداره 800 nm، والذي يعدّ قريبًا من الأشعة تحت الحمراء. فيخرج الشعاع من بقعة صغيرة في رقاقة GaA/As. وعندما يحزز الدايود بطاقة بوساطة تيار مقداره 80 mA، يحدث فيه هبوط جهد أماميًا مقداره 2 V. ويستخدم دايود الليزر عادة في الإرسالات عبر الألياف الضوئية.

الشكل 12–3 تظهر الدائرة التي تستخدم ترانزستور npn كيف يمكن تضخيم الجهد.



تطبيق الفيزياء

خلافًا لليزر الغاز أو ليزر الياقوت، ينتج دايود الليزر حزمة أشعة يتباعد بعضها عن بعض بصورة كبيرة، ويصحح ذلك بوساطة عدسة لتوليد حزمة أشعة متوازية ومجمّعة عادة. ويكون العرض المثالي لحزمة الأشعة 1 µm. اطلب إلى الطلبة توضيح لماذا يُعَدُّ تضييق حزمة الأشعة أمرًا ضروريًا في الأجهزة مثل مشغل الأقراص المدمجة والألياف الضوئية. في مشغل الأقراص المدمجة ينعكس ضوء الليزر عن الثقوب الموجودة على سطح القرص المدمج، وتكون المسافة المثالية الفاصلة بين الثقوب 0.85 µm، وعرض كل فجوة يساوي 0.5 µm تقريبًا. وعليه يكون شعاع ليزر عرضه 1 µm ضيّقًا بمقدار كافٍ ليسمح بانعكاس الضوء من فجوة واحدة في كل مرة. إن نصف القطر المثالي للألياف البصرية الأساسية تساوي 5 ميكرون إلى 100 ميكرون، ولأن شعاع دايود الليزر أكثر ضيقًا من هذا، فإن الشعاع يمكن أن يوجّه بدقة كبيرة إلى ليف بصري واحد.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

تيار الجامع قد لا يفهم الطلبة أحيانًا لماذا يصل معظم تيار الباعث إلى الجامع. أشر إلى أن طبقة القاعدة رقيقة جدًّا ومعالجة (مشوبة) بمقدار قليل جدًّا، لذلك فإن احتمالية عثور ناقلة الشحنة على نقيضها قليلة جدًّا.

نشاط **طرائق تدريس متنوعة**

إعاقة بصرية زوّد الطلبة بجهاز قياس كهربائي رقمي متعدد الأغراض و مزوّدٍ بفاحص الدايود، وبمنبه مسموع (العديد من أجهزة الملتيميتر توفر هذه الميزة). اطلب إلى الطلبة فحص العديد من الدايودات، والأسلاك، والمقاومات، والترانزستورات. يمكن ثني أطراف سلك المقاومة على شكل حرف U، وعندها يمكن تمييزها عن الدايودات. اطلب إلى الطلبة استخلاص النتائج المتعلقة بكيفية تأثير أدوات أشباه الموصلات في تيار الدائرة الكهربائية ومقاومتها. **م ١ سمعي-موسيقي**

تجربة

الضوء الأحمر

الهدف اكتشاف الخاصية الكهربائية التي يمتلكها الدايود.

المواد والأدوات مصدر قدرة مستمر قابل للضبط من 0 V وحتى 12 V، ومقاوِم مقداره 470 Ω، ودايود مشع للضوء الأحمر، وأسلاك توصيل.

النتائج المتوقعة لن يتوهج الدايود المشع للضوء عندما يُعكس التيار

التحليل والاستنتاج

3. سيسمح الدايود المشع للضوء بمرور التيار باتجاه واحد فقط.

تطوير المفهوم

قانون مور قدّم جوردن مور مشاهدته المشهورة عام 1965، بعد أربع سنوات من تطوير أول دائرة متكاملة مستوية. لاحظ مور نموًّا متزايدًا بصورة أسّيّه في عدد الترانزستورات لكل دائرة متكاملة. وقد توقع أن يستمر هذا الاتجاه. إن قانون مور الذي يشير إلى أن مضاعفة عدد الترانزستورات لكل دائرة متكاملة كل عامين، يبدو أنه لا يزال ساري المفعول.

تقوية

السلوك الأومي اسأل الطلبة فيما إذا كانت دائرة الجامع لأي ترانزستور تخضع لقانون أوم أم لا. إنها لا تخضع. يحدد تيار الجامع على الأغلب بوساطة تيار القاعدة وليس بوساطة جهد الجامع. م 2

الضوء الأحمر

ركّب دائرة كهربائية تحتوي على مصدر قدرة مستمر DC، ومقاومة مقداره 470 Ω ودايود مشع للضوء الأحمر متصلة معا على التوالي. صل السلك القصير الخاص بالدايود الباعث للضوء مع القطب السالب لمصدر القدرة الموصول بمقبس GFCI المحمي. ثم صل السلك الآخر الخاص بالدايود بالمقاوم. ثم صل الطرف الآخر للمقاومة مع القطب الموجب لمصدر القدرة، ثم زد الجهد بالتدريج حتى يبدأ الدايود المشع للضوء بالتوهج.

لاحظ قراءة الجهد على مصدر القدرة.

1. **ضع فرضية** حول ما سيحدث إذا عكست اتجاه التيار.
2. **جرّب** عن طريق عكس التوصيلات مع البطارية.

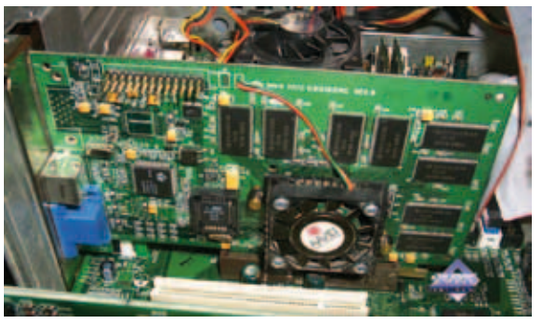
التحليل والاستنتاج

3. **وضح** ملاحظاتك بدلالة خصائص الدايود المشع للضوء.

الرقائق الميكروية دوائر متكاملة تدعى كل منها **رقاقة ميكروية** تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات. وكل منها لا يتجاوز طوله الميكرومتر الواحد. ويمكن صناعة كل هذه المكوّنات بمعالجة السيليكون وتشويبه (إضافة شوائب) بذرات مانحة أو مستقبلة. وتبدأ الرقاقة الميكروية ببلورة واحدة من السيليكون عالية النقاوة، بحيث يتراوح نصف قطرها من 10 cm إلى 30 cm وطولها من 1 m إلى 2 m، ثم يقطع السيليكون بوساطة منشار مطلي بالماس إلى شرائح سمكها أقل من 1 mm، ومن ثم تبنى الدائرة طبقة بعد أخرى على سطح هذه الشريحة.

وتُنتج آلاف الدوائر المتماثلة في شريحة واحدة تسمى عادة بالرقاقة. وبعد ذلك تفحص هذه الرقائق، وتقطع إلى شرائح منفردة، وتوضع في حامل، ومن ثم توصل الأسلاك بوصلاتها، وعند التجميع النهائي يغلّف المنتج باحكام بوساطة مواد بلاستيكية حافظة. إن الحجم الصغير للرقائق الميكروية الموضحة في **الشكل 13–3** يسمح بوضع الدوائر المعقدة في مساحة صغيرة لأن الإشارات الإلكترونية تنتقل خلال مسافات قصيرة جدًّا. وهذا يزيد من سرعة الحواسيب. وتستخدم الرقائق الآن في الأجهزة الكهربائية وفي السيارات، كما تستخدم في الحواسيب.

أشباه الموصلات إلكترونيات تتطلب عمل الفيزيائيين والكيميائيين والمهندسين معًا كفريق واحد. حيث يساهم الفيزيائيون بمعرفتهم لحركة الإلكترونات والفجوات في أشباه الموصلات. ويعمل الفيزيائيون والكيميائيون معًا على إضافة كميات مضبوطة ودقيقة من المعالجات (الشوائب) إلى السيليكون ذي النقاوة الكبيرة. ويطوّر المهندسون وسائل إنتاج الرقائق التي تحتوي على الآلاف من الدايودات والترانزستورات المصغّرة. وبتكاثف جهودهم معًا فقد استطاعوا نقل عالمنا هذا إلى العصر الإلكتروني.



الشكل 13–3 تشكل الرقائق الميكروية قلب وحدة المعالجة المركزية في أجهزة الحاسوب.

3. التقويم

التحقق من الفهم

تركيب الترانزستور اسأل الطلبة كيف يكون تركيب الترانزستور مشابهًا لتركيب الدايود. يمكن افتراض أن الترانزستور دايودان متصلان معًا بصورة متعاكسة. ما الفرق بين ترانزستورات npn وترانزستورات pnp؟ في الترانزستور npn توجد منطقتا n مفصولتان بمنطقة p الرقيقة. بينما في الترانزستور pnp توجد منطقتا p مفصولتان بمنطقة n الرقيقة. م2 **متفاعل**

التوسع

ترانزستورات أكسيد الفلز شبه الموصل قد يرغب بعض الطلبة المهتمين في البحث حول ترانزستورات أكسيد الفلزّ شبه الموصل، والتي يمكن التحكم بها بوساطة بوابة جهد بدلاً من تيار القاعدة. اسأل الطلبة: لماذا تكون هذه الترانزستورات فعّالة؟. يمكن تشغيلها بوساطة تيارات صغيرة جدًّا، ولذلك فهي تستخدم قدرة قليلة جدًّا. م3 **لغوي**

3–2 مراجعة

14. **دائرة الترانزستور** تيار الباعث في دائرة الترانزستور يساوي دائمًا مجموع تياري القاعدة و الجامع: $I_E = I_B + I_C$. وإذا كان كسب التيار من القاعدة إلى الجامع يساوي 95. فما النسبة بين تيار الباعث إلى تيار القاعدة؟

15. **هبوط جهد الدايود** إذا مُيِّز الدايود في الشكل 10–3 بأنه منحاز إلى الأمام بوساطة بطارية ومقاومة موصولة معه على التوالي، وتكوّن تيار يزيد عن 10 mA، وهبوط الجهد دائمًا 0.70 V تقريبًا. افرض أن جهد البطارية يزداد بمقدار 1 V، فاحسب:
   a. مقدار الزيادة في الجهد عبر الدايود أو الجهد عبر المقاومة.
   b. مقدار الزيادة في التيار المارّ خلال المقاومة.

