المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء ٢

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٥ - ٢٠٢٣

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

ⓒ وزارة التعليم، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

الفيزياء ٢ -نظام المسارات- الفصل الدراسي الثالث - / وزارة التعليم. الرياض ، ١٤٤٣هـ .

٢٤٢ص ؛ ٢١ X ٢٧,٥ سم

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

١ ـ الفيزياء٢ ـ كتب دراسية السعودية. أ ـ العنوان

ديوي ٥٣٠,٠٧١٢ ١٤٤٣/٨١١٤

رقم الإيداع : ١٤٤٣/٨١١٤

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك 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 إرشادات 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، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، 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، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة 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 النظارة الواقية.

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء٢) لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

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

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

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

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

ونسأله سبحانه أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

الفصل 6

الطاقة الحرارية
Thermal Energy

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

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

الأهمية

تعد الطاقة الحرارية أمرًا حيويًّا للمخلوقات الحيـــة، وحدوث التفاعـــلات الكيميائية، وعمل المحركات.

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

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

فكّر ◄

ما أشكال الطاقة التي يتخذها ضوء الشمس خلال عملية تحويل الطاقة الشمســـية إلى شـــغل يُســـتفاد منه عن طريق المحرك؟

تُشَـع الطاقـة الشمســـية في الفضـاء والغـلاف الجوي الأرضي عـلى شـكل موجات كهرمغناطيسـية، ويتركز الضـوء الـذي هو نـوع من الأمـواج الكهرمغناطيسـية بوسـاطة المرايا ويُمتصّ بوسـاطة المجمِّع. حيث تنتقل الطاقة في صورة حرارة إلى مستودع الماء لتحويل الماء إلى بخار. ويعد البخـار ذو درجات الحرارة المرتفعة مصدر الطاقـة للتوربـين الحـراري الذي يشـغّل بـدوره المولد الكهربائي. انظر البند 2–5 لتعرّف المحركات الحرارية.

موقع واجباتي

تجربة استهلالية

ما الذي يحدث عند تزويد كأس ماء بطاقة حرارية عن طريق حمله؟

سؤال التجربة مـا الذي يحدث لدرجة حـرارة 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. سـجل درجة حرارة الماء الابتدائية بوضع مقياس الحرارة في الماء، على ألا يلامس مسـتودع المقياس قاعدة الدورق أو جوانبه.
4. أبعد مقياس الحرارة، وأمسـك بـدورق الماء مدة دقيقتين بكلتا يديك، كما في الشكل.
5. دع زميلك في المختبر يسـجل درجـة حرارة الماء النهائية بوضع مقياس الحـرارة 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؟

يسـاوي التغـير في درجـة الحـرارة $T_f - T_i$ درجـة سـيليزية واحـدة تقريبًا. وإذا احتوى الـدورق على ماءٍ أكثر فـإن الزيادة في درجة الحرارة تكون أقل.

التفكير الناقد فسر سبب تغير درجة حرارة الماء؟

تنتقـل الحـرارة بسـبب الاختـلاف في درجـة الحـرارة؛ إذ يكـون المـاء في البدايـة عنـد درجـة حـرارة الغرفـة (20°C تقريبًـا)، وتكون درجة حرارة جسـم الشـخص، بـما في ذلـك يـداه 37°C تقريبًـا. وعندما تلامس اليدان الدورق تنتقل الحرارة منهـما إلى الدورق، ثـم إلى المـاء، فترفع درجة حرارة الماء.

6–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Thermal Energy

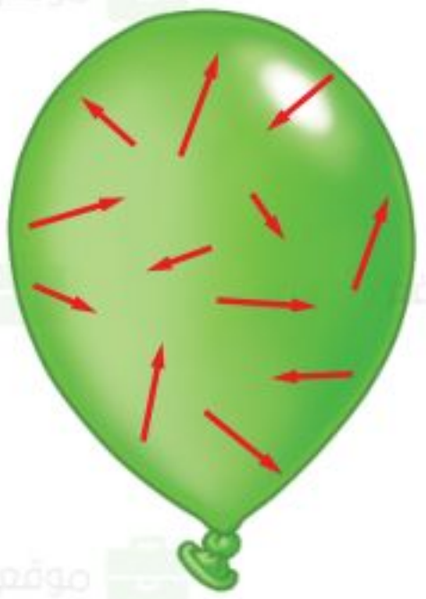
تسمى دراسـة تحولات الحرارة إلى أشـكال أخرى من أشكال الطاقة بالديناميكا الحرارية. وقد بدأت هذه الدراسـات في القرن الثامن عشر عندما كان المهندسـون يصنعـون المحركات البخاريـة الأولى. حيث استخدمت هذه المحركات في تشغيل القطارات، والمصانع، ومضخات المياه في مناجم الفحم، وساهمت في شـكل كبير في الثورة الصناعية في أوروبا والولايات المتحدة. ثم طور المهندسـون مفاهيم جديدة حول كيفية ارتباط الحرارة مع الشـغل المفيد في تصميم محركات أكثر كفاءة. وعلى الرغم من أن دراسـة الديناميـكا الحرارية بدأت في القرن الثامن عشر، إلا أنـه لم يتم الربط بـين مفاهيم الديناميـكا الحرارية وحركة الـذرات والجزيئات في المواد الصلبة والسـوائل والغازات حتى 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.

موقع واجباتي

الطاقة الحرارية Thermal Energy

درست سابقًا كيف تتصادم الأجسام وتتبادل طاقاتها الحركية. فعلى سبيل المثال، الجزيئات الموجودة في غازٍ ما لهـا طاقات حركية خطية ودورانية. وقد يكون للجزيئات طاقة وضع خلال اهتزازها وترابطها، فتصطدم مثلاً جزيئات الغاز بعضها ببعض ومع جدران الوعاء الذي يحويها؛ إذ تنتقل الطاقة فيما بينها خلال هذه العملية. وتتحرك عدة جزيئات بحرِّية في الغاز، مؤدية إلى عدة تصادمات؛ لذا يكون من المناسـب مناقشة الطاقة الكلية للجزيئات، ومتوسط الطاقة لكل جزيء. وتسمى الطاقة الكلية للجزيئات **بالطاقة الحرارية**. ويرتبط متوسط الطاقة لكل جزيء بدرجة حرارة الغاز.



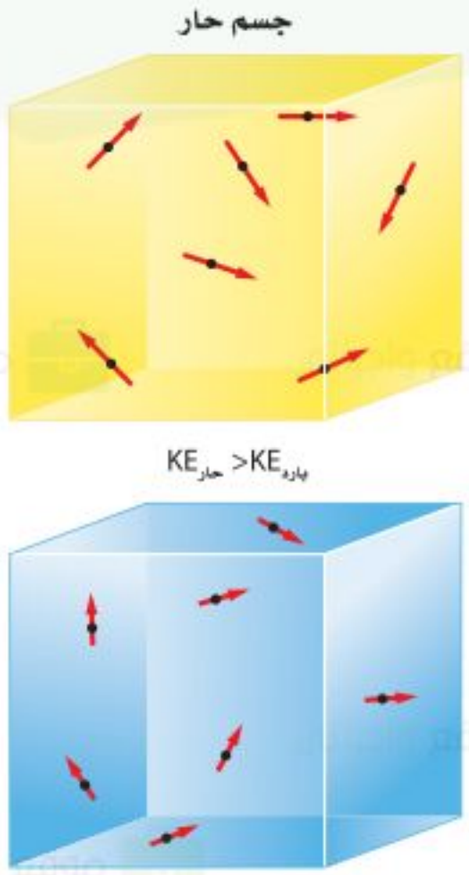
بالون هيليوم

■ **الشكل 1–6** تصطدم ذرات الهيليوم في البالون بالجدار المطاطي، وتسبب تمدد البالون.

الأجسام الساخنة ما الذي يجعل الجسم سـاخنًا؟ عندما تملأ بالونًا بغاز الهيليوم يتمدد مطاط البالون بفعل تصادم ذرات الغاز بجدار البالون بشـكل 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 1–6**، وقد تلاحظ أن البالون يصبح أكبر قليلًا إذا عرضته لأشـعة الشمس؛ لأن طاقة أشعة الشمس تجعل ذرات الغاز تتحرك أسرع؛ لذا تصطدم بالجدار بمعدل أكبر. ويؤدي كل تصادم ذري إلى إحداث قوة أكبر على جدار البالون؛ ولذا يتمدّد المطاط، ممّا يؤدي إلى تمدد البالون كليًّا.

أما إذا برّدتَ البالون فسـتلاحظ أنه ينكمش قليـلاً؛ لأن خفض درجة الحرارة يبطئ من حركـة ذرات الهيليوم. وهكذا فـإن تصادماتها لا تنقل زخمًا يكفي لجعـل البالون يتمدد بصورة كافية. وعلى الرغم من أن البالون يحتوي 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 الأمـام، وإلى الخلف. ويكون لكل ذرة بعض الطاقة الحركية، وطاقة الوضع من خلال النوابض المرتبطـة 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.



جسم بارد

■ **الشكل 2–6** طاقة الحركة والوضع لجزيئات الجسم الساخن أكبر منها لجزيئات الجسم البارد.

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة
Thermal Energy and Temperature

للجسـم السـاخن طاقة حرارية أكبر من الجسـم البارد المشـابه له، كـما هوموضح في **الشكل 2–6**، مما يعني أن الجزيئات في الجسم الساخن لها طاقة حرارية أكبر من الجزيئات في الجسم البارد. وهذا لا يعني أن جميع الجزيئات داخل الجسم لها كمية الطاقة نفسها، إنما لها مدى واسـع من قيم الطاقة، ولجزيئات الجسم الساخنة متوسط طاقة أكبر من متوسط

طاقة جزيئات الجسم البارد. ولفهم هذا افترض أنك تعرف أطوال طلاب الصف الثاني المتوسط والصف الثالث الثانوي مثلاً، وأنك تستطيع حساب متوسط الطول لطلاب الصف الثالث الثانوي. وهذا المتوسط يميل إلى أن يكون أكبر من متوسط الطول لطلاب الصف الثاني المتوسط، على الرغم من أنه يمكن أن يكون بعض طلاب الصف الثاني المتوسط أطول من بعض طلاب الصف الثالث الثانوي.

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

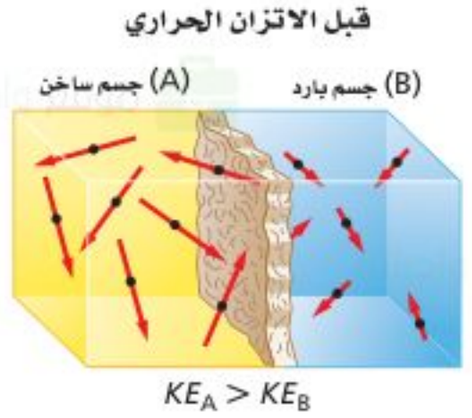
الاتزان والقياس الحراري
Equilibrium and Thermometry

كيف تقيس درجة حرارة جسمك؟ إذا اشتبهت مثلاً في أنك مصاب بالحمى، فقد تضع مقياس حرارة في فمك وتنتظر دقيقتين إلى ثلاث دقائق قبل أن تنظر إلى قراءة درجة الحرارة على المقياس. إن النظرة المجهرية لعملية قياس درجة الحرارة تتضمن التصادمات وانتقالات الطاقة بين مقياس الحرارة وجسمك. وإن كان جسمك 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 الأدفأ من الزجاج، فإن الجزيئات المتحركة بسرعة في جلدك تصطدم بالجزيئات المتحركة ببطء في الأنبوب الزجاجي، فتنتقل الطاقة عندئذ من جلدك إلى الزجاج عن طريق عملية **التوصيل الحراري**، والتي تعني انتقال الطاقة الحركية عندما تتصادم الجزيئات. 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 إلى الجسم مساويًا لمعدل انتقال الطاقة من الجسم إلى الزجاج عند اللحظة التي تتساوى فيها درجتا حرارة الجسم ومقياس الحرارة. ويقال عندئذٍ: إن الجسم ومقياس الحرارة وصلا

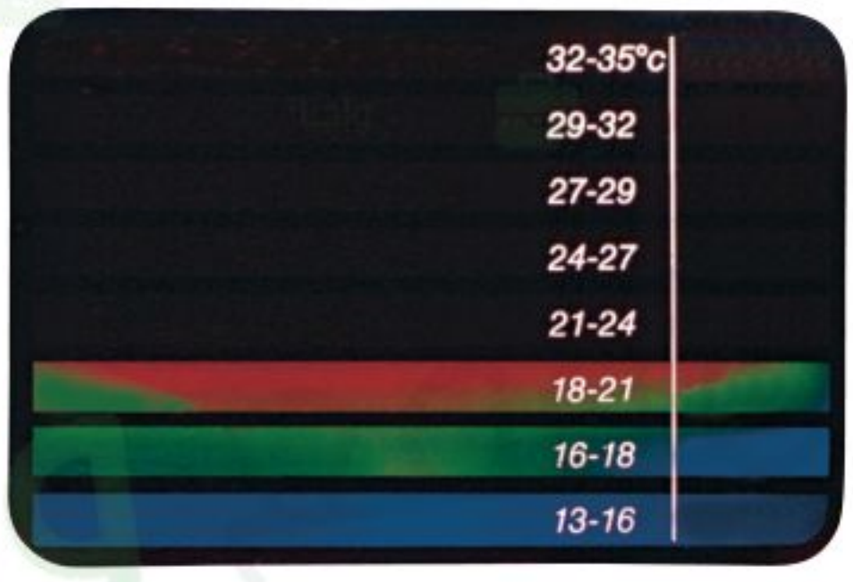
إلى **الاتــزان الحراري**، أي أن حالة الاتزان الحراري هي الحالــة التي يصبح عندها معدلا تدفق الطاقة بين جســمين متساوي، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها، كما يبين **الشكل 3–6**.

■ **الشكل 3–6** تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. وعند حدوث الاتزان الحراري يكون انتقال الطاقة بين الجسمين متساويًا.



يعتمد عمل مقياس الحــرارة على خاصية معينة، مثل الحجم، والــذي يتغير بتغير درجة الحرارة. ويحتوي العديد من مقاييس الحرارة المنزلية على كحول ملون يتمدّد عندما يسخن ويرتفع داخل أنبــوب ضيق، وكلما زادت درجة حرارة الكحــول تمدد حجمه أكثر فزاد ارتفاعه في الأنبوب، مشيرًا إلى درجة حرارة أعلى. وفي مقاييس الحرارة السائلة – البلورية، كما في **الشكل 4–6**، 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 المستخدمة في محركات المركبات فإنها تستخدم دوائر إلكترونية حساسة للحرارة فتقيس درجات الحرارة بسرعة.