16. **مقاومة الدايود** قارن بين مقداري مقاومة الدايود نوع pn عندما يكون منحازًا إلى الأمام وعندما يكون منحازًا عكسيًّا.

17. **قطبية الدايود** في الدايود المشع للضوء، ما الطرف الذي يجب أن يوصل مع الطرف p لجعل الدايود يضيء؟

18. **كسب التيار** إذا قيس تيار القاعدة في دائرة الترانزستور فكان 55 μA، وتيار الجامع يقيس 6.6 mA. فاحسب مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع.

19. **التفكير الناقد** هل يمكن أن تستبدل ترانزستور npn بدايوديـن منفصلين يوصلان معًا من الطرف p لكل منهما؟ وضح إجابتك.

3-2 مراجعة

14. 96 إلى 1

15. a. لأن الجهد عبر الدايود يساوي 0.70 V دائمًا، فإن الجهد عبر المقاومة يزداد بمقدار 1 V.

b. يزداد التيار بمقدار $I = 1\ V / R$.

16. توصل بطريقة أفضل عندما تكون منحازة إلى الأمام. لأن مقاومتها تكون اقل بكثير.

17. يتعين أن يكون الدايود المشع للضوء منحازًا إلى الأمام، عندها فإن القطب الموجب يتعين أن يكون موصولاً مع النهاية p.

18. 120

19. لا، إن منطقة p للترانزستور npn يتعين أن تكون رقيقة لدرجة كافية لكي تسمح للإلكترونات بالعبور من خلال القاعدة إلى الجامع.

الزمن المقترح حصة واحدة.

المهارات العملية إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها، تشكيل النماذج، المقارنة، التحليل والاستنتاج، التوضيح.

احتياطات السلامة يمكن أن يصبح المقاوم ساخنًا عند جهود مرتفعة.

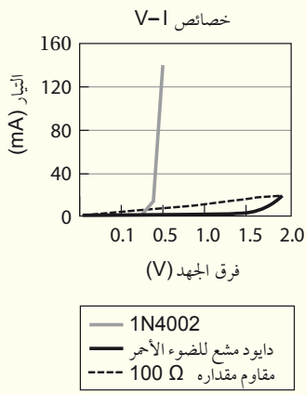
الموادّ البديلة يمكن استخدام الفولتميتر الرقمي بدلاً من الفولتميتر التماثلي (العادي).

استراتيجيات التدريس

- **لا تغفل حد التيار الذي يتحمله المقاوم، فزيادة التيار بصورة كبيرة يمكن أن يتلف الدايودات، والدايودات المشعة للضوء.**
- **زوّد مجموعات العمل المتعددة في المختبر بدايودات مشعة للضوء مختلفة الألوان إذا كان ذلك متوافرًا. وينبغي أن تختلف جهود التشغيل قليلاً من لون إلى آخر.**

التحليل

1. و2.



عينة بيانات

الجهد (V)	تيّار الدايود (mA)	تيّار الدايود المشع للضوء (mA)
0	0	0
0.1	0	0
0.2	0	0
0.3	0	0
0.4	0	0
0.5	0	0
0.6	1	0

الجهد (V)	تيّار الدايود (mA)	تيّار الدايود المشع للضوء (mA)
0.7	14	0
0.8	140	0
0.9	—	0
1.0	—	0
1.1	—	0
1.2	—	0
1.3	—	0

الجهد (V)	تيّار الدايود (mA)	تيّار الدايود المشع للضوء (mA)
1.4	—	0
1.5	—	0
1.6	—	1
1.7	—	2
1.8	—	5
1.9	—	10
2.0	—	17

مختبر الفيزياء

تيار الدايود وجهده

تصنع أدوات أشباه الموصلات كالدايودات والترانزستورات باستخدام شبه موصل مصنوع جزئيًا من مادة تكون النوع p ومادة تكون النوع n. وتسمى المادة شبه الموصلة المعالجة بالذرات المانحة شبه الموصل من النوع n، في حين تسمى المادة شبه الموصلة المعالجة بعنصر يترك فجوات في بنية الشبكة البلورية شبه موصل من النوع p. يصنع الدايود بمعالجة المناطق المتجاورة شبه الموصلة بذرات المانح والمستقبل، مكوّنًا وصلة pn. ستستقصي في هذه التجربة خصائص جهد وتيار الدايود.

سؤال التجربة

كيف تقارن بين خصائص التيار–الجهد لكل من الدايود والدايود المشع للضوء والمقاومة؟

الأهداف

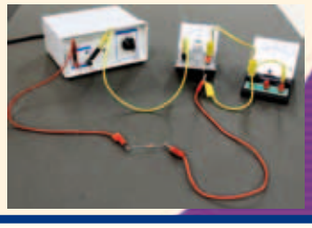
- تجمع وتنظم بيانات هبوط الجهد والتيار لكل من الدايود، والدايود المشع للضوء.
- تقيس التيار المارّ عبر الدايود، والدايود المشع للضوء كدالّة رياضية لهبوط الجهد.
- تقارن خصائص التيار–الجهد للمقاومة مع الدايودات.

احتياطات السلامة

- استخدم التحذير المرفق مع التوصيلات الكهربائية، وتجنب لمس المقاومة لأنها قد تصبح ساخنة.
- صل مصادر القدرة مع مقبس GFCI المحمي لتجنب خطر الصدمة الكهربائية.

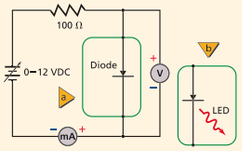
المواد والأدوات

مصدر قدرة مستمر 0–12 VDC	دايود مشع للضوء الأحمر
مقاوم Ω 100، وقدرته W 1/2، أو W 1	أميتر DC، 0–100 mA
دايود 1N4002	فولتمتر VDC (0–5)
	أسلاك توصيل معزولة



الخطوات

1. أعد جدول بيانات مماثل للجدول الموضح في الصفحة التالية .
2. صل القطب السالب لمصدر القدرة مع الطرف السالب للأميتر ، كما في الرسم.



3. صل طرف الدايود المغطى بشريط الفضة مع الطرف الموجب للأميتر.
4. صل أحد طرفي المقاوِم Ω 100 مع الطرف الحر للدايود.
5. صل سلكًا من الطرف الحر للمقاوِم Ω 100 مع القطب الموجب لمصدر القدرة.
6. صل سلك من الطرف الموجب لجهاز الفولتمتر مع طرف الدايود الموصول مع المقاومة كما موضح في الرسم، وصل الطرف السالب للفولتمتر مع طرف الصمام الثنائي المغطى بشريط الفضة الموصول مع الأميتر.

جدول البيانات		
هبوط الجهد (V) عبر الدايود	تيار الدايود (mA)	تيار الدايود المشع للضوء (mA)
0		
0.1		
0.2		
1.9		
2.0		

7. يتعين أن تكون دائرة الدايود مماثلة للجزء (a) من الرسم التخطيطي. تأكد من أن مؤشر مصدر القدرة عند الصفر، ثم صله بمقبس الكهرباء. ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة إلى الأعلى ببطء وذلك من أجل زيادة هبوط الجهد عبر الدايود من 0 وحتى 0.8 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد. **تحذير: إذا أصبح التيار أكبر مما يتحمله جهاز الأميتر الذي تستخدمه، فلا تعمل على زيادة الجهد إلى قيمة أكبر، وتوقف عن أخذ القراءات.** حرّك مفتاح مصدر القدرة إلى الصفر ثم افصله عن مقبس الكهرباء.
8. استبدل الدايود 1N4002 بالدايود المشع للضوء، وذلك يقابل الجزء (b) من الرسم التخطيطي.
9. صل طرف التوصيل القصير للدايود المشع للضوء مع الطرف الموجب للأميتر (الطرف السالب للفولتمتر) على أن يكون الطرف المغطى بشريط الفضة للصمام موصولاً. صل الطرف الطويل للدايود المشع للضوء مع المقاومة ومع الطرف الموجب لجهاز فولتمتر.
10. صل مصدر القدرة بمقبس الكهرباء، ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة إلى الأعلى ببطء، وذلك لزيادة هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء من 0 وحتى 2.0 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة. ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد. وشاهد الدايود المشع للضوء ودوّن ملاحظاتك حوله.

التحليل

1. **إعداد الرسوم البيانية واستخدامها** باستخدام رسم بياني واحد، ارسم وعيّن الرسوم البيانية للتيار مقابل الهبوط في الجهد لكل من الدايود والدايود المشع للضوء.
2. **صياغة النماذج** باستخدام قانون أوم. احسب وحدد على الرسم البياني نفسه علاقة الجهد–التيار للمقاومة 100 Ω من الجهد 0 وحتى 2 V، وسمِّ هذا الخط بالمقاومة 100 Ω. ما شكل هذا المخطط؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **قارن** بين المنحنيات البيانية التيار–الجهد للدايود، والدايود المشع للضوء والمقاومة؟
2. أي من هذه الادوات تخضع لقانون أوم؟
3. **الاستنتاج والتحليل** توصف الدايودات أن لها نقطة تحوّل في الجهد. ما نقطة التحول للدايود المصنوع من السيليكون؟ وللدايود المشع للضوء الذي استخدمته؟
4. **فسّر** لماذا يصبح للدايود خاصية انبعاث الضوء عند تيار محدد 20 mA مثلاً؟

التوسع في البحث

ما الذي يمكن فعله للحصول على أفضل قياسات لتيار الدايود؟

الفيزياء في الحياة

تسحب المصابيح الكهربائية الصغيرة المثالية تيارًا مقداره 75–150 mA عند جهد معين. لماذا تفضل الشركات الصانعة استخدام الدايودات المشعة للضوء في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو مشغلات MP3 التي تعمل على البطاريات.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية غيِّر السؤال إلى الصيغة الآتية: كيف يتغير التيار في الدايود بوساطة الجهد المطبق؟ عندما يسمح الوقت، يمكن أن يجمع الطلبة البيانات حول المقاوم 100 Ω. ويمكن السماح لهم بأن يحددوا كيفية وصل الدايود في الدائرة. إذا وضع الدايود على أن يكون منحازًا إلى الأمام، سيمر التيار عند الوصول إلى جهد التشغيل كما وصف. أما إذا وضع الدايود على أن يكون منحازًا عكسيًا، فلن يمر تيار عند أي جهد. **تحذير: إذا ازداد تيار الجهد عن حد المواصفات الخاصة بالدايود، فقد يتلف.** دع الطلبة يستكشفوا أسئلة أخرى متوقعة من خلال هذه التجربة.

الاستنتاج والتطبيق

1. قد تختلف الإجابات. يتعين أن يعرف الطلبة أن المقاومات أدوات خطيَّة ولديها علاقة خط مستقيم I–V، على أن يمثل ميل هذا الخط المقاومة. تظهر الدايودات ارتفاعًا أسّيًّا للتيار مع الجهد، مبتدءًا من نقطة التشغيل.
2. للمقاوِم منحنى بيانيّ خطيّ للعلاقة I–V، ويخضع لقانون أوم. للدايود منحنى أسّيّ للعلاقة I–V، ولا يخضع لقانون أوم.
3. جهد التشغيل لدايود السيليكون يساوي 0.7 V تقريبًا. وجهد التشغيل للدايود المشع للضوء المستخدم يساوي 1.8 V إلى 2.0 V تقريبًا.
4. الدايود المشع للضوء خافت جدًّا، إذ يتدفق خلاله تيار صغير جدًّا (القليل من الملي أمبير). ولكنه يكون ساطعًا تمامًا عند التيار 17 mA إلى 20 mA. وسيتم الحصول على الناتج المحدد عندما يصل التيار للمقدار الذي وصف.

التوسع في البحث

ستختلف الإجابات، وقد يعلّق الطلبة بأن مصدر القدرة الذي يضبط بسهولة يمكن أن يعطي نتائج أكثر دقة، وخصوصًا إذا واجهوا صعوبة في رفع الجهد بمقادير صغيرة. واستخدام الأميتر ذي مدى القياسات الأكبر سيتيح للطلبة الحصول على العديد من القراءات الإضافية للدايود.

الفيزياء في الحياة

ستختلف الإجابات، يتعين على الطلبة أن يعلقوا بأن العديد من الدايودات المشعة للضوء تستهلك تيارًا صغيرًا عند الجهد نفسه الذي يعمل عنده المصباح الكهربائي ليضيء. لذلك، فالقدرة $p = IV$ المستخدمة بوساطة الدايودات المشعة للضوء سوف تكون أقل، ولن تُستهلك البطارية سريعًا. والدايودات المشعة للضوء تبقى أكثر برودة مقارنة مع المصابيح الكهربائية، وهذا قد يُعدّ أمرًا مهمًا بالنسبة للشركات الصانعة.

الخلفيّة العلميّة

إن بعض الفروع الرئيسة في بحوث الذكاء الاصطناعي الحالية في مجال المنطق هي: (اتخاذ القرار استنادًا إلى الحقائق)، والبحث (اختبار مجموعة كبيرة من الحقائق لاتخاذ القرار)، والتعرّف على النمط وتمييزه (البحث عن مجموعة من الميّزات)، والتمثيل (تمثيل الحقائق بلغة المنطق)، والاستدلال (اتخاذ القرار استنادًا إلى معرفة غير كاملة من الحقائق)، والمعرفة الحسية السليمة والاستنتاج، والتعلم من خلال الخبرة والتجربة، والتخطيط (اتخاذ قرارات للوصول إلى الهدف المحدد).

استراتيجيات التدريس

- اربط بين الذكاء الاصطناعي والتقنيات الموجودة في واقع الحياة. ثم اطلب إلى الطلبة التفكير في بعض التطبيقات الممكنة في المجالات المالية، والصناعات الثقيلة، والبحث العلمي، والترفيه.
- اطلب إلى الطلبة إجراء عصف ذهني للتفكير في مجالات أخرى قد يكون فيها استخدام الذكاء الاصطناعي مفيدًا. فمثلاً هل من الممكن أن تساعد الروبوتات على تقديم الرعاية للإنسان؟

نشاط

المخطط الانسيابي وضح أن برنامج الحاسوب يعمل كالمخطط الانسيابي أو شجرة القرار. اطلب إلى الطلبة تصميم مخطط انسيابي لعملية اتخاذ القرار، من مثل؛ ما الملابس التي ينبغي أن ترتديها في يوم معين. ستكون قرارات الطلبة على الأغلب مستندة إلى أحوال الطقس، والنشاطات المخطط القيام بها في ذلك اليوم، وهكذا.

الإثراء العلمي

الذكاء الاصطناعي Artificisl Intelligence

استخدمت عبارة الذكاء الاصطناعي لأول مرة عام 1955. وعرّفت على أنها "الفهم العلمي لآليات التفكير الضمني والسلوك الذكي وتضمينها في الآلات". فقد تحتاج المهمة أحيانًا إلى ذكاء إصطناعي لكي تكون منطقية جدًّا، وأحيانًا أخرى تحتاج إلى ذكاء إصطناعي، للتفكير والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان. ويهدف الذكاء الاصطناعي إلى تطوير أنظمة يمكنها أداء المهام المنطقية والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان معًا.

نموذج للطوافة مارس وهي تقرر كيفية تخطي العقبات

تطبيقات يستخدم الذكاء الاصطناعي في العديد من المجالات. وسيكون له أهمية أكثر في المستقبل. فعندما يلعب الحاسب الآلي لعبة الشطرنج فإنه يبحث عن مئات الآلاف من الحركات المحتملة قبل أن يختار الحركة الأفضل. يستخدم الذكاء الاصطناعي حاليًا للتعرف على الصوت حتى يسمح باتمام عملية الاتصال باستخدام الهواتف النقالة دون استخدام الأيدي، ولإنجاز المعاملات عبر الهاتف التفاعلي، وهي ليست قادرة تمامًا حتى الآن على فهم اللغة الطبيعية تمامًا، ولكن هذا يشكل هدفًا مستقبلاً بحد ذاته. وتمثل الرؤية ثلاثية الأبعاد في الحاسب الآلي إحدى التطبيقات المستقبلية الأخرى لمحاكاة المدخلات الحسية والسلوكات البشرية، وتحتاج الحواسيب إلى استخلاص واقع ثلاثي الأبعاد عوضًا عن الصور ثنائية الأبعاد.

وقد أُحرز تقدم في هذا المجال، ولكن حتى الآن لا يزال دماغ الإنسان أفضل بكثير من الحواسيب في هذا المجال.

ومع تحسين الرؤية قد يكون بمقدور الذكاء الاصطناعي التحكم بحركة السيارات على الأرض، أو يمكّن الروبوتات الآلية استكشاف كوكب آخر دون الحاجة إلى ملاحين.

يُستخدم الذكاء الاصطناعي أيضًا لإنشاء أنظمة خبيرة في الحواسيب تبرمج بالمعرفة حول مواضيع محددة. حيث يمكن للإنسان أن يخبر الحاسوب بتفاصيل حالة معينة، ومن ثم يقوم الحاسوب بحساب مسار العمل الأكثر منطقية. ويمكن استخدام الأنظمة الخبيرة في المجال الطبي لتشخيص الاضطرابات بدقة عالية.

يقوم الذكاء الاصطناعي كذلك بمعرفة الحقائق عن الحالة، ومن ثم يستنتج أي الإجراءات أكثر ملاءمة. ومع ذلك فإن الذكاء الاصطناعي يعمل فقط مع وقائع زوّد بها الحاسوب، ويتعين على مستخدمي الحاسوب أن يكونوا على علم دائم بهذه القيود للأنظمة الخبيرة.

يعرض هذا الروبوت الآلي تعابير وجه الإنسان.

مهن إن دراسة الرياضيات، والمنطق الرياضي. ولغات برمجة الحاسوب مهمة لتطوير الأنظمة التي يمكنها اتخاذ قرارات منطقية. ويؤكد علم النفس على أن هذه القرارات يمكن أن تأخذ طابعًا إنسانيًا.

التوسع

1. **مناقشة القضية** هل هناك حدود أخلاقية في تطوير الذكاء الاصطناعي؟
2. **إدراك السبب والنتيجة** ما المشكلات التي قد تؤدي بالأنظمة الخبيرة إلى اتخاذ قرار غير دقيق؟
3. **التفكير الناقد** في أي الحالات يجب أن يكون الذكاء الاصطناعي عقلانيًا ورشيدًا بصورة مطلقة، وفي أي الحالات ينبغي أن يشمل الرغبات الإنسانية؟

التوسع في البحث

1. قد يتحدث الطلبة عن خطورة إعطاء قدر كبير من السيطرة والتحكم لأنظمة الذكاء الاصطناعي. وثمة قضية أخلاقية أخرى قد تُثار وهي استخدام الذكاء الاصطناعي في الحروب.
2. قد ينتج القرار الخاطئ من مدخلات الإنسان غير الصحيحة أو غير الكافية، أو قد تنتج من برمجة غير صحيحة. والعوامل المتغيرة التي يتعامل معها برنامج الذكاء الاصطناعي يمكن أن تكون هي المسؤولة أيضًا.
3. يتعين أن يكون الذكاء الاصطناعي عقلانيًا ورشيدًا بصورة مطلقة عند حل المشكلات أو إجراء الحسابات الهندسية. وينبغي أن يأخذ الذكاء الاصطناعي الرغبات الإنسانية في الحسبان عند اتخاذ القرارات المتعلقة بالأسئلة التي يكون لها العديد من الإجابات المحتملة.