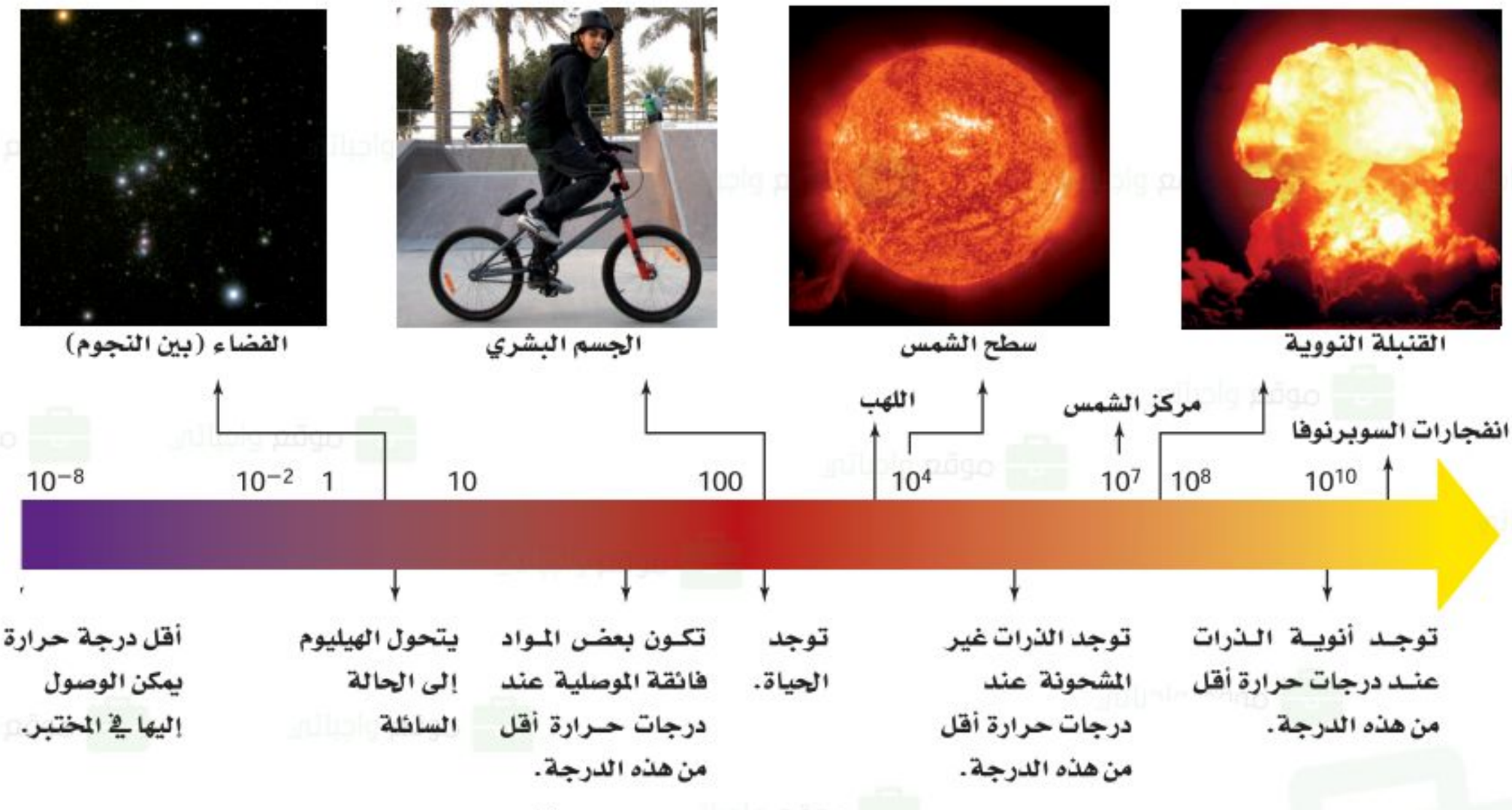
■ **الشكل 4–6** تستخدم مقاييس الحرارة التغير في الخصائص الفيزيائية لقياس درجة الحرارة، وفي مقياس الحرارة السائل – البلوري يتغير اللون بتغير درجة الحرارة.



مقياسا درجة الحرارة: السلسيوس والكلفن
Temperature Scales: Celsius and Kelvin

طور العلماء على مر الســنين مقاييس لدرجة الحرارة حتى يتمكنوا من مقارنة قياســاتهم بقياســات العلماء الآخرين. فلقد ابتكر عالم الفلك والفيزياء السويدي أندريه سلسيوس عام 1741 م مقياسًــا يعتمــد على خصائص الماء. ففي هذا المقياس – الذي يســمى 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 **الشــكل 5–6** المدى الواســع لدرجات الحرارة الموجود في الكون. ولا يبــدو أن هناك حدًّا أعلى لدرجات الحرارة؛ فدرجة الحرارة داخل الشــمس 1.5×10^7 °C عــلى الأقل. من جهة أخرى هناك حدّ أدنــى لدرجات الحرارة؛ تتقلص الموادّ، عمومًا، عند تبريدها، فمثلاً إذا تم تبريد غاز مثالي مثل الهيليوم في بالون فإنّه يتقلص،



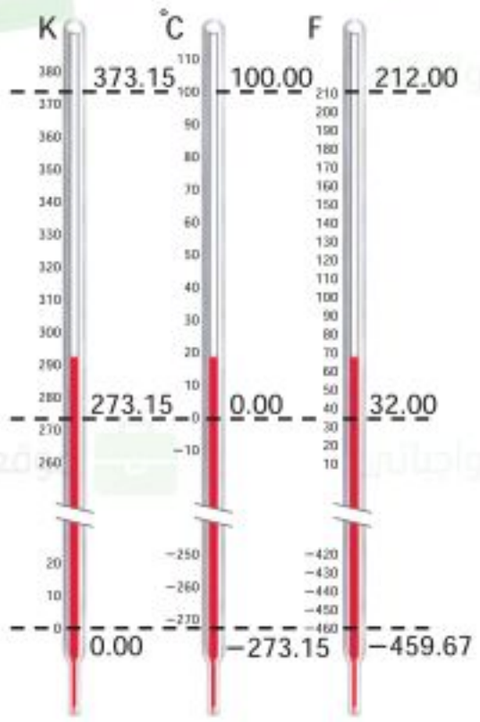
■ **الشكل 5–6** يوجد مدى واسع جدًا من درجات الحرارة في الكون. لاحظ أن مدى القياس تم توسيعه في المناطق ذات الأهمية الخاصة.

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

إن مقياس سلسيوس مفيد في القياسات اليومية لدرجة الحرارة، غير أن استخدامه في المسائل العلمية والهندسية غير عملي؛ لأنه يحتوي على درجات سالبة؛ إذ أن درجات الحرارة السالبة قد توحي بأن للجزيء طاقة حركية سالبة، وهذا غير ممكن؛ لأن الطاقة الحركية دائمًا موجبة. والحل لهذه القضية يكون باستخدام تدريج قياس يبدأ من الصفر المطلق. ويسمى 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 $T_K = T_C + 273$. ويوضح **الشكل 6–6** 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 6–6** مقاييس درجة الحرارة الثلاثة الشائعة وهي الكلفن، والسلسيوس، والفهرنهايت.

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

a. 115 K

$$T_C = T_K - 273 = 115 - 273 = -158°C$$

b. 172 K

$$T_C = T_K - 273 = 172 - 273 = -101°C$$

c. 125 K

$$T_C = T_K - 273 = 125 - 273 = -148°C$$

d. 402 K

$$T_C = T_K - 273 = 402 - 273 = 129°C$$

e. 425 K

$$T_C = T_K - 273 = 425 - 273 = 152°C$$

f. 212 K

$$T_C = T_K - 273 = 212 - 273 = -61°C$$

2. احسب درجات الحرارة بالكلفن والسلسيوس لكل ممّا يأتي:

a. درجة حرارة الغرفة

إن درجة حرارة الغرفة نحو 72° F، أو 22° C.

$$T_K = T_C + 273 = 22 + 273 = 295\ K$$

b. ثلاجة نموذجية

تبلغ درجة حرارة الثلاجة نحو 4° C.

$$T_K = T_C + 273 = 4 + 273 = 277\ K$$

c. يوم صيفي حار في مدينة الرياض

تبلغ درجة الحرارة في يوم صيفي حار في مدينة الرياض نحو 48 °C، 118.4 °F.

$$T_K = T_C + 273 = 48 + 273 = 321\ K$$

d. إحدى ليالي الشتاء في مدينة تبوك

تبلغ درجة الحرارة في ليلة شتاء عادية في مدينة تبوك حوالي 8 °C، أو 46 °F.

$$T_K = T_C + 273 = 8 + 273 = 281\ K$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية
Heat and the Flow of Thermal Energy

عندما يتلامس جسمان يتناقلان طاقة. وهذه الطاقة التي تنتقل بين الجسمين تسمى **الحرارة**. وتوصف الحرارة بأنها الطاقة التي تتدفق دائمًا من الجسم الأسخن إلى الجسم الأبرد، ولا تنتقل الحرارة تلقائيًّا من الجسم الأبرد إلى الجسم الأسخن أبدًا. ويستخدم الرمز Q لتمثيل كمية الحرارة، والذي له نفس وحدة أشكال الطاقة الأخرى، وهي الجول، وإذا كانت Q سالبة القيمة فذلك يعني أن الحرارة تنبعث من الجسم، أما إذا كانت Qموجبة القيمة فذلك يعني أن الجسم امتص الحرارة.

التوصيل الحراري إذا وضعت نهاية قضيب معدني في لهب فإن جزيئات الغاز الحارة في اللهب ستوصل الحرارة إلى القضيب. ويصبح الطرف الآخر للقضيب دافئًا أيضًا خلال فترة زمنية قصيرة. لقد تم إيصال الحرارة؛ لأن الجزيئات في القضيب كانت تتلامس معًا مباشرة.

الحمل الحراري يحدث انتقال للطاقة الحرارية حتى لو لم تكن الجزيئات في الجسم يلامس بعضها بعضًا مباشرة. فهل شاهدت مرة دورق ماء عند لحظة الغليان؟ يسخن الماء الموجود في القاع بفعل التوصيل ويصعد إلى أعلى، في حين ينزل الماء الأبرد من أعلى نحو قاع الدورق. وتتدفق الحرارة بين الماء الساخن الصاعد والماء البارد النازل. وتُسمى حركة المائع في المادة السائلة أو الغازية التي تحدث بسبب اختلاف درجة الحرارة **الحمل الحراري**. ويحدث الاضطراب الجوي بسبب الحمل الحراري للغازات الموجودة في الغلاف الجوي. وتعتبر العواصف الرعدية مثالاً على هذه الظاهرة. وتنتج التغيرات في أنماط الطقس أيضًا بسبب ظاهرة الحمل الحراري للتيارات المائية في المحيطات.

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. ويتكثف البخار داخل مشعاع حراري على شكل ماء، ثم يتدفق عائدًا عبر الأنابيب إلى المرجل ليعاد تبخيره. يحمل البخار الساخن الحرارة من داخل المرجل، ثم تتحرر تلك الطاقة عندما يتكثف البخار داخل مشعاع الحرارة. ومن سلبيات نظام التدفئة بالبخار أنه يتطلب مراجل وأنابيب ذات تكلفة مرتفعة لتستطيع نقل البخار المضغوط.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

الربط مع الأرصاد الجوية

الإشعاع الحراري هو الطريقة الثالثة للانتقال الحراري. وهو لا يشبه الطريقتين السابقتين؛ إذ لا يعتمد على وجود مادة. تعمل الشمس على تسخين الأرض من بُعد 150 مليون كيلومتر عن طريق **الإشعاع الحراري**، والذي يمثل انتقال الطاقة عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية. حيث تعمل الموجات على نقل الطاقة من الشمس الحارة خلال الفراغ الفضائي إلى الأرض الأكثر برودة.

الحرارة النوعية Specific Heat

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

الجدول 1–6

الحرارة النوعية للموادّ الشائعة

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

إن **الحرارة النوعية** للمادة هي كمية الطاقة التي يجب أن تكتسبها المادة لترتفع درجة حرارة وحدة الكتل من هذه المادة درجة سلسيوس واحدة. ويرمز للحرارة النوعية بالرمز C وتقاس بوحدات J /kg.K في نظام الوحدات العالمي، ويبين **الجدول 1–6** قيم الحرارة النوعية لبعض المواد المعروفة، فعلى سبيل المثال، يجب نقل طاقة مقدارها 897 J إلى كتلة مقدارها 1 kg من الألومنيوم لرفع درجة حرارتها 1 K؛ لذا تكون الحرارة النوعية للألمنيوم 897 J /kg.K.

موقع واجباتي

إن مقدار الحرارة التي يكتسبها جسم ما أو يفقدها عند تغير درجة حرارته يعتمد على كتلته، وعلى التغير في درجة حرارته ، وعلى الحرارة النوعية لمادة الجسم. وتستطيع باستخدام المعادلة الآتية حساب كمية الحرارة Q، اللازم نقلها لتغيير درجة حرارة الجسم.

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

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

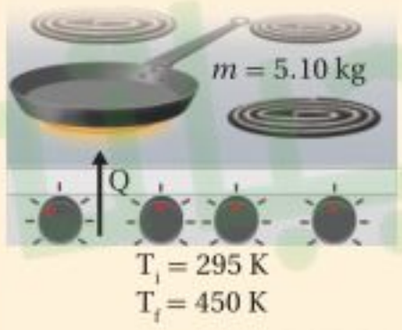
للماء السائل حرارة نوعية مرتفعة مقارنة بالمواد الأخرى في الجدول **1– 6**. ولذا فعندما ترتفع درجة حرارة 10.0 kg من الماء بمقدار 5.0 K فإن الطاقة الممتصة هي:

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

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

مثـــال 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

$C = 450\,J/kg.K \quad m = 5.10\,kg$

$T_f = 450\,K \quad T_i = 295\,K$

المجهول

$Q = ?$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات213

2 إيجاد الكمية المجهولة

عوّض مستخدمًا $m = 5.10\,kg, C = 450\,J/kg.K, T_f = 450\,K, T_i = 295\,K$

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

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس كمية الحرارة بوحدة J.
- **هل الإشارات مهمة هنا؟** زادت درجة الحرارة؛ لذا تكون Q موجبة.

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

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (2.3\ \text{kg})(385\ \text{J/kg.K})(80.0°\text{C} - 20.0°\text{C})$$

$$= 5.3\times10^4\ \text{J}$$

4. يحتوي نظام التبريد لسيارة على 20.0 L من الماء. علمًا بأن كتلة لتر واحد من الماء تساوي 1kg.

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

$$Q = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mC} = \frac{(8.36\times10^4\ \text{J})}{(20.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})}$$

$$= 10.0\ \text{K}$$

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

كتلة الميثانول تساوي 0.80 مرة من كتلة 20.0 L من الماء، أي تساوي 16 kg.

$$Q = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{mC} = \frac{(8.36\times10^5\ \text{J})}{(16\ \text{kg})(2450\ \text{J/kg.K})}$$

$$= 21\ \text{K}$$

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

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

5. تبيع شركات الكهرباء الطاقة الكهربائية بوحدة kWh، حيث إن $1\ kWh = 3.6 \times 10^6\ J$. افترض أن ثمن كل 1 kWh يساوي 0.15 ريال. فما تكلفة تسخين 75 kg من الماء من درجة حرارة 15 °C إلى 43 °C؟

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (75\ kg)(4180\ J/kg.K)(43°C - 15°C)$$

$$= 8.8 \times 10^6\ J$$

$$\frac{8.8 \times 10^6\ J}{3.6 \times 10^6\ J/kWh} = 2.4\ kWh$$

$$(2.4\ kWh)(0.15\ SR/kWh) = 0.36 \text{ ريال}$$

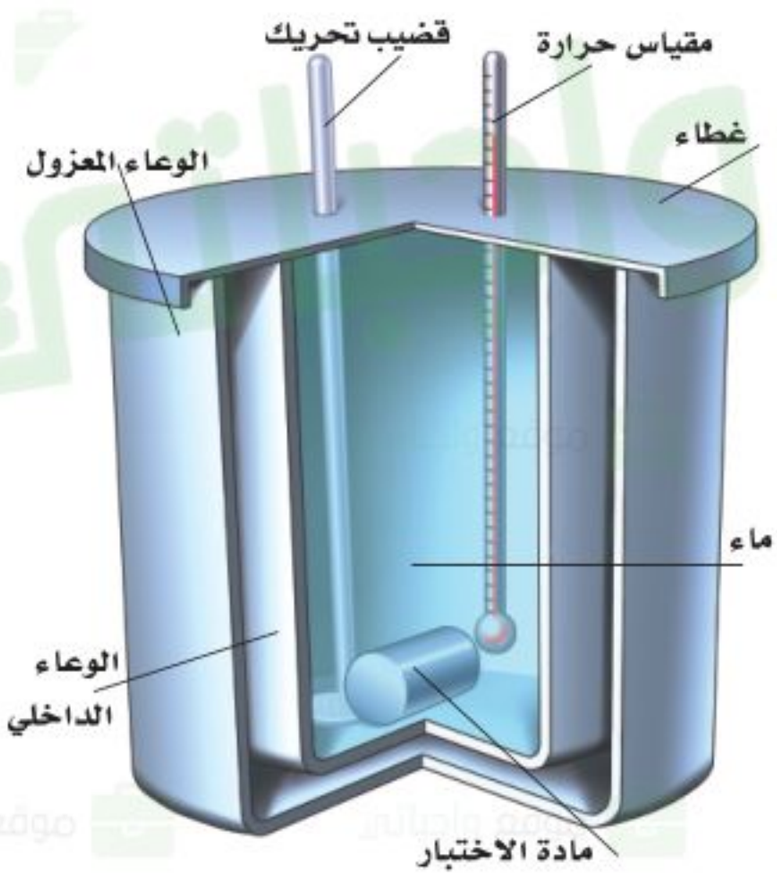
موقع واجباتي

المسعر: Calorimeter

قياس الحرارة النوعية Measuring Specific Heat

إن المسعر البسيط كما في **الشكل 7–6**، أداة تستخدم لقياس التغير في الطاقة الحرارية. ويكون المسعر معزولاً تمامًا، بحيث يكون انتقال الطاقة إلى المحيط الخارجي أقل ما يمكن.