الفصل
دليل الدراسة

3–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة Conduction in Solids

المفردات

- أشباه الموصلات
- نظرية الحزم
- أشباه الموصلات النقية
- الشوائب
- أشباه الموصلات غير النقية (المعالجة)

المفاهيم الرئيسة

- إن مستويات الطاقة المسموح بها في المواد الصلبة للإلكترونات الخارجية في الذرة تتوزع في حزم واسعة بوساطة المجالات الكهربائية لإلكترونات الذرات المجاورة.
- تنفصل حزم التكافؤ والتوصيل بوساطة فجوات طاقة ممنوعة، وذلك يعني أن هناك مناطق في مستويات الطاقة لا تتواجد الإلكترونات فيها.
- في الموصلات، يمكن للإلكترونات أن تتحرك خلال المواد الصلبة لأن حزم التوصيل مملوءة جزئيًا.
- تُعالج أشباه الموصلات من النوع n بوساطة ذرات مانحة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل نتيجة استجابة الإلكترونات الممنوحة لفروق الجهد المطبّقه.
- تعالج أشباه الموصلات من النوع p بوساطة ذرات مستقبلة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل بوساطة الفجوات على أن تكون متاحة للإلكترونات في حزمة التوصيل.

3–2 الأدوات الإلكترونية Electronic Devices

المفردات

- الدايود
- طبقة النضوب
- الترانزستور
- الرقاقة الميكروية

المفاهيم الرئيسة

- يوصل الدايود الشحنات الكهربائية في اتجاه واحد فقط. ويمكن استخدامه في دوائر التقويم لتحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC.
- تتحد الإلكترونات والفجوات القريبة من إحدى جوانب وصلة الدايود لتنتج منطقة خالية من ناقلات الشحنات وتعرف هذه المنطقة بطبقة النضوب.
- إن تطبيق فرق جهد ذا قطبية محددة عبر الدايود يؤدي إلى زيادة عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فلا يلاحظ أي تيارات خلالها. ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز عكسيًّا.
- إن عكس القطبية للجهد المطبّق عبر الدايود يقلل من عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فيلاحظ التيار خلالها، ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز أماميًّا.
- يعمل الترانزستور كمضخم ومقوي للإشارات وهو عبارة عن شريحة مكوّنة من ثلاث طبقات من المادة شبه الموصلة تكوّن على شكل طبقات npn أو pnp على أن تكون طبقة القاعدة المركزية رقيقة جدًّا، مقارنةً مع الطبقات الأخرى أي الباعث والجامع.

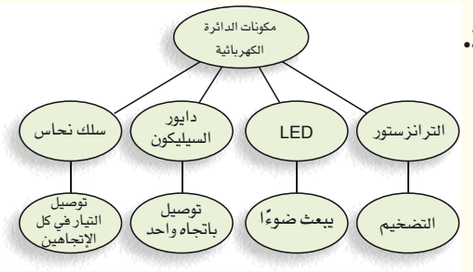
المفاهيم الرئيسة

يمكن أن يستخدم الطلبة العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

خريطة المفاهيم

20.



إتقان المفاهيم

21. تمتلك مستويات الطاقة للذرة المنفردة قيمًا منفصلةً ووحيدةً. أما مستويات الطاقة في البلورة فتمتلك مدى صغيرًا حول القيم الموجودة في الذرة المنفردة.

22. تعطي درجة الحرارة العالية الإلكترونات طاقةً إضافيةً مما يسمح بوصول المزيد من الإلكترونات إلى حزمة التوصيل.

23. ثقوب ذات شحنة موجبة.

24. نعم، هناك طريقة واحدة لجعل الدايود منحازًا إلى الأمام، أمّا الطريقة الأخرى تجعله منحازًا عكسيًّا.

25. يوضح رأس السهم اتجاه التيار الاصطلاحي.

26. يحتوي الدايود المنحاز إلى الأمام على طبقة شبه موصلة من النوع p، وطبقة شبه موصلة أخرى من النوع n، وهاتان الطبقتان موصولتان من نهايتيهما بأسلاك بوساطة أغطية فلزّيّة. وتكون الطبقة من النوع p موصولة مع القطب الموجب للبطارية. تنشأ ثقوب جديدة في الطبقة من النوع p، وتتحرك هذه الثقوب نحو الحد الفاصل بين المادتين شبه الموصلتين. تضاف إلكترونات جديدة إلى الطبقة من النوع n، وتتحرك هذه الإلكترونات نحو الحد الفاصل بين المادتين شبه الموصلتين. وعندما تتحد الثقوب والإلكترونات معًا، تكتمل الدائرة ويتدفق تيار على أن يكون اتجاه التيار من الطبقة شبه الموصلة من النوع p إلى الطبقة شبه الموصلة من النوع n.

تطبيق المفاهيم

27. a. c

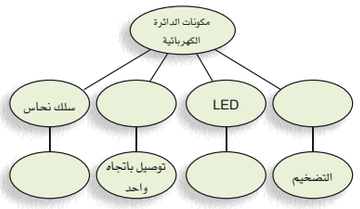
b. a

c. b

28. أكثر شبهًا بالسيليكون Si.

خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الترانزستور، دايود السيليكون، يبعث ضوءًا، يوصل الكهرباء في كلا الاتجاهين.



إتقان المفاهيم

21. كيف تختلف مستويات الطاقة في بلورة عنصر معين، عن مستويات الطاقة في ذرة مفردة من ذلك العنصر؟

22. لماذا يؤدي تسخين أشباه الموصلات إلى زيادة موصليتها؟

23. ما الناقل الرئيس للتيار في المادة شبه الموصلة من النوع P؟

24. جهاز الأوميتر يطبق فرق الجهد عبر الأداة لفحصها، ويقيس التيار، ويبيّن مقاومة الأداة. إذا قمت بتوصيل الأوميتر عبر الدايود، فهل يعتمد التيار الذي تقيسه على أي طرف للدايود يوصل مع القطب الموجب لجهاز الأوميتر؟ وضح إجابتك.

25. ما معنى رأس السهم على الباعث في رمز دائرة الترانزستور؟

26. صف تركيب الدايود المنحاز أماميًّا. ووضح كيفية عمله.

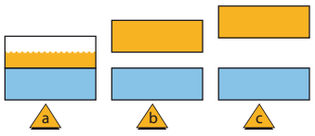
تطبيق المفاهيم

27. لمخطط حزم الطاقة الموضح في **الشكل 15–3** أي منها:

a. تمثل المادة التي لها أكبر مقاومة.

b. تمتلك حزم توصيل نصف ممتلئة.

c. تمثل أشباه موصلات.



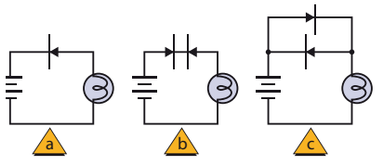
الشكل 15–3

28. تتناقص مقاومة الجرافيت عندما ترتفع درجة الحرارة. فهل توصيل الجرافيت للكهرباء أكثر من النحاس أم أكثر من السيليكون؟

29. أي من المواد الآتية تعمل كموازل جيدة: مادة تمتلك فجوة ممنوعة عرضها 8 eV، أم مادة تمتلك فجوة ممنوعة عرضها 3 eV أم مادة لا تمتلك فجوة ممنوعة؟

30. بالنسبة لذرات المواد الثلاث الواردة في السؤال السابق، أي من هذه المواد الأكثر صعوبة عند انتزاع إلكترون منها؟

31. حدد فيما إذا كان المصباح الكهربائي في كل من الدوائر *a,b,c* الموضحة في **الشكل 16–3** مضيئًا.

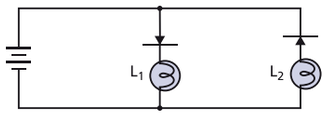


الشكل 16–3

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

دليل الدراسة

32. في الدائرة الموضحة في **الشكل 17–3**، حدد فيما إذا كان أحد المصباحين L_1 و L_2 مضيئًا، أم كلاهما مضيئان، أم كلاهما غير مضيئين.



الشكل 17–3

33. استخدم الجدول الدوري لتحديد أي العناصر الآتية يمكن أن يضاف إلى الجرمانيوم لتكوين شبه موصل من النوع P: B، C، N، P، Si، Al، Ge. Ga، As، In، Sn، Sb.

34. إذا قمت بمعالجة الجرمانيوم النقي بعنصر الجاليوم وحده، فهل تنتج مقاومًا، أم دايودًا، أم ترانزستورًا؟

إتقان حل المسائل

3–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة

35. كم عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في سنتيمتر مكعب من الصوديوم؟ علمًا أن كثافته تساوي $0.971\ g/cm^3$، وكتلته الذرية تساوي $22.99\ g/mol$، عندما يوجد إلكترون حر واحد في كل ذرة.

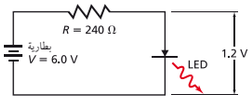
36. تحرر طاقة حرارية $1.55\times10^{9} e^-/cm^3$ في السيليكون النقي عند درجة حرارة $0°C$، إذا علمت أن كثافة السيليكون تساوي $2.33\ g/cm^3$، والكتلة الذرية للسيليكون تساوي $28.09\ g/mol$. فما نسبة الذرات التي تحتوي على إلكترونات حرة؟

3–2 الأدوات الإلكترونية

37. **LED** إذا كان هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء المتوهج يساوي 1.2 V تقريبًا. وفي **الشكل 18–3**، فإن هبوط الجهد عبر المقاومة هو الفرق بين جهد البطارية وهبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء. ما مقدار التيار الكهربائي المارّ خلال كل مما يأتي ؟

a. الدايود المشع للضوء LED

b. المقاومة



الشكل 18–3

38. أراد عمر زيادة التيار المارّ خلال الدايود المشع للضوء في المسألة السابقة ليصبح 3×10^{1} mA على أن تكون إضاءته أكثر سطوعًا. افرض أن هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء بقي 1.2 V، فما مقدار المقاومة التي ينبغي له استخدامها؟

39. **الدايود** وصل دايود من السيليكون ذو الخصائص I/V الموضحة في **الشكل 9–3** مع بطارية من خلال مقاومة مقداره 270 Ω، إذا كان الدايود منحازًا إلى الأمام بوساطة البطارية، وكان تيار الدايود يساوي 15 mA. فما مقدار جهد البطارية؟

40. افرض أن المفتاح الموضح في **الشكل 19–3** مفتوح، حدد كلاً من:

a. تيار القاعدة.

b. تيّار الجامع.

c. قراءة جهاز الفولتمتر.