وتوضع كتلة مقيسة من مادة مسخنة عند درجة حرارة عالية داخل المسعر الذي يحتوي أيضًا على كتلة معروفة من الماء البارد وتكون درجة حرارة الماء معروفة أيضًا. فتنتقل الحرارة المفقودة من المادة إلى الماء البارد، ثم يحسب التغير في الطاقة الحرارية للمادة من خلال الزيادة الحاصلة في درجة حرارة الماء. وهناك أنواع أخرى من المسعرات تستعمل لقياس التفاعلات الكيميائية ومحتوى الأطعمة من الطاقة.

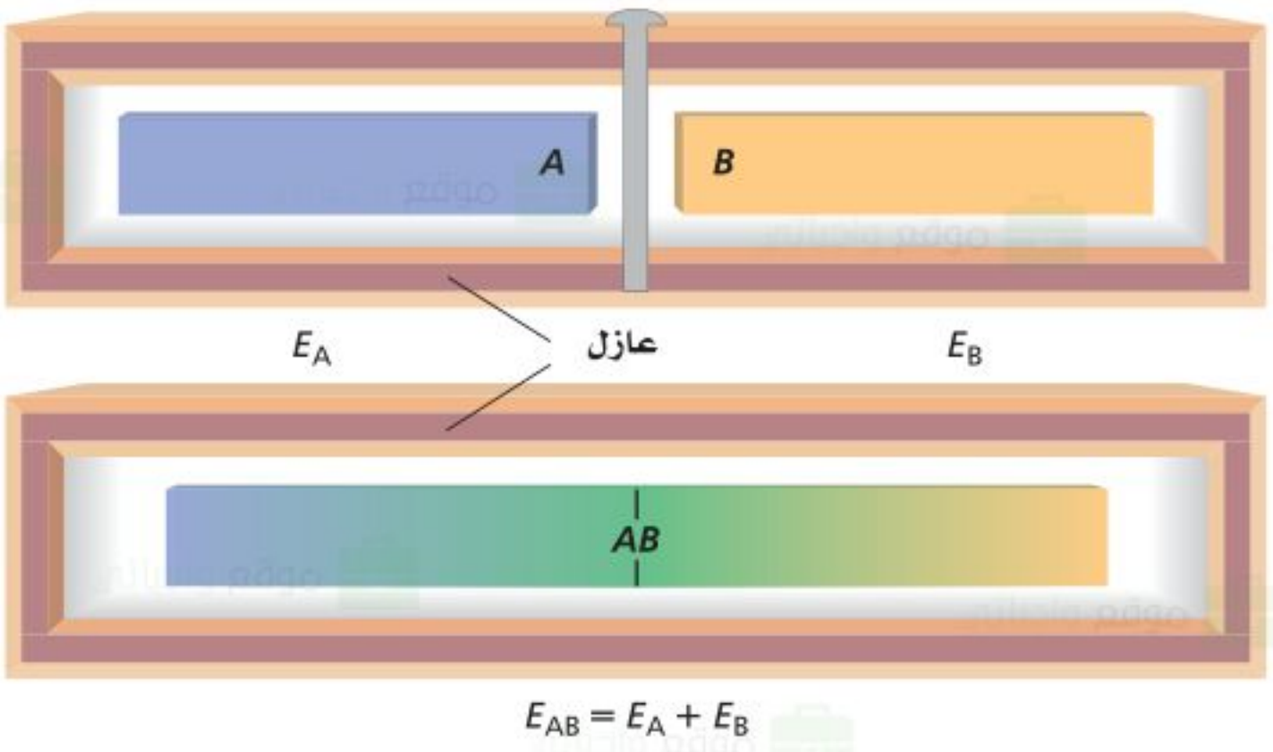


■ **الشكل 7–6** يمثل المسعر النظام المغلق والمعزول، ويستخدم لقياس انتقال الطاقة الحرارية.

يعتمد عمل المسعر على مبدأ حفظ الطاقة في النظام المغلق والمعزول، بحيث لا تدخل الطاقة هذا النظام أو تغادره. ونتيجة لذلك، إذا ازدادت طاقة جزء معين من النظام فإن طاقة جزء آخر يجب أن تنقص بالمقدار نفسه. افترض أن النظام مكون من قالبين من المعدن A و B، كما في **الشكل 8a–6**. فتكون الطاقة الكلية للنظام ثابتة، كما في المعادلة الآتية:

حفظ الطاقة $E_A + E_B =$ ثابت

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



■ **الشكل 8–6** 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 فإنّ التغير في الطاقة الحرارية للقالب B يساوي ΔE_B، كما يُمكن وصف التغير من خلال المعادلة، $\Delta E_A + \Delta E_B = 0$؛ لذا يكون $\Delta E_A = -\Delta E_B$، أي أن تغير الطاقة لأحد القالبين موجب، في حين يكون تغير الطاقة للقالب الآخر سالبًا. ويكون هنالك ازدياد في درجة حرارة القالب ذي التغير الموجب في طاقته الحرارية، ونقصان في درجة حرارة القالب ذي التغير السالب في طاقته الحرارية.

افترض أن درجتي الحرارة الابتدائية للقالبين مختلفتان. عندما يتلامس القالبان، تتدفق الحرارة من القالب الأسخن إلى القالب الأبرد، كما في **الشكل 8b–6**. ويستمر تدفق الحرارة حتى يصبح القالبان في حالة اتزان حراري، وذلك عندما يكون للقالبين درجة الحرارة نفسها.

يكون التغير في الطاقة الحرارية لأحد مكونات النظام المغلق والمعزول مساويًا لكمية الحرارة المنقولة، وذلك ناجم عن عدم بذل أي شغل؛ لذا يعبر عن تغير الطاقة لكل قالب بالمعادلة الآتية:

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

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

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

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

$$\Delta T = T_f - T_i$$

فإذا زادت درجة حرارة القالب فـإن $T_f > T_i$، وتكون ΔT موجبة. وإذا نقصت درجة حـرارة القالب فـإن $T_f < T_i$ ، وتكون ΔT سـالبة، ودرجتا الحـرارة النهائية للقالبين متساويتين. وتمثل المعادلة الآتية انتقال الطاقة.

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

حل المعادلة بالنسبة لِـ T_f وذلك بفك الأقواس:

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

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

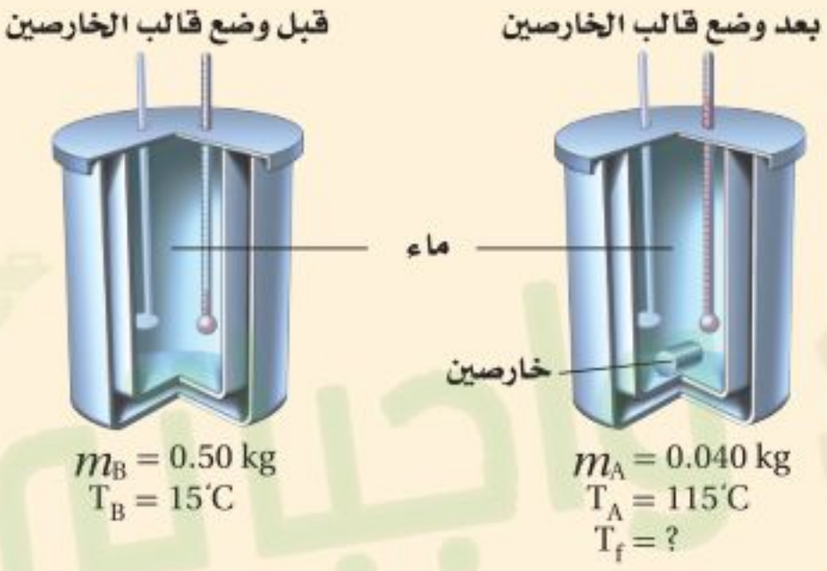
$$T_f = \frac{m_A C_A T_A + m_B C_B T_B}{m_A C_A + m_B C_B}$$

مثـــال 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؟

1 تحليل المسألة ورسمها

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



المعلوم

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

المجهول

$T_f = ?$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 205–204

2 إيجاد الكمية المجهولة

حدّد درجة الحرارة النهائية باستخدام المعادلة الآتية:

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

عوّض مستخدمًا $m_A = 0.040$ 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.

6. خلطت عينة ماء كتلتها $2.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $80.0\ ^\circ C$ مع عينة ماء أخرى كتلتها $2.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $10.0^\circ C$. مفترضًا عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

$$m_A C_A (T_f - T_{Ai}) + m_B C_B (T_f - T_{Bi}) = 0$$

ولما كانت

$$m_A = m_B$$

و

$$C_A = C_B$$

فإنه يمكن إجراء اختصارات للحصول على ما يلي:

$$T_f = \frac{T_{Ai} + T_{Bi}}{2} = \frac{80.0^\circ C + 10.0^\circ C}{2} = 45.0^\circ C$$

7. خلطت عينة ميثانول كتلتها $4.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $16.0\ ^\circ C$ مع عينة ماء كتلتها $4.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $85.0\ ^\circ C$. مفترضًا عدم فقدان حرارة إلى المحيط الخارجي، ما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

$$m_{\text{عينة الميثانول}} C_{\text{عينة الميثانول}} (T_f - T_{i,\text{عينة الميثانول}}) + m_{\text{عينة الماء}} C_{\text{عينة الماء}} (T_f - T_{i,\text{عينة الماء}}) = 0$$

لما كانت في هذه الحالة

$$m_{\text{عينة الميثانول}} = m_{\text{عينة الماء}}$$

فإن الكتل ستلغى، لذا فإن

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

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

$$= 59.5^\circ C$$

8. وضعت ثلاثة أوزان فلزية لصيد السمك في ماء كتلته $1.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارته $35.0\ ^\circ C$. فإذا كانت كتلة كل قطعة فلزية $1.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $100.0\ ^\circ C$، وكانت درجة حرارة الخليط النهائية $45.0\ ^\circ C$، فما الحرارة النوعية للفلز في الأوزان؟

كمية الحرارة التي اكتسبها الماء

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.100\ kg)(4180\ J/kg.^\circ C)(10.0^\circ C)$$

$$= 4.18\ kJ$$

لذا، فإن الحرارة المفقودة من الأوزان تساوي

$$-4.18\ kJ = m_{\text{الأوزان}} C_{\text{الأوزان}} \Delta T$$

لذا، فإن

$$C_{\text{الأوزان}} = \frac{(-4.184\ kJ)(1000\ J/kJ)}{(0.100\ kg)(-55.0^\circ\ C)}$$

$$= 2.53 \times 10^2\ J/kg.^\circ C$$

موقع واجباتي

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

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.100\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(15.0\text{°C})$$

$$= 6.27\ \text{kJ}$$

لذا فإن الحرارة المفقودة من القالب تساوي

$$-6.27\ \text{kJ} = m_{\text{القالب}} C_{\text{القالب}} \Delta T$$

لذا فإن

$$C_{\text{القالب}} = \frac{Q}{m_{\text{القالب}} \Delta T}$$

$$= \frac{-6.27\ \text{kJ}}{(0.100\ \text{kg})(-75.0\text{°C})}$$

$$= 8.36 \times 10^2\ \text{J/kg.°C}$$

موقع واجباتي

■ **الشكل 9–6** تنظم السحلية درجة حرارة جسمها من خلال الاختباء أسفل صخرة، عندما يكون الجو حارًا (**a**). والتعرض لأشعة الشمس عندما يكون الجو باردًا (**b**).

الربط مع الأحياء

تقسم الحيوانات إلى مجموعتين اعتمادًا على درجات حرارة أجسامها. معظمها من متغيِّرة درجة الحرارة، وهي التي تتغير درجات حرارة أجسامها تبعًا للبيئة المحيطة. وبقية الحيوانات الثابتة درجة الحرارة ، وهي التي تتحكم في درجات حرارة أجسامها داخليًّا. أيْ أن الحيوانات الثابتة درجة الحرارة تبقى درجات حرارة أجسامها مستقرة بغض النظر عن درجة حرارة المحيط. أما الحيوانات المتغيِّرة درجة الحرارة فترتفع درجة حرارة أجسامها عندما تكون درجة حرارة المحيط مرتفعة. وتنظم الحيوانات المتغيِّرة درجة الحرارة – ومنها السحلية في **الشكل 9–6** –حرارة جسمها من خلال تنظيم تدفق الحرارة عن طريق الاختباء تحت صخرة أو في شق، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة جسمها. ويتصف البشر بثبات درجة حرارة أجسامهم؛ فدرجة حرارة جسم الإنسان تقريبًا 37 °C.

ولينظم الحيوان الثابت درجة الحرارة درجة حرارة جسمه، فإنه يزيد أو يقلل من مستوى عمليات الأيض؛ لذا قد تلجأ بعض هذه الحيوانات إلى البيات الشتوي لتخفيض درجة حرارة أجسامها لتصل إلى درجة حرارة تجمد الماء.

10. درجات الحرارة حوّل درجات الحرارة الآتية لأنظمة القياس المشار إليها:

a. 5 °C إلى كلفن.

278 K

b. 34 K إلى سلسيوس.

−239°C

c. 212 °C إلى كلفن.

485 K

d. 316 K إلى سلسيوس.

43°C

11. التحويلات حوّل درجات الحرارة الآتية إلى كلفن.

a. 28 °C

301 K

b. 154 °C

427 K

c. 568 °C

841 K

d. −55 °C

218 K

e. −184 °C

89 K

12. الطاقة الحرارية هل يمكن أن تكون الطاقة الحرارية لكمية من الماء الساخن مساوية للطاقة الحرارية لكمية أخرى من الماء البارد؟ فسّر إجابتك.

الطاقة الحرارية هي مقياس للطاقة الكلية لجزيئات الجسم جميعها. أما درجة الحرارة (ساخن أو بارد) فهي مقياس لكمية الطاقة لكل جزيء. إذا كانت كميتا الماء متماثلتين وتحويان العدد نفسه من الجزيئات فإن لكمية الماء الساخن طاقة حرارية أكبر. ومع ذلك، إذا كانت كتلة الماء البارد أكبر قليلا من كتلة الماء الساخن فعندئذ يمكن أن تكون كمية الطاقة في كل منهما متساوية.

13. **انتقال الحرارة** لماذا تبقى البطاطس المشويّة ساخنة مدة أطول من أيّ طعام آخر في الطبق نفسه؟

إن للبطاطس سعة حرارية نوعية كبيرة، ولا توصل الحرارة بصورة جيدة؛ لذا فإنها تفقد حرارتها ببطء.