إتقان حلّ المسائل

3–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة

35. $2.54\times10^{22}\ free\ e^-/cm^3$

36. $3.22\times10^{13}\ atom/free\ e^-$

3–2 الأدوات الإلكترونية

37. a. 2.0×10^{1} mA

b. 2.0×10^{1} mA

38. 160 Ω

39. 4.8 V

40. a. تكون دائرة القاعدة مفتوحة لذا يكون تيار القاعدة صفرًا.

b. عندما يكون تيار القاعدة صفرًا، فإن تيار الجامع صفرًا أيضًا.

29. مادة تمتلك فجوةً ممنوعةً عرضها 8 eV

30. مادة تمتلك فجوةً ممنوعةً عرضها 8 eV

31. الدائرة a: لا، الدائرة b: لا، الدائرة c: نعم.

32. L_1 مضاء، L_2 غير مضاء.

33. B, Al, Ga, In

34. لقد أنتجت مقاومة لأنه لا توجد وصلة.

c. 15 V؛ عندما لا يكون هناك تدفق للتيار، فإن الهبوط عبر مقاومة الجامع يكون صفرًا وستهبط الـ 15 V جميعها عبر الترانزستور.

41. a. 2.3×10^{-5} A

b. 5.1×10^{-3} A

c. 7.3 V

مراجعة عامة

42. 1100 nm قريبًا من الطول الموجب للأشعة تحت الحمراء.

43. 2.25 eV

التفكير الناقد

44. a. a

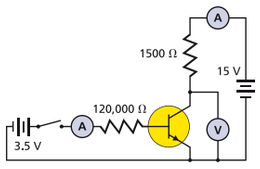
b. b

c. c

d. الدائرة في الفرع **a** لها ميزة إيجابية، ألا وهي بساطتها، أما ميزتها السلبية، فهي هبوط في الجهد مقداره 0.70 V، والتي يمكن أن تكون مهمة في دوائر الجهد المنخفض. الدائرة في الفرع b، لها ميزة إيجابية، ألا وهي عدم ضياع 0.70 V، ولها ميزة سلبية، ألا وهي أنه ينبغي تبديل المنصهرات. الدائرة في الفرع **c**، لها ميزة إيجابية، وهي أنها دائمة العمل بغض النظر عن قطبيتها، وميزتها السلبية تتمثل بضياع 1.4 V

45. 180 Ω ، 160 Ω.

تقويم الفصل - 3



الشكل 19–3

41. افترض أن المفتاح الموضح في **الشكل 19–3** مغلق، وهبوط الجهد عبر وصلة القاعدة–الباعث يساوي 0.70 V، وكسب التيار من القاعدة للجامع يساوي 220، حدد كل من:

a. تيار القاعدة.

b. تيار الجامع.

c. قراءة الفولتمتر.

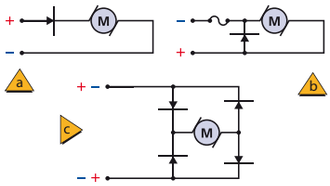
مراجعة عامة

42. إذا كانت الفجوة الممنوعة في السيليكون تساوي 1.1 eV والموجات الكهرومغناطيسية التي تصطدم بالسيليكون تتسبب في تحرك الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل. ما أكبر طول موجي للإشعاع الذي يمكن أن يثير الإلكترون بهذه الطريقة؟
تذكّر أن $E = 1240\ \text{eV.nm}/\lambda$

43. LED ينتج الدايود المشع للضوء ضوءًا أخضر بطول موجي مقداره 550 nm عندما تتحرك الإلكترونات من حزمة التوصيل إلى حزمة التكافؤ. احسب عرض الفجوة الممنوعة بوحدة eV في هذا الدايود.

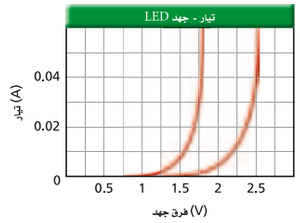
التفكير الناقد

44. **تطبيق المفاهيم** هناك بعض المحركات في **الشكل 20–3**، تدور في اتجاه عند تطبيق قطبية معينة وتدور بالاتجاه المعاكس عند عكس القطبية.



الشكل 20–3

45. **تطبيق المفاهيم** يوضح **الشكل 21–3** خصائص I/V لاثنين من الدايودات المشعة للضوء والتي تتوهج بألوان مختلفة. يتعين أن يوصل كل دايود ببطارية جهدها 9 V من خلال مقاومة. وإذا كان كل دايود يشغّل بوساطة تيار مقداره 0.040 A، فما مقدار المقاومات التي ينبغي اختيارها لكل دايود؟



الشكل 21–3

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

دليل الدراسة

الكتابة في الفيزياء

46. ستختلف الإجابات.

47. ستختلف الإجابات.

مراجعة تراكمية

48. 0.03 m

الكتابة في الفيزياء

46. ابحث حول مبدأ الاستبعاد لباولي وحياة فولفجانج باولي، وسلّط الضوء على اسهاماته البارزة في مجال العلوم. وصف تطبيق مبدأ الاستبعاد على نظرية الحزم في التوصيل، وتحديدًا في أشباه الموصلات.

47. اكتب مناقشة تتكون من صفحة واحدة حول مستوى طاقة فيرمي عند تطبيقها على مخططات حزم الطاقة لأشباه الموصلات على أن تتضمن المناقشة رسمًا واحدًا على الأقل.

مراجعة تراكمية

48. أنبوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C.

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

الفصل 3

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي العبارات الآتية الخاصة بالدايود تعدّ غير صحيحة؟ يمكن للدايود.....

Ⓐ تضخيم الجهد. Ⓒ أن يبعث ضوءً.

Ⓑ الكشف عن الضوء Ⓓ تقويم التيار المتردد.

2. تحتوي كل ذرة كادميوم على إلكترونين حرين، ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في $1\ cm^3$ لعنصر الكادميوم؟ علمًا بأن كثافة الكادميوم تساوي $8650\ kg/m^3$.

Ⓐ 1.24×10^{21} Ⓒ 9.26×10^{24}

Ⓑ 9.26×10^{22} Ⓓ 1.17×10^{27}

3. إذا كان تيار القاعدة في دائرة الترانزستور يساوي 45 µA وتيار الجامع يساوي 8.5 mA. ما مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع؟

Ⓐ 110 Ⓒ 205

Ⓑ 190 Ⓓ 240

4. في المسألة السابقة إذا زاد تيار القاعدة بمقدار 5 µA، فما مقدار الزيادة في تيار الجامع؟

Ⓐ 5 µA Ⓒ 10 mA

Ⓑ 1 mA Ⓓ 190 µA

5. تبين دائرة ترانزستور أن تيار الجامع 4.75 mA، وكسب التيار من القاعدة إلى الجامع 250، فما مقدار تيار القاعدة؟

Ⓐ 1.19 µA Ⓒ 4.75 mA

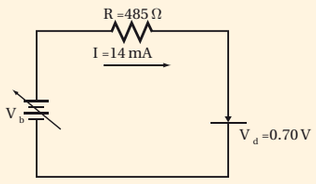
Ⓑ 18.9 µA Ⓓ 1190 mA

6. أي الصفوف في الجدول الآتي تمثّل الوصف الأفضل لأشباه موصلات السيليكون لكل من النوع n والنوع p؟

	النوع n	النوع P
Ⓐ	معالج بالجاليوم	إلكترونات مضافة
Ⓑ	إلكترونات مضافة	معالج بالزرنيخ
Ⓒ	معالج بالزرنيخ	فجوات مضافة
Ⓓ	فجوات مضافة	معالج بالجاليوم

الأسئلة الممتدة

7. وصل دايود السيليكون في اتجاه منحاز إلى الأمام مع مصدر قدرة من خلال مقاوِم مقداره 485 Ω، كما موضح أدناه، إذا كان هبوط جهد الدايود يساوي 0.70 V، فما مقدار جهد مصدر القدرة عندما يكون تيار الدايود 14 mA؟



إرشاد

ركّز.

إذا كان الطلبة الذين يجلسون بجانبك يتحدثون أثناء الاختبار، فيتعين عليك أن تنتقل إلى مكان آخر. وانتبه فقط إلى تعليمات المعلم أثناء الاختبار. لأن الحديث أثناء الاختبار إلا إلهاء ومضيعة للوقت، فضلاً عن أن المعلم قد يعتقد أنك تغش، فلا تتحدث مع الآخرين وركّز في الاختبار.

أسئلة اختيار من متعدد

1. A **2.** B **3.** B

4. B **5.** B **6.** C

الأسئلة الممتدة

7.

$$V_b = IR + V_d$$

$$= (0.014\ mA)(485\ \Omega) + 0.70\ V$$

$$= 7.5\ V$$

مصادر تعليمية

- دليل الرياضيات
- حلول بعض المسائل التدريبية
- الجداول
- المصطلحات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية		
$\propto$	يتناسب مع		
$=$	يساوي		
$\approx$	تقريبًا يساوي	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\cong$	تقريبًا يساوي		
$\leq$	أقل من أو يساوي	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$\geq$	أكبر من أو يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$<<$	أقل جدًّا من	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

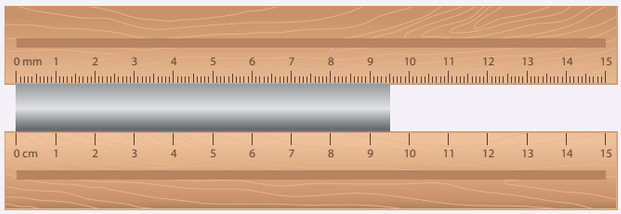
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعتبر الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الأصغر في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

وعند استعمال أداة القياس العليا. فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm، فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعتبر أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.

الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.

الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.

الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m **d.** 12.007 kg

b. 2.50 km **e.** 5.8×10^{6} kg

c. 0.0034 m **f.** 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تُعتبر الأعداد فيهما دقيقة:

الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

1. **a.** 4
b. 3
c. 2
d. 5
e. 2
f. 3

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثَم يبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.

2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.

3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري، فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ومن ثم يزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.

4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى، فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. (2)1405 m **c.** (1) 0.0034 m

b. (2) 2.50 km **d.** (3)12.007 kg

2. **a.** 1400 m
b. 2.5 km
c. 0.003 m
d. 12.0 kg

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كليهما يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\,\text{m})(3.6\,\text{m})=72.36\,\text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. $2.33\,\text{km} + 3.4\,\text{km} + 5.012\,\text{km}$

b. $45\,\text{g} - 8.3\,\text{g}$

c. $3.40\,\text{cm} \times 7.125\,\text{cm}$

d. $54\,\text{m} \div 6.5\,\text{s}$

3. a. 10.7 km

b. 24.2 cm

c. 37 g

d. 8.3 m/s

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d = 19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}(-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل فعليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

لا تجر التقريب إلى $580 N^2$ و $1300 N^2$

$$\sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

لا تجر التقريب إلى $1800 N^2$

$$= \sqrt{1872\ N^2}$$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

$$43\ N$$

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وغالبًا تُختصر المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير P في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.

$$\left(\frac{n}{w}\right)\left(\frac{p}{p}\right) = \left(\frac{pn}{pw}\right)$$

بالتعويض عن $\left(\frac{p}{p}\right) = 1$

$$= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$$

$$= \frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ *في الكسر* $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

$$\left(\frac{s}{wa}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ *على الكسر* $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

$$= \frac{sb}{at}$$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما واستعمل بعد ذلك المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ *و* $\frac{2}{b}$.

اضرب كلّ كسر في كسر يساوي 1.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$$

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام.

$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك.

$$= \frac{b+2a}{ab}$$

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3} + \frac{1}{x}$ **b.** $\frac{3}{b} - \frac{a}{2b}$

c. $(\frac{1}{y})(\frac{3}{x})$ **d.** $\frac{1}{2} \div \frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة للعددين 2، 3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 3:2 أو $\frac{2}{3}$

المعدّلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 *ساعة كمعدل وحدة.*

$98km$ في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98km}{2.0h}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

بسّط الكسر العددي

$$\frac{98km}{2.0h} = (\frac{98}{2.0})(\frac{km}{h})$$
$$= (49)(\frac{km}{h})$$
$$= 49 \text{ km per h أو } \text{km/h}$$

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d} = \frac{c}{b}$، بشرط أن b ، d لا تساويان صفر. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل *التناسب* $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$ *بالنسبة للمتغير* a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d} = \frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة من الضرب التبادلي $ad = bc$

حل المعادلة بالنسبة للمتغير a $a = \frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3} = \frac{4}{x}$ **b.** $\frac{n}{75} = \frac{13}{15}$

c. $\frac{s}{16} = \frac{36}{12}$ **d.** $\frac{7.5}{w} = \frac{2.5}{5.0}$

4. a. $\frac{3+xy}{3x}$ **b.** $\frac{a-6}{2b}$ **c.** $\frac{3}{xy}$ **d.** $\frac{4a}{5}$

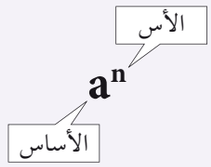
5. a. 6 **b.** 65 **c.** 48 **d.** 15

5. **a.** 10.7 km
b. 24.2 cm
c. 37 g
d. 8.3 m/s

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.
ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير.
فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10{,}000$$
$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$
$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\,(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\,(3)} = 3$

$\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\,(8.0)} = 8.0$ تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين.

$\sqrt{38.44} = 6.200$ ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية.

$\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$ قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين.

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **b.** $\sqrt[3]{729}$

c. $\sqrt{676}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

6.a 4.7

b. 9.00

c. 26.0

d. 3.6000

7.a $4ab^2$

b. $3t^3$

8.a $n^{\frac{3}{2}}$

b. $\frac{1}{a^{\frac{1}{2}}} = a^{-\frac{1}{2}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$a^m / a^n = a^{m-n}$

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2 t / x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $x^2\sqrt{x}$ **d.** بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

9. a. $x^{-1}t$

b. $t^{\frac{3}{2}}$

c. d^4n^2

d. $x^{\frac{5}{2}}$

10. $\sqrt{\frac{2vm}{9}} = (2vm)^{\frac{1}{2}} 9^{\frac{-1}{2}}$

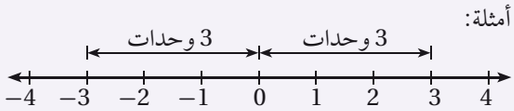
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة |n|، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

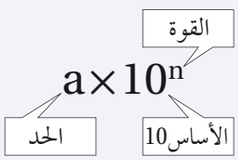
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a\times10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+11} = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 *بدلالته العلمية.*

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

11. a. 4.56×10^{8}

b. 2.0×10^{-5}

12. a. 0.000000303

b. 97,000,000,000

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5) + (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ **b.** $(8.0\times10^4) + (2.4\times10^3)$

13. a. 2.1×10^4

b. 8.2×10^4

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3\ (3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $=5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a\,(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a\,(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$3\,(x+2) = 3x + (3)\,(2)$$
$$= 3x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2 = -5$$
$$t+2-2 = -5-2$$
$$t = -7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$ac = bc$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}a = 3$$
$$\left(\frac{1}{4}a\right)(4) = 3\,(4)$$
$$a = 12$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating a Variable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير- أيْ لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير- اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$P\,V = n\,R\,T$$

قسّم طرفي المعادلة على V ← $\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$

جمّع $(\frac{V}{V})$ ← $P\,(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$ ← $P = \frac{nRT}{V}$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3\,x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm\sqrt{n}$.

14. a. 5

b. $\frac{3}{2}$

c. $3t-7$

d. $ac-b$

e. ¾

f. $\frac{d-c}{a+d}$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًّا. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

$$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$$ مثل

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

15. a. ± 3

b. ± 2.65

c. -4 أو 6

d. -0.3 أو 0.9

16. 25s

17. −49 m/s

18. 22 mph

19. 36.5 km/h

مسائل تدريبية

. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^{2}\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل

$v = a\,\Delta t$ و $a = -9.80\ \text{m/s}^2$.

. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)$

. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير $d_f = \text{m} + (\frac{\text{m}}{\text{s}})(\text{s}) + \frac{1}{2}(\frac{\text{m}}{\text{s}^2})(\text{s})^2$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية $= \text{m} + (\text{m})(\frac{\text{s}}{\text{s}}) + \frac{1}{2}\,(\text{m})(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2})$

بالتعويض عن $\text{s/s} = 1$، $\text{s}^2/\text{s}^2 = 1$ $= \text{m} + (\text{m})(1) + \frac{1}{2}\,(\text{m})(1)$

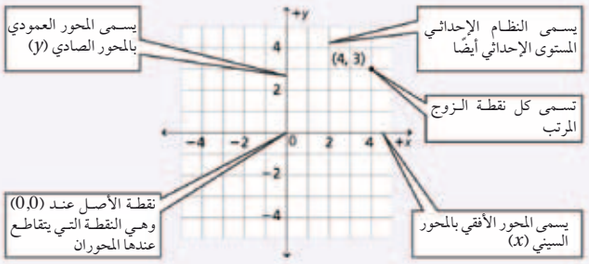
جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m $= \text{m} + \text{m} + \frac{1}{2}\,\text{m}$

لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

VII. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

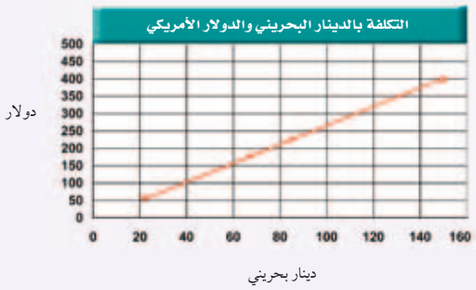


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

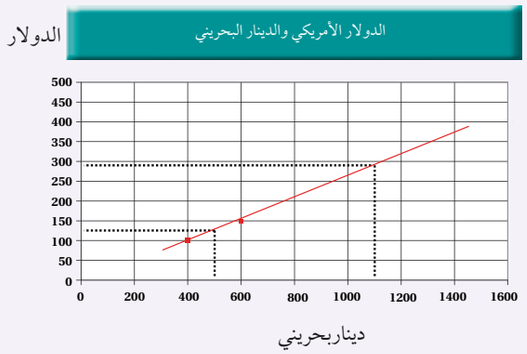
1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	دولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58



الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.



مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينارًا، 60 دينارًا)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.

ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50 دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

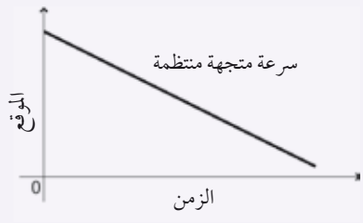
تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

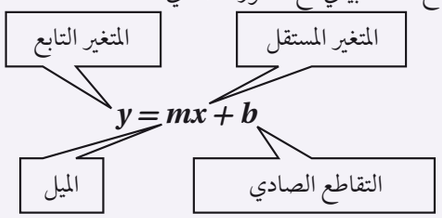
a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



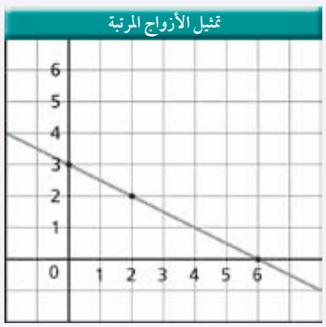
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x,y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -(\frac{1}{2})\, x + 3$$

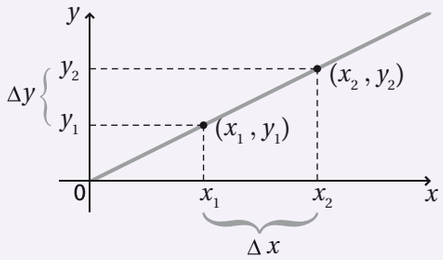
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين $(x_1 ، y_1)$ ، $(x_2 ، y_2)$، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

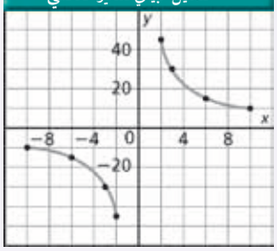
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

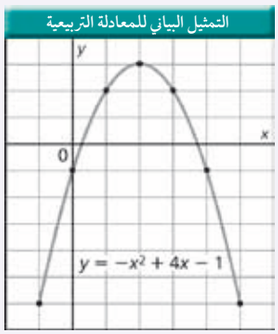
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل(a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18

VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

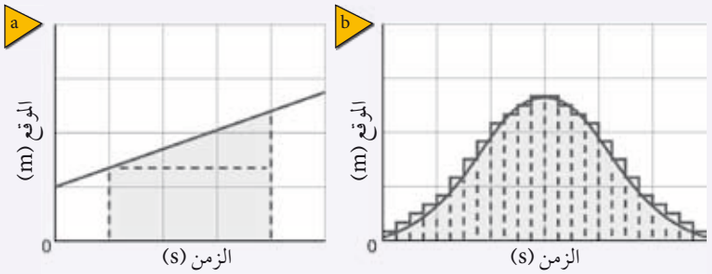
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

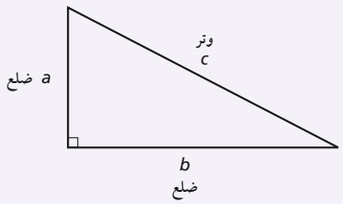
لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

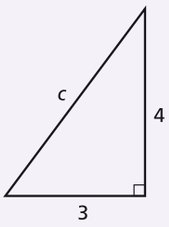
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a، b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

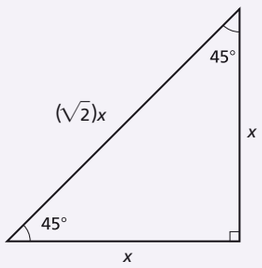
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4\ cm$ و $b = 3\ cm$

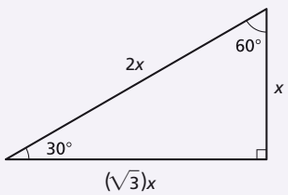


$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4\ cm)^2 + (3\ cm)^2} \\ &= \sqrt{16\ cm^2 + 9\ cm^2} \\ &= \sqrt{25\ cm^2} \\ &= 5\ cm \end{aligned}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ˚45، ˚45، ˚90 فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية ˚90، ˚60، ˚30 فإن طول الوتر يساوي ضعفي طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروبًا في طول الضلع الأصغر.



النسب المثلثية Trigonometric Ratios

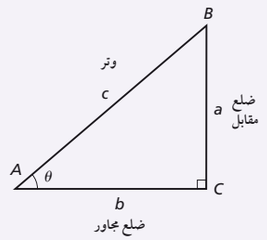
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، والجتا $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب ، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فترمز إلى ظل تمام، مقابل، المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت $a = 3\text{ cm}$ ، $b = 4\text{ cm}$ ، $c = 5\text{ cm}$ ، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b .

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

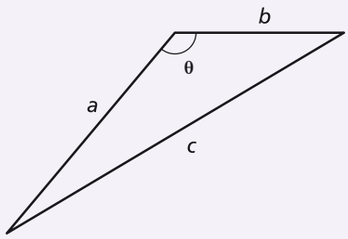
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس باستثناء الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$ ، $b = 12.0\text{ cm}$ ، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00\times10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (2.40\times10^2\text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1\text{ cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب، حيث a، b، c الأضلاع المقابلة للزوايا A، B، C بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0°$ ، $a = 4.0\text{ cm}$، $c = 4.6\text{ cm}$، احسب قياس الزاوية A.

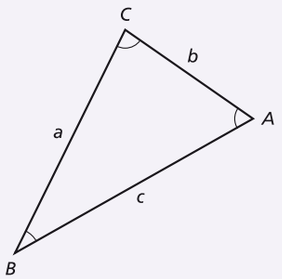
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49°$$



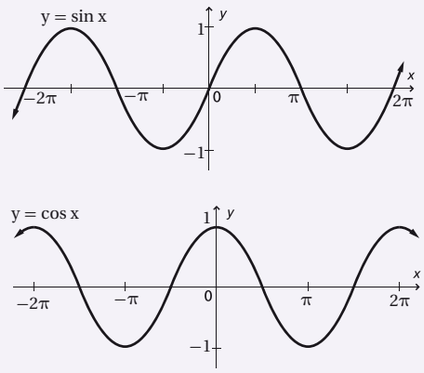
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس	
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$	أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$	أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$	أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1.



IX. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$ $\log_2 \frac{1}{16} = -4$

لأن $10^3 = 1000$ $\log_{10} 1000 = 3$

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتيمة أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$\log x = 4$

$x = 10^4$ — 10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة مستوى الصوت L، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر صوتًا بمستوى صوت مقداره 130 ديسيبل.

$130 = 10 \log_{10} R$ — قسّم طرفي المعادلة على العدد 10

$13 = \log_{10} R$ — استعمل قاعدة اللوغاريتم

$R = 10^{13}$

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

20. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

21. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

22. إذا كان $\log x = 3.125$، فأوجد قيمة x.

20. $3^4 = 81$

21. $\log_{10} 0.001 = -3$

22. $x \approx 1.334 \times 10^3$

أو 1334

حلول بعض
المسائل التدريبية

الفصل الأول

1.a $T_c = T_k - 273 = 115 - 273 = -158°C$

b. $T_c = T_k - 273 = 172 - 273 = -101°C$

c. $T_c = T_k - 273 = 125 - 273 = -148°C$

d. $T_c = T_k - 273 = 402 - 273 = 129°C$

3.
$$Q = mC\Delta T$$
$$= (2.3\ kg)(385\ J/kg.k)(80.0°C - 20.0°C)$$
$$= 5.3\times10^4\ J$$

15.
$$Q = mC\Delta T + mH_f$$
$$= (0.100\ kg)(2060\ J/kg.°C)(20.0°C) + (0.100\ kg)(3.34\times10^5\ J/kg)$$
$$= 3.75\times10^4\ J$$

17.
$$Q = mC_{ice}\Delta T + mH_f + mC_{ماء}\Delta T + mH_v + mC_{بخار}\Delta T$$
$$= (0.300\ kg)(2060\ J/kg.°C)(0.0°C - (-30.0\ °C)) + (0.300\ kg)(3.34\times10^5 J/kg) + (0.300\ kg)(4180\ J/kg.°C)(100.0°C - 0.0°C) + (0.300\ kg)(2.26\times10^6\ J/kg) + (0.300\ kg)(2020\ J/kg.°C)(130.0\ °C - 100.0\ °C)$$
$$= 9.40\times10^2\ kJ$$

19. $\Delta u = Q - W_{قالب}$; حيث $W_{قالب} = -W_{مثقب}$

وبافتراض عدم إضافة حرارة إلى المثقب

$$= 0 + W_{مثقب} = mC\Delta T$$
$$= (0.40\ kg)(897\ j/kg.°C)(5.0°C)$$
$$= 1.8\times10^3\ J$$

21.
$$\Delta u = mC\Delta T$$
$$= (0.15\ kg)(4180\ J/kg.°C)(2.0°C)$$
$$= 1.3\times10^3\ J$$

عدد مرات التحريك

$$\frac{1.3\times10^3\ J}{0.050\ J} = 2.6\times10^4$$

الفصل الثاني

1.
$$m_{رصاص} = \rho V$$
$$= \rho lwh$$
$$P = \frac{F}{A} = \frac{F_{رصاص}}{A} = \frac{m_{رصاص}g}{lw} = \frac{\rho lwhg}{lw} = \rho hg$$
$$= (11.8\ g/cm^3)\left(\frac{1\times10^6 cm^3}{1\ m^3}\right)\left(\frac{1\ kg}{1000\ g}\right)(0.200\ m)(9.80\ m/s^2)$$
$$= 23.1\ kPa$$

5. لذا $PV = nRT$;
$$n = \frac{PV}{RT}$$
$$m = nM$$
$$m = \frac{PV}{RT}M$$
$$= \frac{(15.5\times10^6\ Pa)(0.020\ m^3)}{(8.31\ Pa.m^3/mol.k)(293\ k)}(4.00\ g/mol)$$
$$= 5.1\times10^2\ g$$

18.
$$F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$$
$$= \frac{(1600\ N)(72\ cm^2)}{1440\ cm^2}$$
$$= 8.0\times10^1\ N$$

21. لإبقاء الكاميرا في مكانها فيجب أن تكون قوة الشد في الحبل مساوية للوزن الظاهري للكاميرا

$$T = F_{ظاهري}$$
$$= F_g - F_{طفو}$$
$$= F_g - \rho_{ماء}Vg$$
$$= 1250\ N - (1.00\times10^3\ kg/m^3)(16.5\times10^{-3}m^3)(9.80\ m/s^2)$$
$$= 1.09\times10^3\ N$$

31. عند البداية وضعت 400 ml ماء عند درجة 4.4 °C في الوعاء. احسب التغير في الحجم عند 30.0 °C

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

32. انكماش الالومنيوم أكثر من انكماش الفولاذ.