14. **الحرارة** يكون بلاط أرضية الحمام في الشتاء باردًا عند لمسه بالقدم على الرغم أن باقي غرفة الحمام دافئة، فهل تكون الأرضية أبرد من سائر غرفة الحمام؟

تكون درجة حرارة الأرضية عادة بنفس درجة حرارة سائر غرفة الحمام، إلا أن البلاط يوصل الحرارة بكفاءة عالية أكثر من معظم المواد الموجودة في الحمام؛ لذا فالبلاط يوصل الحرارة من قدم الشخص مما يجعله يشعر بالبرد.

15. **الحرارة النوعية** إذا تناولت ملعقة بلاستيكية من فنجان شاي حار ووضعتها في فمك، فلن تحرق لسانك، على الرغم من أنك قد تحرق لسانك بسهولة لو وضعت الشاي الحار في فمك مباشرة. فلماذا؟

للملعقة البلاستيكية سعة حرارية نوعية أقل؛ لذا لا تنقل الكثير من الحرارة إلى لسانك عندما تبرد.

16. **الحرارة** يستعمل كبار الطباخين في أغلب الأحيان مقالي طبخ مصنوعة من الألومنيوم السميك، فلماذا يعد الألومنيوم السميك أفضل من الرقيق للطبخ؟

يوصل الألومنيوم السميك الحرارة بصورة أفضل، ولا يكوّن بقعًا أسخن مما حولها.

موقع واجباتي

17. **الحرارة والطعام** لماذا يتطلب شوي حبة البطاطس كاملة مدة أطول من قليها على شكل شرائح صغيرة؟

لا توصل البطاطس الحرارة جيدًا. كما يؤدي تقسيمها إلى أجزاء صغيرة إلى زيادة المساحة السطحية، مما يزيد من تدفق الحرارة إليها. ويعد تدفق الحرارة من الزيت الحار إلى البطاطس (كما في القلي) أكثر كفاءة من تدفق الحرارة من الهواء الساخن إلى البطاطس (كما في الشيّ).

18. **التفكير الناقد** قد ينتج بعض الضباب فوق سطح الماء عندما يسخن، قبل بدء الغليان مباشرة. فما الذي يحدث؟ وأين يكون الجزء الأبرد من الماء في القدر؟

تتدفّق الحرارة من الموقد (الجزء الأسخن) إلى قمة سطح الماء (الأبرد). فينقل الماءُ أولاً الحرارة من قاعدة القدر إلى قمته بالتوصيل، ثم يبدأ الحمل بتحريك الماء الساخن في تيارات نحو القمة.

موقع واجباتي

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية
Changes of State & the Laws of Thermodynamics

الأهداف

- **تُعرف** الحرارة الكامنة للانصهار.
- **تُعرف** الحرارة الكامنة للتبخر.
- **تُعرف** القانونين الأول والثاني في الديناميكا الحرارية.
- **تميّز** بين الحرارة والشغل.
- **تعرّف** الإنتروبي.

المفردات

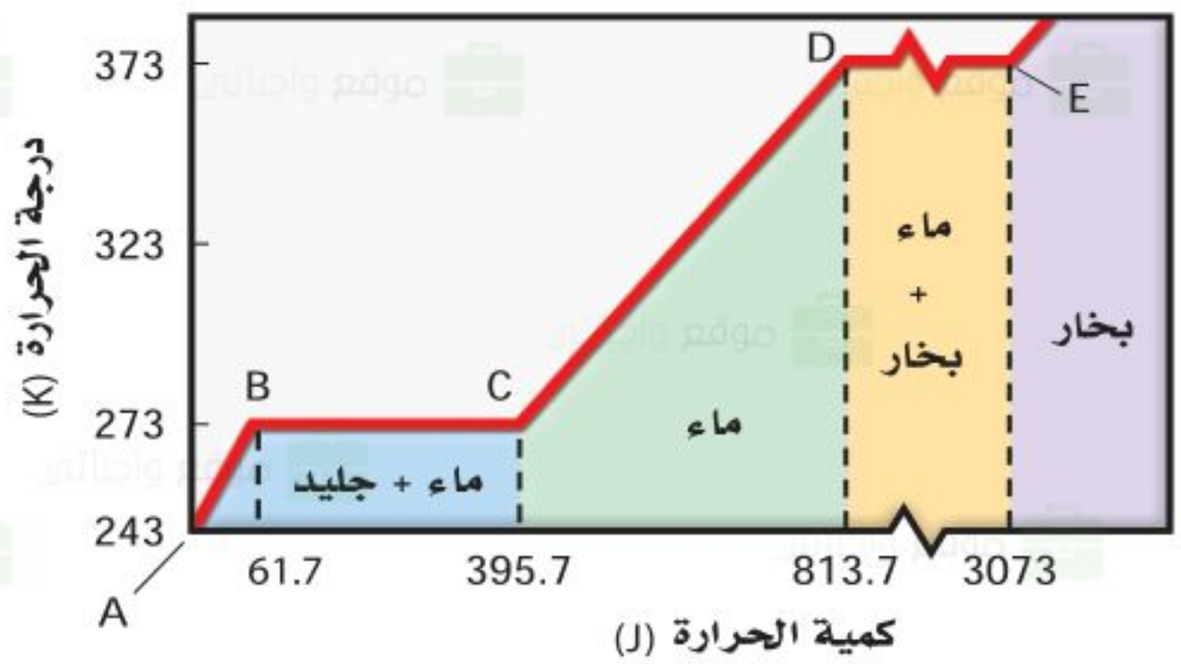
الحرارة الكامنة للانصهار
الحرارة الكامنة للتبخر
القانون الأول في الديناميكا الحرارية
المحرك الحراري
الإنتروبي
القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

استخدم صانعو المحرك البخاري في القرن الثامن عشر الحرارة لتحويل الماء الساخن إلى بخار، حيث يدفع البخار المكبس، لتشغيل المحرك، ثم يبرد البخار، ويتكثف فيصبح سائلاً مرة أخرى. إن إمداد الماء السائل بكمية من الطاقة الحرارية لا يُغير درجة حرارته فقط، بل يُغيّر بُنيته التركيبية أيضًا –ولكن دون تغيير البُنية الجُزيئية–. وستتعلم أن تغير حالة المادة يعني تغير الشكل، والطريقة التي تخزّن بها 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 10–6** 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 ما يزيد على 373 K (بخار). لقد سُخّن الجليد بين النقطتين A و B حتى أصبحت درجة حرارته 273 K، وعند نقطة معينة فإن الطاقة الحرارية المكتسبة تجعل جزيئات الماء تتحرك بسرعة كافية، للتغلب على القوى التي تعمل على تثبيت الجزيئات. وتبقى الجزيئات يلامس بعضها بعضًا، ولكنها تملك حرية حركة أكثر، وبازدياد الطاقة الحرارية المكتسبة تصبح الجزيئات أخيرًا حرة على نحوٍ كافٍ لتنزلق مبتعدًا بعضها عن بعض.



الشكل 10–6 تمثيل بياني للعلاقة بين درجة الحرارة وكمية h 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.

فاز ثلاثة علماء بريطانيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2016 تقديرا لأبحاثهم حول المادة التي أتاحت إحراز تقدم في الفهم النظري للأسرار الغامضة للمادة، وفتحت آفاقا جديدة في تطوير مواد مبتكرة.

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 10–6**، 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 الانتقالَ بين النقطتين D و E في **الشكل 10–6**. 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 1 kg 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 بعضها عن بعض دون زيادة في سرعتها. ويمثل الخط الأفقي بين النقطتين B و C في **الشكل 10–6** 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 و E في **الشكل 10–6** 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 الثلج.
5. سجل درجات الحرارة في جدول البيانات، ومثلها بيانيًا.

التحليل والاستنتاج

6. هل تصل العينتان إلى درجة الحرارة النهائية نفسها؟ ولماذا؟

لن يصدق الكثير من الطلاب 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 2–6

الحرارة الكامنة 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

ويمثل هذا الميل مقلوب الحـــرارة النوعية للجليد. في حين يمثل الميل بين النقطتين C و D مقلوب الحرارة النوعية للماء، كما يمثل الميل بعد النقطة E مقلوب الحرارة النوعية للبخار. لاحظ أن ميل الخط في حالة الماء أقل من ميله في حالتي الجليد والبخار. وهذا عائد إلى أن للماء حرارة نوعية أكبر مما للجليد والبخار. ويعبر عن كمية الحرارة Q اللازمة لصهر كتلة m من المادة الصلبة بالمعادلة الآتية:

كمية الحرارة اللازمة لصهر الكتلة الصلبة $Q = m H_f$

كمية الحرارة اللازمة لصهر كتلة ما تســاوي مقدار تلــك الكتلة، مضروبة في الحرارة الكامنة لانصهار مادتها.

تجربة عملية

ما مقدار الطاقة اللازمة لصهر الجليد؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

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

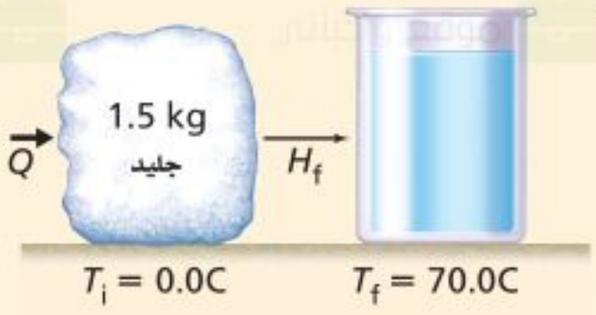
كمية الحرارة اللازمة لتبخير السائل $Q = m H_V$

كمية الحرارة اللازمة لتبخير سائل ما تساوي كتلة السائل، مضروبة في الحرارة الكامنة لتبخير مادته.

وعندما يتجمد الســائل، فإنه يفقد كمية من حرارته تســاوي $Q = -m H_f$ وهي الطاقة التي يفقدها ليتحول إلى الحالة الصلبة. وتشــير الإشارة الســالبة إلى أنّ الحرارة تنتقل من المادة إلى المحيط الخارجي. وبالطريقة نفسها، عندما يتكثف بخار إلى سائل، فإنّه يفقد كمية مــن الحرارة $Q = -m H_V$. ويبين **الجدول 2–6** بعض قيم الحرارة الكامنة للانصهار H_f، والحرارة الكامنة للتبخر H_V لبعض المواد.

مثـــــال 3

الحرارة افترض أنّك تخيم في الجبال، وتحتاج إلى صهر 1.50 kg من الجليد عند درجة الحرارة 0.0 °C وتسخينه إلى درجة حرارة 70.0 °C لصنع شراب ساخن، فما مقدار كمية الحرارة التي يتطلبها ذلك؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم العلاقة بين الحرارة والماء في كلّ من حالتيه الصلبة والسائلة.
- ارسم انتقال الحرارة مع ازدياد درجة حرارة الماء.

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

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد.

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

عوّض مستخدمًا $m = 1.50\ kg$ ، $H_f = 3.34 \times 10^5\ J/kg$

احسب تغير درجة الحرارة.

$$\Delta T = T_f - T_i$$
$$= 70.0\ °C - 0.0\ °C$$
$$= 70.0\ °C$$

عوّض مستخدمًا $T_f = 70.0\ °C$ ، $T_i = 0.0\ °C$

احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء.

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

عوّض مستخدمًا $m = 1.50 kg$ ، $\Delta T = 70.0\ °C$ ، $C = 4180\ J/kg.°C$

احسب كمية الحرارة الكلية اللازمة.

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

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

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الطاقة هي الجول.
- **هل تدل الإشارة على شيء؟** Q موجبة عندما تكون الحرارة ممتصة.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد أكبر من كمية الحرارة اللازمة لزيادة درجة حرارة الماء إلى 70.0 °C؛ إذ يتطلب التغلب على القوى التي تبقي الجزيئات في الحالة الصلبة طاقة أكبر من تلك التى نحتاج إليها لرفع درجة حرارة الماء.

19. ما مقدار كميـــة الحرارة اللازمة لتحويل كتلة من الجليد مقدارهـــا $1.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $-20.0\ ^\circ C$ إلى ماءٍ درجة حرارته $0.0\ ^\circ C$؟

$$Q = mC\Delta T + mH_f$$

$$= (0.100\ kg)(2060\ J/kg.^\circ C)(20.0^\circ C) + (0.100\ kg)(3.34\times10^5\ J/kg)$$

$$= 3.75\times10^4\ J$$

20. إذا ســـخنت عينة ماء كتلتها $2.00 \times 10^2\ g$ ودرجة حرارتها $60.0\ ^\circ C$ فأصبحـــت بخارًا درجة حرارته $140.0\ ^\circ C$، فما مقدار كمية الحرارة الممتصة؟

$$Q = mC_{\text{الماء}}\Delta T + mH_v + mC_{\text{البخار}}\Delta T$$

$$= (0.200\ kg)(4180\ J/kg.^\circ C)(100.0^\circ C - 60.0^\circ C) + (0.200\ kg)(2.26\times10^6\ J/kg) +$$
$$(0.200\ kg)(2020\ J/kg.^\circ C)(140.0^\circ C - 100.0^\circ C)$$

$$= 502\ kJ$$

21. احســـب كمية الحرارة اللازمة لتحويل $3.00 \times 10^2\ g$ من جليد درجة حرارته $-30.0\ ^\circ C$ إلى بخار ماء درجة حرارته $130.0\ ^\circ C$؟

$$Q = mC_{\text{الجليد}}\Delta T + mH_f + mC_{\text{الماء}}\Delta T + mH_v + mC_{\text{البخار}}\Delta T$$

$$= (0.300\ kg)(2060\ J/kg.^\circ C)(0.0^\circ C - (-30.0^\circ C)) + (0.300\ kg)(3.34\times10^5\ J/kg) + (0.300\ kg)(4180\ J/kg.^\circ C)$$
$$(100.0^\circ C - 0.0^\circ C) + (0.300\ kg)(2.26\times10^6\ J/kg) + (0.300\ kg)(2020\ J/kg.^\circ C)(130.0^\circ C - 100.0^\circ C)$$

$$= 9.40\times10^2\ kJ$$

موقع واجباتي

موقع واجباتي

القانون الأول في الديناميكا الحرارية
The First Law of Thermodynamics

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

القانون الأول في الديناميكا الحرارية $\Delta U = Q - W$

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

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

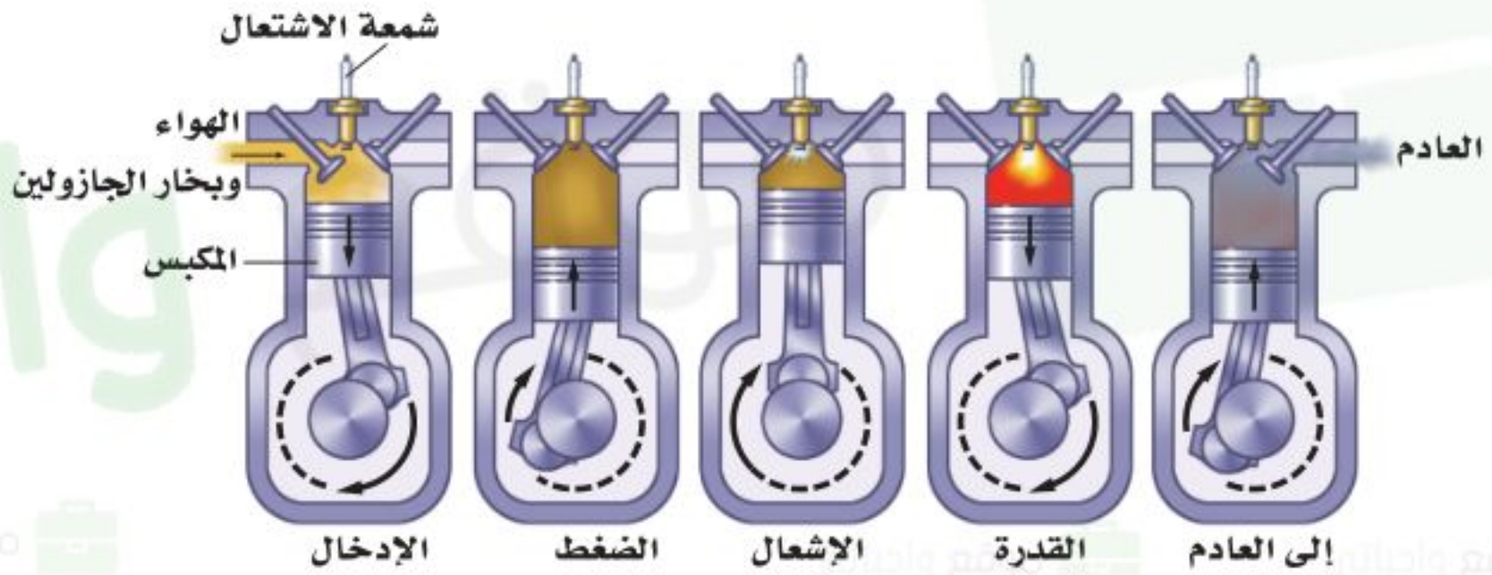
ومن الأمثلة الأخرى على تغير كمية الطاقة الحرارية في نظام ما، المضخة اليدوية المستخدمة في نفخ إطار الدراجة الهوائية؛ فعندما يقوم شخص بضغط المضخة فإن الهواء وأسطوانة المضخة يصبحان دافئين؛ حيث تتحول الطاقة الميكانيكية في المكبس المتحرك إلى طاقة حرارية للغاز. وبالمثل، فإن أشكالًا أخرى من الطاقة يمكن أن تتحول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

موقع واجباتي

المحركات 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. ويعد **المحرك الحراري** أداة ذات قدرة على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بصورة مستمرة.

■ **الشكل 11–6** محرك حراري يحول الحرارة عند درجة الحرارة المرتفعة إلى طاقة ميكانيكية وإلى حرارة ضائعة عند درجة حرارة منخفضة.

يتطلب المحرك الحراري مصدرًا ذا درجة حرارة مرتفعة لامتصاص الحرارة منه؛ ومستقبِلاً ذا درجة حرارة منخفضة يمتص الحرارة ويسمى المصرف. كما يحتاج أيضًا إلى طريقة لتحويل الطاقة الحرارية إلى شغل. يوضح **الشكل 11–6** رسمًا تخطيطيًّا لمحرك حراري، وهو محرك احتراق داخلي، حيث يشتعل فيه بخار الجازولين المخلوط بالهواء لإنتاج شعلة ذات درجة حرارة مرتفعة. وتتد فق الحرارة (Q_H)، من اللهب إلى الهواء الموجود في الأسطوانة، ثم يتمدد الهواء ويدفع المكبس، محولاً بذلك الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية. وللحصول على طاقة ميكانيكية مستمرة، فإن المحرك يجب أن يعود إلى وضعه الابتدائي، حيث يطرد الهواء الحار ويحل محله هواء جديد، ويعود المكبس إلى أعلى الأسطوانة كما يبين **الشكل 12–6**.



■ **الشكل 12–6** تعمل الحرارة الناتجة بفعل احتراق الجازولين على تمدد الغازات الناتجة وبذل قوة وشغل على المكبس.

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

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

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

موقع واجباتي

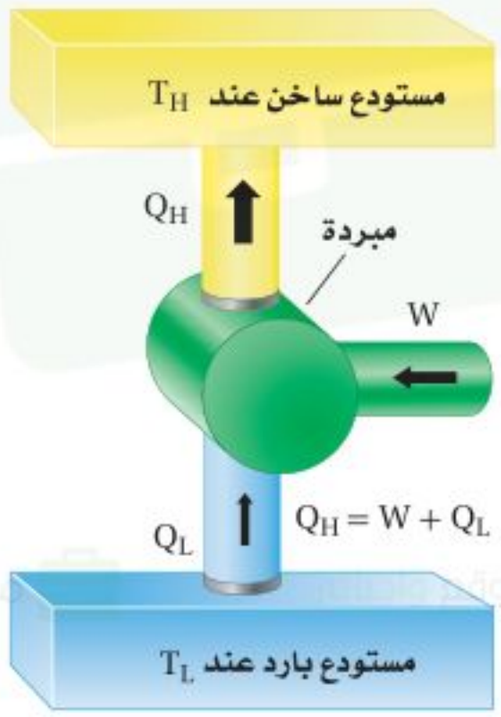
للمحـــرك لا تتغير، أو $\Delta U = 0 = Q - W$. ومحصلـــة كمية الحرارة التي تدخل المحرك هي $Q = Q_H - Q_L$؛ لذا يكون الشغل الذي يبذله المحرك هو $W = Q_H - Q_L$. وتولد جميع المحـــركات الحرارية حرارة ضائعة (مفقودة)، ولذا لا يوجـــد محرك يحول الطاقة كلها إلى شغل أو حركة نافعة.

الكفاءة يتحدث المهندســـون وبائعو الســـيارات عن كفاءة اســـتهلاك الوقود في محركات المركبات، حيث يشـــيرون إلى كمية الحرارة الداخلة، Q_H، التي تتحول إلى شغل نافع W. ويعبر عن الكفاءة الفعلية للمحرك بالنســـبة W/Q_H. ومن الممكن أن تساوي الكفاءة مئة في المئة إذا تحولت الحرارة الداخلة كلها إلى شغل بفعل المحرك. ولكن بسبب وجود حرارة مفقودة دائمًا، لا تصل كفاءة أغلب المحركات – حتى إن كانت ذات كفاءة عالية – إلى مئة في المئة.

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

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

يعـــبر الغاز الذي ينقل الحرارة من داخل المـــبرد (الثلاجة) عن طريق الضاغط إلى ملفات التكثيـــف الموجودة خارج المبرد (خلف الثلاجة)، حيث يبرد متحولاً إلى ســـائل، وتنتقل الطاقة الحرارية المفقودة بسبب إسالة الغاز إلى الهواء الموجود في الغرفة، ثم يعود السائل إلى داخل الثلاجة، فيتبخر بعد أن يمتص الطاقة الحرارية مما يحيط به (أي من داخل الثلاجة)، ثـــم ينتقل بعد ذلك إلى الضاغط، وتتكـــرر هذه العملية، ويكون التغـــير الكلي في الطاقة الحرارية للغاز يســـاوي صفرًا؛ لذا واستنادًا إلى القانون الأول في الديناميكا الحرارية، فإن مجموع الطاقة المأخوذة من محتويات المبردة والشـــغل المبذول بفعل المحرك يساوي الحرارة المنبعثة، كما يبين **الشكل 13–6**.



■ **الشـكل 13–6** يمتص المبرد الحرارة Q_L من المستودع البارد ويبعث الحرارة Q_H إلى المستودع الساخن، ببذل شغل W على المبرد.

المضخات الحرارية إنّ المضخة الحرارية عبارة عن مبرد يعمل في اتجاهين، فتنتزع المضخة في الصيف الحرارة من المنزل، ولذا يبرد المنزل. أمّا في الشـــتاء فتنتزع الحرارة من الهواء البارد الذي في الخـــارج وتنقلها إلى داخل المنزل لتدفئته. وفي كلتـــا الحالتين، يتطلب ذلك طاقة ميكانيكية لنقل الحرارة من الجسم الأبرد إلى الجسم الأدفأ.

موقع واجباتي

22. يمتص بالون غاز 75 J من الحرارة. فإذا تمدّد هذا البالون وبقي عند درجة الحرارة نفسها، فما مقدار الشغل الذي بذله البالون في أثناء تمدده؟

$$\Delta U = Q - W$$

بما أن درجة حرارة البالون لم تتغير، فإن

$$\Delta U = 0$$

لذا فإن

$$Q = W$$

وهكذا يكون البالون قد بذل شغلاً مقداره 75 J في أثناء تمدُّده.

23. يثقب مثقب كهربائي فجوة صغيرة في قالب من الألومنيوم كتلته 0.40 kg فيسخن الألومنيوم بمقدار 5.0 °C، ما مقدار الشغل الذي بذله المثقب؟

$$\Delta U = Q - W_{\text{القالب}}$$

$$W_{\text{المثقب}} = -W_{\text{القالب}}$$

وأفترض أنه لم تضف حرارة إلى المثقب

$$\Delta U = 0 + W_{\text{المثقب}}$$

$$= mC\Delta T$$

$$= (0.40\,\text{kg})(897\,\text{J/kg.°C})(5.0°\text{C})$$

$$= 1.8\times10^{3}\,\text{J}$$

موقع واجباتي

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

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

$$= (0.50\ \text{kg})(130\ \text{J/kg.°C})(1.0\ \text{°C})$$

$$= 65\ \text{J}$$

طاقة وضع الكيس في كل مرة يتم فيها رفعه تساوي

$$PE = mgh$$

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

$$= 7.4\ \text{J}$$

عندما يصطدم الكيس بسطح الأرض؛ تنتقل هذه الطاقة غالبًا على شكل شغل مبذول على الرصاص. وعدد مرات الإسقاط يساوي:

$$\frac{65\ \text{J}}{7.4\ \text{J}} = 9 \text{ مرة}$$

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

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

$$= (0.15\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(2.0\text{°C})$$

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

عدد مرات التحريك تساوي

$$\frac{1.3\times10^3\ \text{J}}{0.05\ \text{J}} = 2.6\times10^4 \text{ مرة}$$

26. كيف يمكن استخدام القانون الأول في الديناميكا الحرارية لشرح كيفية تخفيض درجة حرارة جسم ما؟

من الممكن أن تكون ΔU سالبة؛ لأن $\Delta U = Q - W$؛

لذا يبرد الجسم إذا كانت $Q = 0$ ويبذل الجسم شغلا بفعل التمدد على سبيل المثال. أو تكون $W = 0$ و Q سالبة عن طريق نقل الجسم للحرارة إلى المحيط الخارجي. وتفي أي من هاتين الصيغتين بالغرض.

موقع واجباتي

موقع واجباتي

إلا أنّ الحرارة الضائعة تتولد دائمًا، ولا تشاهد جزيئات الغاز الموزعة عشوائيًّا ترتب نفسها تلقائيًّا في أنماط معينة. وقد درس المهندس الفرنسي سادي كارنو 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 كارنو 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 معًا، مانحةً بذلك طاقاتها للكرة ومسببة ارتفاعها عن سطح الأرض.

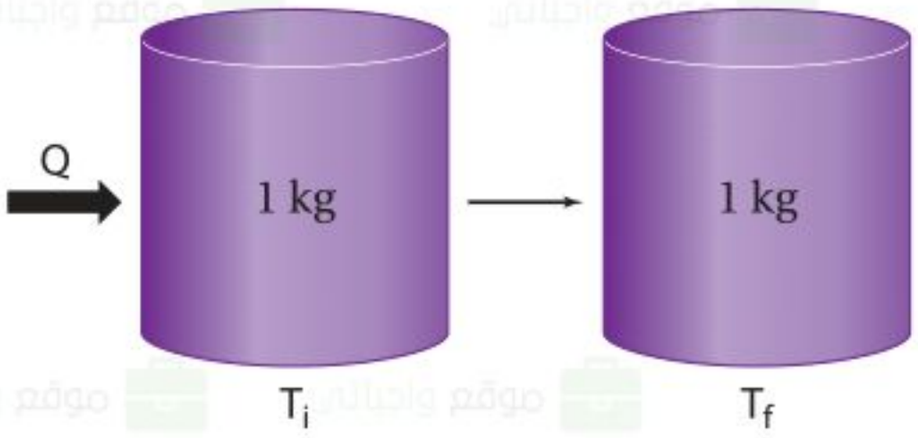
إنّ الإنتروبي محتوى داخل الجسم، مثله في ذلك مثل الطاقة الحرارية، وعند إضافة حرارة إلى الجسم، فإنَّ الإنتروبي يزداد، وإذا انتزعت حرارة من الجسم فإنّ الإنتروبي ينقص، أما إذا بذل الجسم شغلاً دون أن تتغير درجة الحرارة فإنّ الإنتروبي لا يتغير ما دام الاحتكاك مهملاً. ويعبر عن التغير في الإنتروبي ΔS بالمعادلة 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 كمية الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارة الجسم بالكلفن.

موقع واجباتي

للإنتروبي بعض الخصائص المدهشـــة. قارن بين الحالات الآتية، ووضح أوجه الاختلاف، بين هذه التغيرات للإنتروبي، معللاً ذلك.



1. تسخين 1 kg من الماء من 273 K إلى 274 K.

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

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})(274\ \text{K} - 273\ \text{K})}{273\ \text{K}}$$

$$= 15\ \text{J/K}$$

2. تسخين 1 kg من الماء من 353 K إلى 354 K.

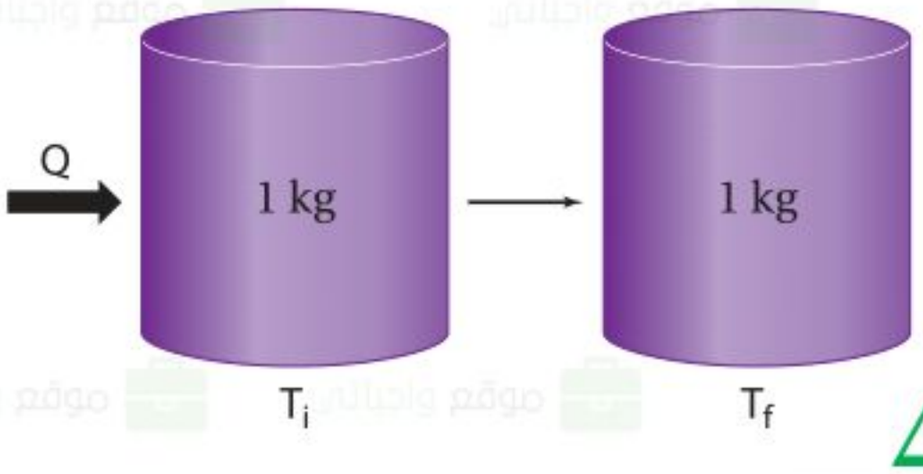
$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mC\Delta T}{T}$$

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(4180\ \text{Jkg.K})(354\ \text{K} - 353\ \text{K})}{353\ \text{K}}$$

$$= 12\ \text{J/K}$$

للإنتروبي بعض الخصائص المدهشة. قارن بين الحالات الآتية، ووضح أوجه الاختلاف، بين هذه التغيرات للإنتروبي، معللاً ذلك.

3. صهر 1 kg من الجليد بشكل كامل عند 273 K.



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

$$= \frac{(1.0\ \text{kg})(3.34\times10^5\ \text{J/kg})}{273\ \text{K}}$$

$$= 1.2\times10^3\ \text{J/K}$$

4. تسخين 1 kg من الرصاص من 273 K إلى 274 K.

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

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

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

ينص **القانون الثاني في الديناميكا الحرارية** على أن العمليات الطبيعية تجري في اتجاه المحافظة على الإنتروبي الكلي للكون أو زيادته. أيْ أن الأشـياء كلّها ستصبح أكثر عشوائية، وأقل انتظامًـا ما لم يُتّخذ إجراء معـين يحافظ على انتظامها وترتيبهـا. ويمكن التفكير في زيادة الإنتروبي، وفي القانون الثاني في الديناميكا الحرارية على أنّهما عبارات تصف احتمال وقوع الأحداث. ويبين **الشـكل 15–6** زيادة الإنتروبي؛ حيث كانـت جزيئات صبغة الطعام منفصلة عـن الماء في بداية الأمر، ثم أصبحت مختلطة بجزيئـات الماء بعد فترة زمنية. من جهة أخرى، يوضح **الشـكل 16–6** مثالاً على قانون الديناميكا الحرارية الثاني، الذي قد يكون مألوفًا للعديد من الطلاب.

■ **الشـكل 15–6** يُعد الاختلاط التلقائي لصبغة الطعام بالماء مثالاً على القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

■ **الشـكل 16–6** يصل الإنتروبي تلقائيًا إلى قيمة كبيرة إذا لم يُبذَل شغل على النظام.