افترض أن L هي قطر القضيب

$$\Delta L_{\text{الومنيوم}} = \alpha L \Delta T$$
$$= (25\times10^{-6}\,°C^{-1})(0.85\text{ cm})(0.0°C-30.0°C)$$
$$= -6.4\times10^{-4}\text{ cm}$$

انكماش قطر الفولاذ يحسب من العلاقة

$$\Delta L_{\text{فولاذ}} = \alpha L \Delta T$$
$$= (12\times10^{-6}\,°C^{-1})(0.85\text{ cm})(0.0°C-30.0°C)$$
$$= -3.1\times10^{-4}\text{ cm}$$

الفراغ بين الصفحية والقضيب عندما يبرد سيكون:

$$\frac{1}{2}(6.4\times10^{-4}\text{ cm}-3.1\times10^{-4}\text{ cm}) = 1.6\times10^{-4}\text{ cm}$$

الفصل الثالث

1.

$$\text{free } e^-/\text{cm}^3$$
$$= (2\ e^-/\text{atom})(6.02\times10^{23}\text{ atoms/mol})\left(\frac{1\text{ mol}}{65.37\text{ g}}\right)(7.13\text{ g/cm}^3)$$
$$= 1.31\times10^{23}$$

5. $$\text{النسبة} = \frac{\text{free } e^-\ \text{cm}^3\text{ في si غير النقي}}{\text{free } e^-/\text{cm}^3\text{ في si}}$$

$$\text{free } e^-/\text{cm}^3\text{ في si غير النقي} = (\text{النسبة})(\text{free } e^-/\text{cm}^3\text{ في si})$$
$$\left(\frac{\text{As atom}}{\text{Si atom}}\right)\left(\frac{4.99\times10^{22}\text{ Si atoms}}{\text{cm}^3}\right)$$
$$= (\text{النسبة})(\text{free } e^-/\text{cm}^3\text{ في si})$$
$$\frac{\text{As atoms}}{\text{Si atoms}} = \frac{(1\times10^4)(1.45\times10^{10}\text{ free } e^-/\text{cm}^3)}{4.99\times10^{22}\text{ Si atoms/cm}^3}$$
$$= 2.91\times10^{-9}$$

6. $$\text{النسبة} = \frac{\left(\frac{1\text{ free } e^-}{1\text{As atom}}\right)\left(\frac{1\text{ As atom}}{1\times10^6\text{ إلكترون}}\right)\left(\frac{4.34\times10^{22}\text{إلكترون}}{\text{cm}^3}\right)}{1.13\times10^{15}\text{ thermal carriers}}$$
$$= 38.4$$

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1\ m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5\ N/m^2$	$1\ mol = 6.022 \times 10^{23}$

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
10^{-15}	f	femto
10^{-12}	p	baico
10^{-9}	n	nano
10^{-6}	μ	micro
10^{-3}	m	mile
10^{-2}	c	cm
10^{-1}	d	disa
10^{1}	da	dica
10^{2}	h	hecto
10^{3}	k	kilo
10^{6}	M	mega
10^{9}	G	giga
10^{12}	T	terra
10^{15}	P	beta

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	حرارة الانصهار (J/kg)	حرارة التبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء الأزرق النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
m/s	الوسط
331	هواء (0°)
343	هواء (20°)
972	هيليوم (0°)
1286	هيدروجين (0°)
1493	ماء (25°)
1533	ماء البحر (0°)
1600	مطاط
3560	نحاس (25°)
5130	حديد (25°)
5640	زجاج التنور
12000	ألماس

المصطلحات

أ

أشباه الموصلات Semiconductors
مواد موصلة مثل السليكون والجرمانيوم، وعندما تصنع منها أدوات الحالة الصلبة، فإنها تعمل على تضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة

أشباه الموصلات غير النقية extrinsic semiconductors
أشباه الموصلات التي يكون توصيلها كبير بسبب احتوائها على شوائب

أشباه الموصلات النقية intrinsic semiconductors
أشباه الموصلات النقية التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًا

الإشعاع الحراري radiation
الانتقال الحراري للطاقة بوساطة الموجات الكهرومغناطيسية خلال الفراغ في الفضاء.

الإنتروبي entropy
مقياس للفوضى (العشوائية) في النظام.

ب

الباسكال pascal
وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات SI.

البلازما plasma
حالة من حالات الموائع، يكون فيها المائع شبه غاز، ويتكون من إلكترونات سالبة الشحنة وأيونات موجبة الشحنة بحيث توصل الكهرباء، ومعظم الموادّ في الكون مثل النجوم في حالة البلازما.

ت

الترانزستور transistor
نبيطة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالجة بالشوائب، ويعمل كمضخم، ومقوي للإشارات الضعيفة.

التمدد الحراري thermal expansion
خاصية للموادّ في جميع حالاتها، تسبب تمدد المادة فتصبح أقل كثافة عند التسخين.

التوصيل الحراري conduction
عملية يتم فيها نقل الطاقة الحركية عند تصادم الجزيئات بعضها ببعض.

ح

الحرارة
heat
الطاقة المتنقلة بين جسمين متصلين معًا تنتقل عادة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد.

الحرارة الكامنة للانصهار
heat of fusion
كمية الحرارة اللازمة لتحول 1kg من المادة في حالة الصلابة إلى حالة السيولة عند درجة الانصهار.

الحرارة الكامنة للتبخر
heat of vaporization
كمية الحرارة اللازمة لتحول 1kg من المادة في حالة السيولة إلى الحالة الغازية عند درجة الغليان.

الحمل الحراري
convection
إحدى طرائق انتقال الطاقة الحرارية، تحدث بحركة المائع في سائل أو غاز والناتجة عن اختلاف درجات الحرارة.

خ

خطوط الانسياب
streamlines
الخطوط التي تمثل تدفق الموائع حول الأجسام.

د

الدايود
diode
شبه موصل بسيط يوصل الشحنات باتجاه واحد ويتكوّن من قطعة صغيرة من أشباه الموصلات من النوع p موصولة بقطعة أخرى من النوع n.

ر

الرقاقة الميكروية
microchip
دوائر متكاملة تتكوّن من آلآف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات.

س

السعة الحرارية النوعية
specific heat
كمية الطاقة الواجب تزويدها للمادة لترفع درجة حرارة وحدة الكتل من المادة درجة حرارة واحدة، وتقاس بوحدة J /kg.K.

ش

الشبكة البلورية crystal lattice
نمط ثابت ومنتظم يتشكل عندما تنخفض درجة حرارة السائل، بحيث يقل متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وبالنسبة لكثير من الموادّ الصلبة لا يعني التجمد التوقف عن الحركة، وإنما تبقى الجزيئات تتذبذب حول موضع اتزانها.

الشوائب Dopants
ذرات مانحة أو مستقبلة للإلكترونات بتراكيز قليلة تضاف إلى أشباه الموصلات النقية تسمى الشوائب فتعمل على زيادة موصليتها ، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية.

ض

الضغط Pressure
القوة العمودية المؤثرة في وحدة المساحات من السطح.

ط

طبقة النضوب depletion layer
المنطقة المحيطة بالطبقة الفاصلة pn ولايوجد فيها فجوات أو إلكترونات حرة فتنضب فيها ناقلات الشحنة، وتصبح موصل ضعيف جدا.

ق

القانون الأول في الديناميكا الحرارية first law of thermodynamics
ينصّ على أن التغير في الطاقة الحرارية لجسمٍ ما يساوي الحرارة التي اكتسبها الجسم مطروحًا منها الشغل الذي بذله الجسم.

القانون الثاني في الديناميكا الحرارية second law of thermodynamics
ينصّ على أن العمليات الطبيعية في الكون تحدث بحيث يتم الحفاظ على الفوضى الكلية (الاضطراب) في الكون (النظام) أو زيادتها.

القانون العام للغازات combined gas law
لكمية ثابتة من غاز مثالي يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسومًا على درجة الحرارة بالكلفن يساوي مقدارًا ثابتًا، ويمكن اشتقاق قانون بويل من هذا القانون إذا تم تثبيت درجة الحرارة، كما يمكن اشتقاق قانون شارل منه إذا تم تثبيت الضغط.

قانون الغاز المثالي ideal gas law
في الغاز المثالي، حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي عدد المولات مضروبة في الثابت R ودرجة الحرارة بالكلفن. وبوساطته يتم توقع سلوك الغازات بشكل جيد إلا في حالات الضغط العالي ودرجة الحرارة المنخفضة.

قوة الطفو buoyant force
القوة الرأسية المؤثرة في الجسم المغمور في مائع إلى أعلى.

قوى التلاصق
adhesive forces
قوى التجاذب الكهرومغناطيسية، بوساطتها تلتصق مادة بمادة أخرى، وهي المسؤولة عن عمل الأنابيب الشعرية.

قوى التماسك
cohesive forces
قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بها الدقائق المتماثلة بعضها في بعض وهي المسببة للتوتر السطحي واللزوجة.

م

مبدأ أرخميدس
Archimedes' principle
تنصّ على أن الجسم المغمور في سائل يتأثر بقوة إلى الأعلى مساوية لوزن السائل المزاح بوساطة الجسم.

مبدأ باسكال
Pascal's principle
ينصّ على أن أي تغير في الضغط المؤثر عند أي نقطة في المائع المحصور ينتقل في جميع الاتجاهات داخل المائع.

مبدأ برنولي
Bernoulli's principle
ينصّ على أن تزايد سرعة المائع يؤدي إلى نقصان ضغطه.

المحرك الحراري
heat engine
جهاز يحوّل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بشكل مستمر ويحتاج إلى مصدر طاقة حرارية ذات درجة حرارة عالية، كما أنها الطريقة التي تتحوّل بها الطاقة الحرارية إلى شغل.

معامل التمدّد الحجمي
coefficient of volume expansion
حاصل قسمة التغير في الحجم على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة. ويعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي تقريبًا لأن الجسم يتمدّد في الأبعاد الثلاثة.

معامل التمدّد الطولي
coefficient of linear expansion
حاصل قسمة التغير في الطول على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

الموائع
fluids
مادة سائلة أو غازية تنساب (تتدفق) وليس لها شكل محدد.

المواد الصلبة غير البلورية
amorphous solid
مواد لها شكل وحجم محددان، ولكن ليس لها تركيب بلوري منتظم.

ن

نظرية الأحزمة
band theory
النظرية التي توضح وصفا لحزمتي التكافؤ والتوصيل المنفصلتين بوساطة فجوات الطاقة الممنوعة.