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

مخالفـات للقانـون الثـاني إننا نعتبر العديد من الأحداث اليوميـة التي تحدث تلقائيًّا، أو طبيعيًّا، في اتجاه واحد من الأمور البديهية؛ وسـوف نندهش إذا وقعت الأحداث نفسـها بشـكل معكوس تلقائيًّا. فمثلاً، لن تندهش عندما تُسخنِّ ملعقة معدنية من أحد طرفيها، فتصبح سـاخنة بأكملها بانتظام. ولكن تخيل ردة فعلك، إذا كانت لديك ملعقة مسـتقرة على طاولة، وفجأة أصبح أحد طرفيها سـاخنًا ومحمرًا، والطرف الآخر متجمدًا وباردًا!

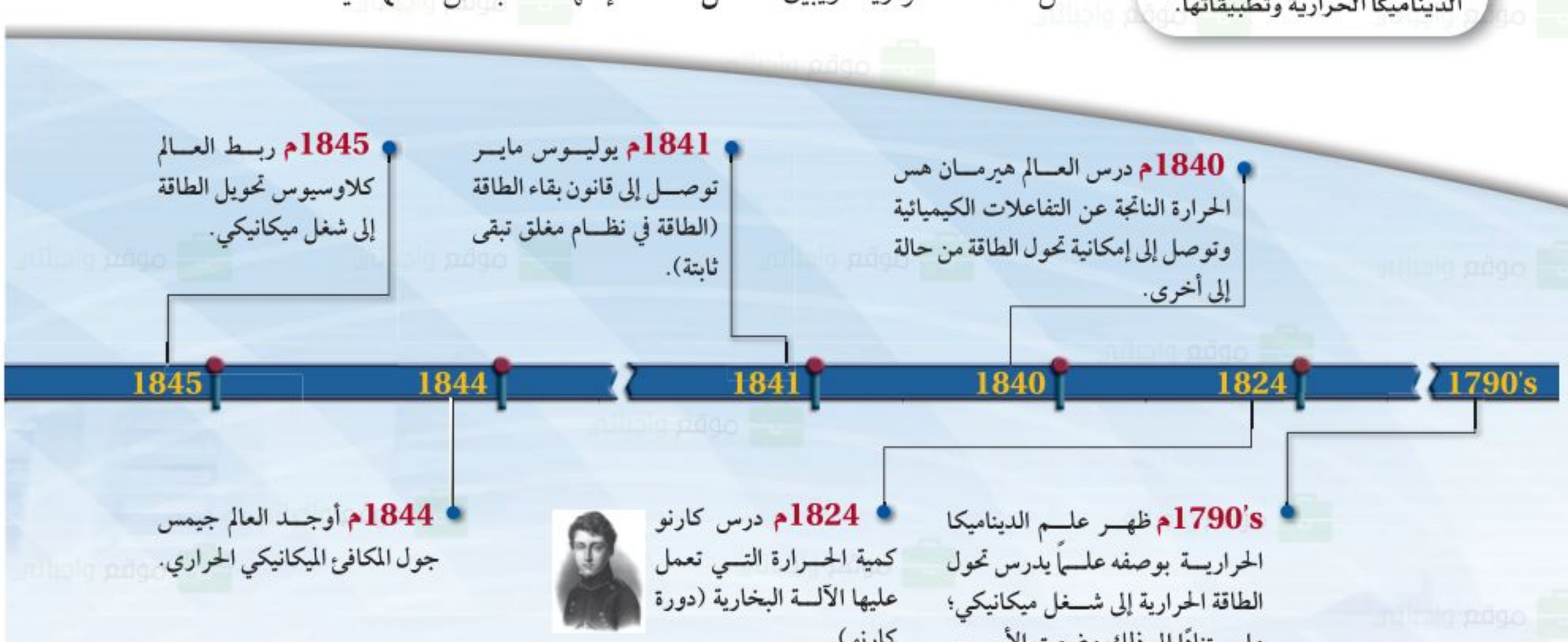
موقع واجباتي

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 في الديناميكا الحرارية. وتعد ببساطة أمثلة على الأحداث التي لا تحدث ولا حصر لها؛ لأن عملياتها تخالف القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

يقدم القانون الثاني في الديناميكا الحرارية وزيادة الإنتروبي معنى جديدًا لما يسمّى أزمة الطاقة. وتشير أزمة الطاقة إلى المشاكل الناجمة عن الاستخدام 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 بوصفه 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. وأخيرًا يمكن القول بأن علم الديناميكا الحرارية ظهر بوصفه علمًا يدرس تحول الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي في أواخر القرن الثامن عشر وكان أساسًا لعمل الآلات الحرارية. ويبين **الشكل 17–6** إسهامات بعض العلماء فيه.

الشكل 17–6 خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم الديناميكا الحرارية وتطبيقاتها.



موقع واجباتي

2–6 مراجعة

27. **الحرارة الكامنة للتبخر** يرسل النظام القديم للتدفئة بخارًا داخل الأنابيب في كل غرفة من المنزل، ويتكثف هذا البخار في داخل المبرد ليصبح ماءً. حلّل هذه العملية، واشرح كيف تعمل على تدفئة الغرفة؟

يحرّر البخار المتكثّف الحرارة الكامنة للتبخر في داخل الغرفة، ثم يكمل دورته راجعًا إلى المرجل لامتصاص الحرارة الكامنة للتبخر مرة أخرى.

28. **الحرارة الكامنة للتبخر** ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتحويل 50.0 g من الماء عند درجة حرارة 80.0 °C إلى بخار عند درجة حرارة 110.0 °C؟

$$Q = mC_{\text{الماء}}\Delta T + mH_v + mC_{\text{البخار}}\Delta T$$

$$= (0.500\,\text{kg})(4180\,\text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 80.0°\text{C}) + (0.500\,\text{kg})(2.26\times10^6\,\text{J/kg}) + (0.500\,\text{kg})(2020\,\text{J/kg.°C})$$

$$(110.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$

$$= 1.18\times10^5\,\text{J}$$

29. **الحرارة الكامنة للتبخر** ما مقدار الطاقة اللازمة لتسخين 1.0 kg من الزئبق عند درجة حرارة 10.0 °C إلى درجة الغليان وتبخره كاملاً؟ علماً بأن الحرارة النوعية للزئبق هي 140 J /Kg.0C، والحرارة الكامنة لتبخره هي 3.06×10^5 J / kg، ودرجة غليان الزئبق هي 357 °C.

$$Q = mC_{\text{الزئبق}}\Delta T + mH_v$$

$$= (1.0\,\text{kg})(140\,\text{J/kg.°C})(357°\text{C} - 10.0°\text{C}) + (1.0\,\text{kg})(3.06\times10^5\,\text{J/kg})$$

$$= 3.5\times10^5\,\text{J}$$

موقع واجباتي

30. **الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية** قاس جيمس جول الفرق في درجة حرارة الماء عند قمة شلال ماء وعند قاعه بدقة. فلماذا توقع وجود فرق؟

للماء عند قمة الشلال طاقة وضع جاذبية، وتتحول بعض هذه الطاقة إلى طاقة حرارية عندما يصطدم الماء بالأرض عند قاع الشلال. ويجب أن يكون الماء أكثر سخونة عند قاع الشلال، ولكن ليس إلى درجة كبيرة.

31. **الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية** يستخدم رجل مطرقة كتلتها 320 kg تتحرك بسرعة 5.0 m /s لتحطيم قالب رصاص كتلته 3.0 kg موضوع على صخرة كتلتها 450 kg. وعندما قاس درجة حرارة القالب وجد أنها زادت 5.0 °C. فسّر ذلك.

يمتص قالب الرصاص جزءًا من طاقة المطرقة الحركية. مقدار طاقة المطرقة يساوي

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(320\ \text{kg})(5.0\ \text{m/s})^2 = 4.0\ \text{kJ}$$

التغير في الطاقة الحرارية للقالب يساوي

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

$$= (3.0\ \text{kg})(130\ \text{J/kg.K})(5.0°\text{C})$$

$$= 2.0\ \text{kJ}$$

أي أن نصف طاقة المطرقة انتقلت إلى قالب الرصاص.

موقع واجباتي

32. الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية تتدفق مياه شلال يرتفع 125.0 m كما في **الشكل 18–6**. احسب الفرق في درجة حرارة الماء بين قمة الشلال وقاعه إذا تحولت كل طاقة وضع الماء إلى طاقة حرارية.

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

$$mgh = mC\Delta T$$

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

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

$$= 0.293^\circ\text{C}$$ مقدار الارتفاع في درجة الحرارة عند قاع الشلال

33. **الإنتروبي** لماذا ينتـــج عن تدفئة المنزل عن طريق الغاز الطبيعي زيادة في كمية الفوضى أو العشوائية؟

يحرر الغاز حرارة Q عند درجة حرارة الاحتراق T. حيث تتحطم الروابط بين جزيئات الغاز، وتتحد بالأكسجين. وتتوزع الحرارة بطرائق جديدة عديدة، ولا تعيد جزيئات الغاز الطبيعي تجمُّعها بسهولة وسرعة.

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

لا يحتمل أن تعود البطاقات إلى ترتيبها الأصلي. هذا مثال على القانون الثاني في الديناميكا الحرارية والذي تزيد فيه الفوضى.

1850م استنتج بولتزمان إمكانية حدوث التغير العكوس في نظام مغلق.

1875–1878م أثبـــت ويلارد غيبس مـــا توصل إليـــه هلمولنز من حيث الربـــط بين الطاقـــة الكهربائية للبطارية و الطاقة الكيميائية والحرارية الناتجة عن التفاعلات فيها.

1862م توصـــل مارســـين برتلوت إلى إمكانيـــة الحصول على قـــوة دافعة من الحـــرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية.

1945م اقترح سيلســـيوس أن تكـــون درجة الصفر هـــي درجة تجمد الماء ودرجة **100** هي درجة غليانه.

1999م قـــدم العـــالم إليوت ليب منظومة الثيرموديناميكا لتفسير الإنتروبي.

مختبر الفيزياء

التسخين والتبريد

عند وضع دورق ماء على صفيحة ساخنة فإنّ الحرارة تنتقل في البداية إلى الدورق ثم إلى الماء في قاع الدورق بالتوصيل، ثم ينقل الماء الحرارة من القاع إلى أعلى خلال تحريك الماء الساخن للقمة عن طريق الحمل الحراري. وعند إزالة أو فصل مصدر الحرارة، يشع الماء طاقة حرارية حتى يصل إلى درجة حرارة الغرفة. وتعتمد السرعة التي يسخن بها الماء على كمية الحرارة المضافة، وكتلة الماء، وسعته الحرارية النوعية.

سؤال التجربة

كيف يمكن أن تؤثر الزيادة المستمرة الثابتة للطاقة الحرارية في درجة حرارة الماء؟

الأهداف

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

احتياطات السلامة

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

المواد والأدوات

سخان كهربائي (أو لهب بنسن)

دورق زجاجي حراري سعته 250 ml

(50–200)g من الماء

مقياسا درجة حرارة (غير زئبقيين)

ساعة إيقاف

الخطوات

1. شغل السخان الكهربائي على أعلى درجة حرارة ممكنة، أو كما يرشدك المعلم، وانتظر عدة دقائق حتى تسخن.
2. قس كتلة الدورق الفارغ.
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 ألا يلامس قاع مقياس الحرارة قاع الدورق أو جوانبه، أو الطاولة أو اليدين.
7. ضع الدورق على صفيحة السخان الكهربائي، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة 5 دقائق.
8. ارفع الدورق عن الصفيحة بحذر، وسجل درجة الحرارة كل دقيقة مدة عشر دقائق.
9. سجل درجة حرارة الهواء في نهاية الفترة.
10. افصل قابس السخان الكهربائي.
11. اترك الأدوات عند الانتهاء حتى تبرد، وتخلص من الماء وفق إرشادات المعلم.

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	تسخين
7	57.5	تبريد
8	56.3	تبريد
9	55	تبريد
10	53.8	تبريد

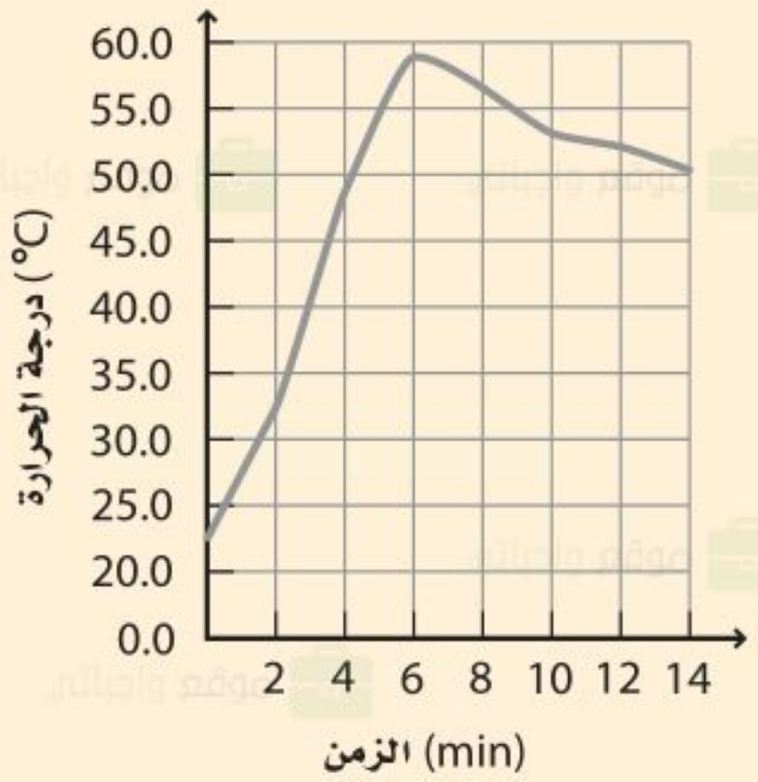
الزمن (دقيقة)	درجة حرارة (°C)	تسخين أو تبريد
11	52.9	تبريد
12	52	تبريد
13	51.1	تبريد
14	50.3	تبريد
15	49.2	تبريد

التحليل

1. احسب التغير في درجة حرارة الهواء لتحديد ما إذا كانت درجة حرارة الهواء متغيرًا خارجيًّا.

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

2. مثّل بيانيًّا العلاقة بين درجة الحرارة (المحور الرأسي) والزمن (المحور الأفقي). واستخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لرسم المنحنى إذا أمكن ذلك.



3. احسب ما التغير في درجة حرارة الماء في حالة التسخين؟

35.8 °C

4. احسب ما الانخفاض في درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة؟

9.1 °C

5. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لارتفاع درجة الحرارة من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على زمن تسخين الماء.

7.1 °C /min

6. احسب متوسط ميل المنحنى البياني لانخفاض درجة الحرارة من خلال قسمة التغير في درجة الحرارة على الزمن من لحظة إبعاد مصدر الحرارة.

0.91 ° C /min

الاستنتاج والتطبيق

1. لخص ما التغير الذي طرأ على درجة حرارة الماء عند وضع مصدر الحرارة؟

يسخن الماء بعد فترة زمنية أولية بمعدل ثابت تقريبًا.

2. لخص ما التغير الذي طرأ على درجة حرارة الماء بعد إبعاد مصدر الحرارة مباشرة؟

تتناقص بمعدل ثابت تقريبًا.

3. ما الذي يحدث لدرجة حرارة الماء بعد الدقائق العشر الآتية؟ وهل تستمر في الانخفاض إلى الأبد؟

سيستمر انخفاض درجة حرارة الماء حتى يصل إلى اتزان حراري مع الغرفة.

موقع واجباتي

4. أيهما بدا أسرع: تسخين الماء أم تبريده؟ ولماذا تعتقد ذلك؟
تلميح: تفحص قيم الميل التي حسبتها.

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. **كوِّن فرضية** أين ذهبت الطاقة الحرارية للماء عندما بدأ الماء يبرد؟ ادعم فرضيتك.

لقد تسربت الطاقة الحرارية إلى الهواء؛ إذ لا يوجد عازل لإبقائها في الدورق، ويدل على ذلك زيادة درجة حرارة الهواء.

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.

ذلك ممكن؛ لأن الماء عند القاع أقرب إلى مصدر الحرارة.

2. كوِّن فرضية لاستنتاج التغيرات في درجة الحرارة إذا كان لديك الكميات الآتية من الماء في الدورق:
250 ml ، 50 ml.

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. افترض أنك عزلت الدورق المستخدم، فكيف تتأثر قابلية الدورق للتسخين أو التبريد؟

سيسخن وسيبرد ببطء أكثر.

الفيزياء في الحياة

1. افترض أنك استخدمت زيتًا نباتيًّا بدلاً من الماء في الدورق. كوِّن فرضية حول تغيرات درجة الحرارة إذا اتبعت الخطوات نفسها ونفذت التجربة.

يسخن الزيت ويبرد بسرعة أكبر من الماء عمومًا. إن الحرارة النوعية لزيت الكانولا تساوي 2000 J /kg.K تقريبًا مقارنة بالحرارة النوعية للماء التي تساوي 4180 J /kg.K.

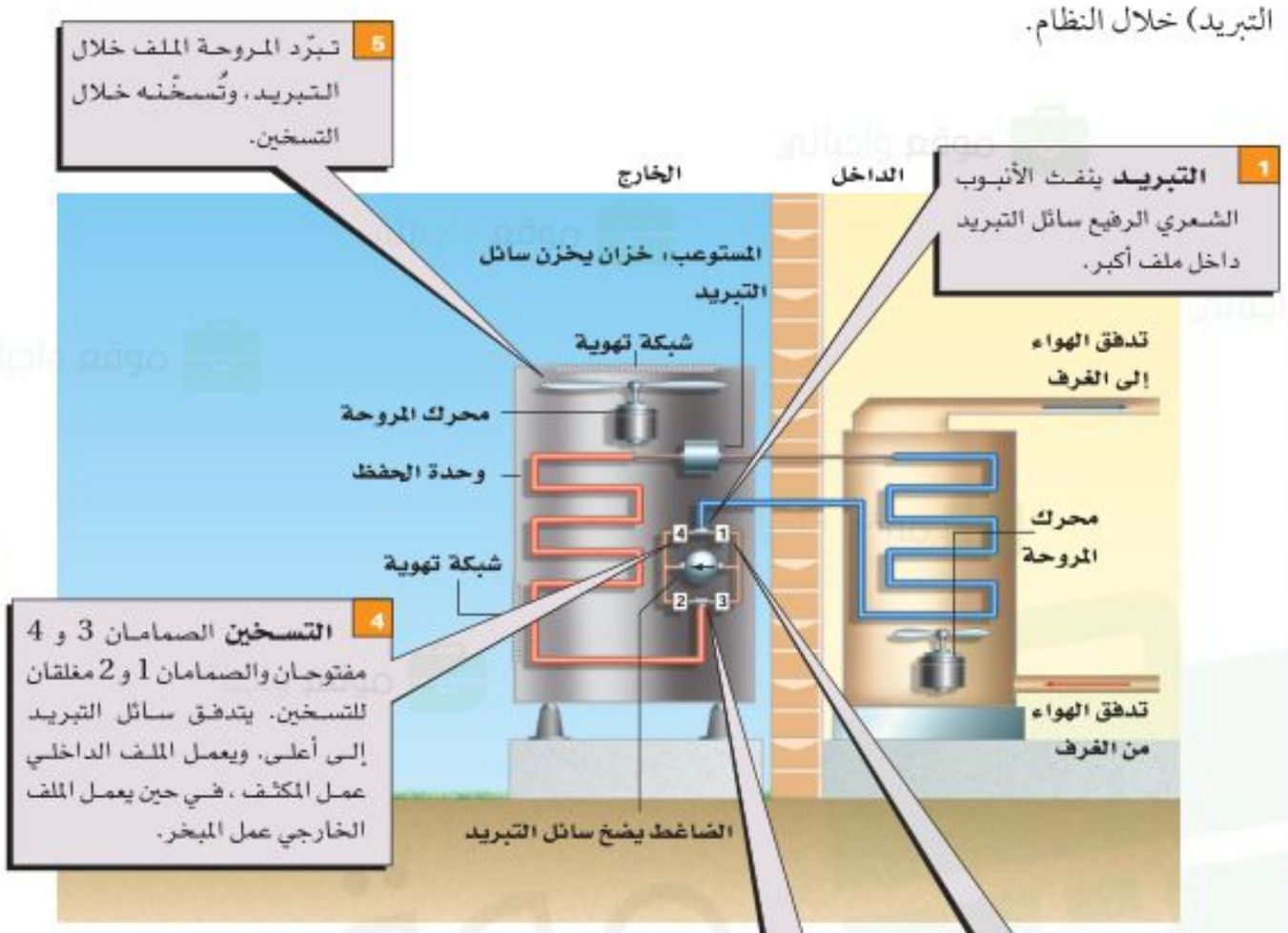
2. إذا أخذت كمية حساء عند درجة حرارة الغرفة، وسخنتها في فرن ميكروويف مدة 3 دقائق، فهل يعود الحساء إلى درجة حرارة الغرفة في 3 دقائق؟ فسّر ذلك.

لا؛ لأنه يتطلب زمنًا أطول حتى يبرد الجسم بعد أن يكون قد تم تسخينه بوساطة مصدر خارجي.

كيف تعمل مضخة الحرارة؟

The Heat Pump

اخترعت مضخات الحرارة عام 1940 م، ويُطلق عليها أيضًا مكيفات الهواء العكسية، وهي تستخدم لتدفئة وتبريد المنازل وغرف الفنادق. وتتحـول مضخات الحرارة من مدافئ إلى مكيفات هواء عن طريق عكـس اتجاه انتقال الحرارة (تدفق التبريد) خلال النظام.



التفكير الناقد

1. **لاحظ** تتبع تدفق سائل التبريد خلال النظام في حالتي التسخين والتبريد، مبتدئًا من الضاغط.

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. **حلّل** هل تكون مضخة الحرارة قادرة على التسخين داخل المنزل عندما تنخفض درجة الحرارة الخارجية إلى مستويات باردة جدًّا؟

إن الحرارة المزودة بوساطة المضخة الحرارية تنتزع من الهواء الموجود خارج المنزل. ولا تستطيع المضخة الحرارية غالبًا في درجات الحرارة الباردة جدًّا مواكبة متطلبات سكان المنـزل 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.

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية Temperature and Thermal Energy

المفردات

- الطاقة الحرارية
- التوصيل الحراري
- الاتزان الحراري
- الحرارة
- الحمل الحراري
- الإشعاع الحراري
- الحرارة 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 سلسيوس 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.

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

- الحرارة النوعية هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1kg من المادة بمقدار 1k.
- يمكن أن تتدفق الحرارة في النظام المغلق والمعزول، وينتج عن ذلك تغير الطاقة الحرارية لأجزاء النظام، ولكن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة. $E_A + E_B = \text{ثابت}$

6–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية Changes of State and The Laws of Thermodynamics

المفردات

- الحرارة الكامنة للانصهار
- الحرارة الكامنة للتبخر
- القانون الأول في الديناميكا الحرارية
- المحرك الحراري
- الإنتروبي
- القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

المفاهيم الرئيسة

- الحرارة الكامنة للانصهار هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1kg من المادة الصلبة إلى حالتها السائلة عند نقطة انصهارها. $Q = mH_f$
- الحرارة الكامنة للتبخر هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 kg من المادة السائلة إلى حالتها الغازية عند نقطة غليانها. $Q = mH_v$
- انتقال الحرارة خلال تغير حالة المادة لا يغير درجة حرارتها.
- إن التغير في طاقة جسم ما هو مجموع الطاقة المضافة إليه مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم.

$$\Delta U = Q - W$$

- يحوّل المحرك الحراري الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية باستمرار.
- تستخدم مضخة الحرارة والمبردة (الثلاجة) الطاقة الميكانيكية لنقل الحرارة من الحيز الذي درجة حرارته أقل إلى الحيز الذي درجة حرارته أكبر.
- الإنتروبي هو قياس للفوضى في النظام. $\Delta S = \frac{Q}{T}$
- يعرف التغير في الإنتروبي لجسم ما على أنه مقدار الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارته بالكلفن.

موقع واجباتي

الفصل 6 التقويم

خريطة المفاهيم

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

إتقان المفاهيم

36. وضح الاختلافات بين الطاقة الميكانيكية لكرة ما، وطاقتها الحرارية، ودرجة حرارتها. (1–6)

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

37. هل يمكن وجود درجة حرارة للفراغ؟ وضح ذلك. (1–6)

لا؛ لأنه لا يوجد في الفراغ جسيمات ليكون لها طاقة.

38. هل جميع الجزيئات أو الذرات في السائل لها السرعة نفسها؟ (1–6)

لا، يوجد توزيع لسرعات الذرات أو الجزيئات.

39. هل يُعد جسم الإنسان مقياسًا جيدًا لدرجة الحرارة؟ تشعر في يوم شتاء بارد، أن مقبض الباب المعدني أبرد من المقبض الخشبي. فسر ذلك. (1–6)

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

40. عند تدفق الحرارة من جسم ساخن ملامس لجسم بارد، هل يحدث للجسمين التغير نفسه في درجات الحرارة؟ (1–6)

تتغير درجتا حرارة الجسمين اعتمادًا على كتلتيهما وعلى السعة الحرارية النوعية لهما. وليس بالضرورة أن يكون تغير درجة الحرارة هو نفسه لكل منهما.

41. هل تستطيع إضافة طاقة حرارية إلى جسم دون زيادة درجة حرارته؟ فسر ذلك. (2–6)

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

42. عندما يتجمد الشمع، هل يمتص طاقة أم يبعث طاقة؟ (2–6)

عندما يتجمد الشمع تنبعث منه طاقة.

الفصل 6
التقويم

43. فسر لماذا يبقى الماء في القربة المحاطة بقماش رطب باردًا أكثر من حالة عدم وجود القماش؟ (2-6)

عندما يتبخر الماء الذي في القماش في الهواء الجاف فإنه يمتص كمية طاقة تتناسب مع الحرارة الكامنة لتبخره؛ لذا تبرد القربة. ويحدث هذا إذا كان الهواء جافا فقط، أما إذا كان الهواء رطبا فلن يتبخر الماء.

44. أي العمليات تحدث في ملفات مكيف الهواء الموجودة داخل المنزل: التبخر أم التكثف؟ وضح ذلك. (2-6)

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

تطبيق المفاهيم

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

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

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

الميثانول؛ لأن له سعة حرارية نوعية أقل.

يتولد ΔT أكبر لكتلة معينة وانتقال حرارة معينة، حيث إن:

$$Q = mC\Delta T$$

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

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

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

لأنهما يمتصان الحرارة الكامنة لتبخر كل منهما من الجلد عند تبخرهما.

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

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موقع واجباتي

إتقان حل المسائل

6–1 درجة الحرارة والطاقة الحرارية

50. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 50.0 g من الماء من درجة حرارة 4.5 °C إلى درجة حرارة 83.0 °C؟

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0500\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(83.0°\text{C} - 4.5°\text{C})$$

$$= 1.64\times10^{4}\ \text{J}$$

51. يمتص قالب من المعـــدن كتلته 5.0×10^{2} g كمية من الحرارة مقدارها 5016 J عندما تتغير درجة حرارته من 20.0 °C إلى 30.0 °C. احسب الحرارة النوعية للمعدن.

$$Q = mC\Delta T$$

لذا فإن

$$C = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$= \frac{5016\ \text{J}}{(5.0\times10^{-1}\ \text{kg})(30.0°\text{C} - 20.0°\text{C})}$$

$$= 1.0\times10^{3}\ \text{J/kg.°C}$$

$$= 1.0\times10^{3}\ \text{J/kg.K}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444

موقع واجباتي

52. فنجان قهوة وضع فنجان قهوة زجاجي كتلته $4.00 \times 10^2 g$ ودرجة حرارته $20.0°C$ في وعاء تسخين درجة حرارته $80.0°C$ كما في **الشكل 19-6**. فأصبحت درجة حرارة الفنجان مساوية لدرجة حرارة الوعاء. احسب كمية الحرارة التي امتصها الفنجان؟ افترض أن كتلة وعاء التسخين كبيرة بما يكفي، فلا تتغير درجة حرارته بشكل ملحوظ.

الشكل 19-6

$$Q = mC\Delta T = (0.4kg)(840J/kg.c)(80 - 20) = 20160J$$

53. 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 الحرارة النوعية للتنجستن.

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

أو

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

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

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

54. خُلطت عينة كتلتها 6.0×10^2 g من الماء عند درجة 90.0 °C بعينة ماء كتلتها 4.0×10^2 g عند 22.0 °C. فإذا افترضت عدم فقدان أي حرارة للمحيط، فما درجة الحرارة النهائية للخليط؟

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

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

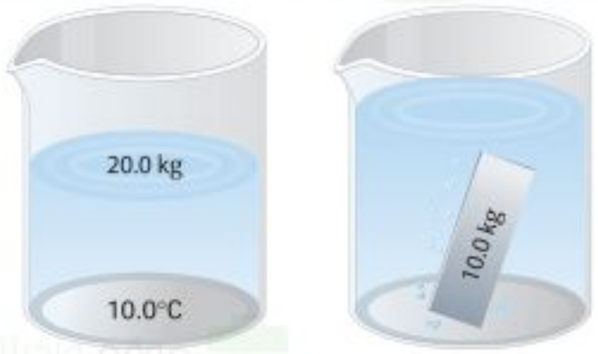
$$T_f = \frac{m_A T_{Ai} + m_B T_{Bi}}{m_A + m_B} =$$

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

$$= 63°\text{C}$$

تقويم الفصل 6

55. وضعت قطعة خارصين في وعاء ماء كما في **الشكل 20–6**. 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 20–6

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

$$= \frac{(10.0\ \text{kg})(388\ \text{J/kg.K})(71.0°\text{C}) + (20.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})(10.0°\text{C})}{(10.0\ \text{kg})(388\ \text{J/kg.K}) + (20.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})}$$

$$= 12.7°\text{C}$$

56. 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 (باللتر) الذي ترتفع حرارته من درجة حرارة الغرفة (20.0 °C) إلى درجة الغليان (100.0 °C) إذا اكتسب طاقة مقدارها $2\ 9 \times 10^5$ J

حيث تمثل ρ كثافة المادة

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

لذا فإن:

$$V = \frac{Q}{\rho C\Delta T} = \frac{2.9\times10^5\ \text{J}}{(1.00\ \text{kg/L})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 20.0°\text{C})}$$

$$= 0.87\ \text{L}$$

57. سخان الماء يستخدم سخان ماء قدرته $3.0 \times 10^5\ W$ لتسخين قدح ماء كما في **الشكل 21–6**. ما مقدار الزمن اللازم لجعل الماء يغلي، إذا كان القدح مصنوعًا من الزجاج وكتلته $3.0 \times 10^2\ g$ ويحتوي $250\ g$ من الماء عند $15\ °C$؟ افترض أن درجة حرارة القدح مساوية لدرجة حرارة الماء، وأنه لن يفقد الحرارة إلى الهواء.

الشكل 21–6

$$Q = m_{\text{الزجاج}}\, C_{\text{الزجاج}}\, \Delta T_{\text{الزجاج}} + m_{\text{الماء}}\, C_{\text{الماء}}\, \Delta T_{\text{الماء}}$$

ولكن

$$\Delta T_{\text{الزجاج}} = \Delta T_{\text{الماء}}$$

لذا فإن

$$Q = (m_{\text{الزجاج}}\, C_{\text{الزجاج}} + m_{\text{الماء}}\, C_{\text{الماء}})\, \Delta T$$

$$= ((0.300\ \text{kg})\ (840\ \text{J/kg.°C}) + (0.250\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C}))(100.0\ °\text{C} - 15\ °\text{C})$$

$$= 1.1 \times 10^5\ \text{J}$$

والآن

$$P = \frac{E}{t} = \frac{Q}{t}$$

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{1.1 \times 10^5\ \text{J}}{3.0 \times 10^2\ \text{J/s}}$$

$$= 370\ \text{s} = 6.1\ \text{min}$$

58. **محـرك الســيارة** يحتوي محرك ســيارة حديــد كتلته $2.50 \times 10^2\ kg$ كما يحتوي على ماء للتبريد. افترض أن درجة حرارة المحرك لحظة توقفه عن العمل $35.0\ ^\circ C$، ودرجة حرارة الهواء $10.0\ ^\circ C$. فما مقدار كتلة الماء المستخدمة لتبريد المحرك، إذا كانت كمية الحرارة الناتجة عن المحرك والماء داخله عندما يبردان ليصلا إلى درجة حرارة الهواء هي $4.40 \times 10^6\ J$؟

$$Q = m_{\text{ماء}}\, C_{\text{ماء}}\, \Delta T + m_{\text{الحديد}}\, C_{\text{الحديد}}\, \Delta T$$

$$m_{\text{ماء}} = \frac{Q - m_{\text{الحديد}}\, C_{\text{الحديد}}\, \Delta T}{C_{\text{ماء}}\, \Delta T}$$

$$= \frac{(4.40\times10^6\ J) - ((2.50\times10^2\ kg)(450\ J/kg.^\circ C)(35.0^\circ C - 10.0^\circ C))}{(4180\ J/kg.^\circ C)(35.0^\circ C - 10.0^\circ C)}$$

$$= 15\ kg$$

6–2 تغيرات حالة المادة وقوانين الديناميكا الحرارية

59. كانت إحدى طرائق التبريد قديمًا تقتضي استخدام قالب من الجليد كتلته $20.0\ kg$ يوميًّا في صندوق الجليد المنزلي. وكانت درجة حرارة الجليد $0.0\ ^\circ C$ عند استلامه. فما مقدار كمية الحرارة التي يمتصها القالب في أثناء انصهاره؟

$$Q = mH_f = (20.0\ kg)(3.34\times10^5\ J/kg) = 6.68\times10^6\ J$$

موقع واجباتي

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

$$Q = mH_v$$

$$H_v = \frac{Q}{m} = \frac{9870\ \text{J}}{0.0400\ \text{kg}} = 2.47 \times 10^5\ \text{J/kg}$$

61. تحركت سيارة كتلتها 750 kg بسرعة 23 m /s ثم توقفت بالضغط على المكابح. فإذا احتوت المكابح على 15 kg من الحديد الذي يمتص الحرارة. فما مقدار الزيادة في درجة حرارة المكابح؟

تحولت الطاقة الحركية للسيارة خلال توقفها إلى طاقة حرارية، لذا فإن:

$$\Delta KE_C + Q_B = 0.0$$

حيث ترمز C إلى السيارة، و B إلى المكابح

$$\Delta KE_C + m_B C_B \Delta T = 0.0$$

لذا فإن:

$$\Delta T = \frac{-\Delta \text{KE}_C}{m_B C_B} = \frac{-\frac{1}{2} m_C (v_f^2 - v_i^2)}{m_B\, C_B}$$

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

$$= 29°\text{C}$$

62. ما مقدار كمية الحرارة المضافة إلى كتلة 10.0 g من الجليد عند درجة 20.0 °C– لتحويلها إلى بخار ماء عند درجة 120.0 °C؟

كمية الحرارة التي تتطلبها كتلة الجليد لتصبح درجة حرارتها 0.0°C تساوي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(2060\ \text{J/kg.°C})(0.0°\text{C} - (-20.0°\text{C}))$$

$$= 412\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها صهر الجليد تساوي

$$Q = mH_f$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(3.34\times10^5\ \text{J/kg})$$

$$= 3.34\times10^3\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها تسخين الماء إلى درجة 100.0°C تساوي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(100.0°\text{C} - 0.0°\text{C})$$

$$= 4.18\times10^3\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها غلي الماء تساوي

$$Q = mH_v$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(2.26\times10^6\ \text{J/kg})$$

$$= 2.26\times10^4\ \text{J}$$

كمية الحرارة التي يتطلبها تسخين البخار إلى درجة 120.0°C تساوي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (0.0100\ \text{kg})(2060\ \text{J/kg.°C})(120.0°\text{C} - 100.0°\text{C})$$

$$= 404\ \text{J}$$

كمية الحرارة الكلية تساوي

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

موقع واجباتي

63. تتحرك قذيفة من الرصاص كتلتها 4.2 g بسرعة 275 m/s فتصطدم بصفيحة فولاذية وتتوقف، فإذا تحولت طاقتها الحركية كلها إلى طاقة حرارية دون فقدان أي شيء منها، فما مقدار التغير في درجة حرارتها؟ افترض أن الحرارة كلها بقيت في الرصاصة وأن مادتها هي الرصاص.

بما أن الطاقة الحركية قد تحولت إلى طاقة حرارية فإن $\Delta KE + Q = 0$، لذا فإن

$$\Delta KE = -m_{\text{القذيفة}}\, C_{\text{القذيفة}}\, \Delta T$$

و

$$\Delta T = \frac{-\Delta KE}{m_{\text{القذيفة}}\, C_{\text{القذيفة}}} = \frac{-\frac{1}{2}\, m_{\text{القذيفة}}\, (v_f^2 - v_i^2)}{m_{\text{القذيفة}}\, C_{\text{القذيفة}}}$$

ومن ثم تختصر كتلة القذيفة فنحصل على:

$$\Delta T = \frac{-\frac{1}{2}(v_f^2 - v_i^2)}{C_{\text{القذيفة}}}$$

$$= \frac{-\frac{1}{2}((0.0\ \text{m/s})^2 - (275\ \text{m/s})^2)}{130\ \text{J/kg.°C}}$$

$$= 290°\text{C}$$

تقويم الفصل 6

64. ينتج كل 100 ml من مشروب خفيف طاقة مقدارها 1.7 kJ، فإذا كانت العلبة منه تحتوي على 375 ml، وشربت فتاة العلبة وأرادت أن تفقد مقدار ما شربته من الطاقة من خلال صعود درجات سلم، فما مقدار الارتفاع الذي ينبغي أن تصعد إليه الفتاة إذا كانت كتلتها 65.0 kg؟

اكتسبت الفتاة من المشروب الخفيف طاقة مقدارها

$$(3.75)(1.7\ \text{kJ}) = 6.4\times10^{3}\ \text{J}$$

ومن مبدأ حفظ الطاقة فإن

$$E + \Delta PE = 0$$

أو

$$6.4\times10^{3}\ \text{J} = -mg\Delta h$$

لذا فإن

$$\Delta h = \frac{6.4\times10^{3}\ \text{J}}{-mg} = \frac{6.4\times10^{3}\ \text{J}}{-(65.0\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 1.0\times10^{1}\ \text{m}$$

مراجعة عامة

65. ما كفاءة المحرك الذي ينتج 2200 J /s عندما يحرق من البنزين ما يكفي لإنتاج 5300 J /s؟ وما مقدار كمية الحرارة الضائعة التي ينتجها المحرك كل ثانية؟

$$\text{الكفاءة} = \frac{W}{Q_H}\times 100$$

$$= \frac{2200\ \text{J}}{5300\ \text{J}}\times 100$$

$$= 42\%$$

الحرارة الضائعة تساوي

$$5300\ \text{J} - 2200\ \text{J} = 3100\ \text{J}$$

تقويم الفصل 6

66. **مكبس أختام** تبذل آلة أختام معدنية في مصنع 2100 J من الشغل في كلّ مرة تختم فيها قطعة معدنية. ثم تغمس كل قطعة مختومة في حوض يحتوي 32.0 kg من الماء للتبريد. فما مقدار الزيادة في درجات حرارة الحوض في كل مرة تغمس فيها قطعة معدنية مختومة؟

لو افترضنا أن القطعة المعدنية المختومة قد امتصت من الآلة مقدارًا من الشغل يساوي 2100 J على شكل طاقة حرارية، فإن الحوض يجب أن يمتص 2100 J على شكل حرارة من كل قطعة. لم يُبذل أيّ شغل على الماء، ويحدث انتقال حرارة فقط. ويحسب التغير في درجة حرارة الماء بالمعادلة التالية:

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

لذا فإن

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

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

$$= 0.016°\text{C}$$

67. تحركت سيارة كتلتها 1500 kg بسرعة 25 m /s، ثم توقفت تمامًا عن الحركة بعد ضغط سائقها على المكابح. ما مقدار التغير في درجة حرارة المكابح إذا أودعت كامل طاقة السيارة في المكابح المصنوعة من الألومنيوم والتي كتلتها 45 kg؟

التغير في طاقة السيارة يساوي

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

إذا تحولت هذه الطاقة جميعها إلى شغل في المكابح فإن

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

لذا فإن

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

$$= \frac{4.7\times10^5\ \text{J}}{(45\ \text{kg})(897\ \text{J/kg.°C})}$$

$$= 12°\text{C}$$

تقويم الفصل 6

68. الشاي المثلج لتصنع الشاي المثلج تمزجه بالماء الساخن، ثم تضيف إليه الجليد. فإذا بدأت بمقدار 1.0 L من الشاي عند درجة 90 °C، فما أقل كمية من الجليد يتطلبها تبريده إلى درجة 0 °C؟ وهل من الأفضل ترك الشاي يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد إليه؟

الحرارة التي يفقدها الشاي

$$Q = mC\Delta T$$

$$= (1.0\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.K})(90°\text{C})$$

$$= 376\ \text{kJ}$$

كمية الجليد المنصهر

$$m = \frac{Q}{H_f}$$

$$= \frac{376\ \text{kJ}}{334\ \text{kJ}} = 1.1\ \text{kg}$$

لذا تحتاج إلى جليد أكثر قليلاً من الشاي، ولكن هذه النسبة ستقلل من تركيز الشاي، لذا دع الشاي يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل إضافة الجليد.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 6

69. وضع قالب من النحاس عند 100.0 °C ملامسًا قالبًا من الألومنيوم عند 20.0 °C، كما في **الشكل 22–6**. ما الكتل النسبية للقالبين إذا كانت درجة الحرارة النهائية لهما 60.0 °C؟

■ **الشكل 22–6**

الحرارة التي يفقدها النحاس تساوي الحرارة التي يكتسبها الألومنيوم.

ومقدار التغير في درجة حرارة النحاس تساوي 40.0°C−،

في حين أن مقدار التغير في درجة حرارة الألومنيوم تساوي 40.0°C+ ؛ لذا فإن

$$m_{\text{النحاس}} C_{\text{النحاس}} = m_{\text{الألومنيوم}} C_{\text{الألومنيوم}}$$

$$\frac{m_{\text{النحاس}}}{m_{\text{الألومنيوم}}} = \frac{C_{\text{الألومنيوم}}}{C_{\text{النحاس}}}$$

$$= \frac{897\ \text{J/kg.K}}{385\ \text{J/kg.K}} = 2.3$$

لقالب النحاس كتلة أكبر 2.3 مرة من كتلة قالب الألومنيوم.

موقع واجباتي

70. ينزلق قالب من النحاس كتلته 0.53 kg على سطح الأرض، ويصطدم بقالب مماثل يتحرك في الاتجاه المعاكس بمقدار السرعة نفسه. فإذا توقف القالبان بعد الاصطدام، وازدادت درجة حرارتهما بمقدار 0.20 °C نتيجة التصادم، فما مقدار سرعتيهما قبل الاصطدام؟

التغير في الطاقة الحرارية للقالبين تساوي

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

$$= (1.06\ \text{kg})(385\ \text{J/kg.°C})(0.20°\text{C})$$

$$= 82\ \text{J}$$

لذا فإن 82 J تساوي الطاقة الحركية للقالبين قبل التصادم.

$$82\ \text{J} = (2)\left(\frac{1}{2}\right)mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{82\ \text{J}}{0.53\ \text{kg}}}$$

$$= 12\ \text{m/s}$$

موقع واجباتي

71. ينزلق قالب من الجليد كتلته 2.2 kg على سطح خشن. فإذا كانت سرعته الابتدائية 2.5 m /s وسرعته النهائية 0.5 m /s، فما مقدار ما ينصهر من قالب الجليد نتيجة للشغل المبذول بفعل الاحتكاك؟

الشغل المبذول بفعل الاحتكاك يساوي سالب التغير في الطاقة الحركية للقالب، وذلك مع افتراض عدم انصهار كمية كبيرة من القالب.

$$\Delta KE = \frac{1}{2}(2.2\ \text{kg})(0.50\ \text{m/s})^2 - \frac{1}{2}(2.2\ \text{kg})(2.5\ \text{m/s})^2 = -6.6\ \text{J}$$

لذا فإن 6.6+ J قد أضيفت إلى الجليد. وتحسب كمية الجليد المنصهر بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{KE}{H_f}$$

$$= \frac{6.6\ \text{J}}{3.34\times10^5\ \text{J/kg}}$$

$$= 2.0\times10^{-5}\ \text{kg}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 6

التفكير الناقد

72. حلّل ثم استنتج ينتزع محرك حراري معين 50.0 J من الطاقة الحرارية من مستودع حار عند درجة حرارة $T_H = 545\ K$، ويبعث 40.0 J من الحرارة إلى مستودع بارد عند درجة حرارة $T_L = 325\ K$. كما يعمل على نقل الإنتروبي من مستودع إلى آخر أيضًا خلال العملية.

a. كيف يعمل المحرك على تغيير الإنتروبي الكلي للمستودعين؟

ينتزع المحرك في أثناء عمله الطاقة من المستودع الحار، لذا فإن

$$\Delta S_H = \frac{Q_H}{T_H}$$

ومن ثم فإن الإنتروبي للمستودع الحار يقل.

أما الإنتروبي للمستودع البارد $\Delta S_L = \frac{Q_L}{T_L}$ **فيزداد.**

$$\Delta S_L = \frac{Q_L}{T_L}$$

ومحصلة الزيادة في الإنتروبي للمستودعين معًا تساوي

$$\Delta S_T = \Delta S_L - \Delta S_H$$

$$= \frac{Q_L}{T_L} - \frac{Q_H}{T_H}$$

$$\Delta S_T = \frac{40.0\ J}{325\ K} - \frac{50.0\ J}{545\ K}$$

$$= 0.0313\ J/K$$

b. ماذا سيكون تغير الإنتروبي الكلي في المستودعين إذا كانت $T_L = 205\ K$؟

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

ازداد التغير الكلي في الإنتروبي في المستودعين وفي الكون بمعامل يساوي 3 تقريبًا.

73. **حلّل ثم استنتج** تزداد عمليات الأيض للاعبي كرة القدم خلال اللعبة بمقدار 30.0 W. ما مقدار العرق الذي يجب أن يتبخر من اللاعب كل ساعة ليبدد هذه الطاقة الحرارية الإضافية؟

كمية الطاقة الحرارية التي تبدّدت خلال 1.00 h تساوي

$$U = (30.0\ \text{J/s})(1\text{h})(3600\ \text{s/h}) = 1.08\times10^5\ \text{J}$$

كمية الماء (العرق) التي يجب أن تتبخّر تساوي

$$m = \frac{Q}{H_v}$$

$$= \frac{1.08\times10^5\ \text{J}}{2.26\times10^6\ \text{J/kg}}$$

$$= 0.0478\ \text{kg}$$

موقع واجباتي

74. حلّل ثم استنتج يستخدم الكيميائيون المسعر لقياس كمية الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية. فعلى سبيل المثال، يذيب كيميائي 1.0×10^{22} جزيئًا من مسحوق مادة في مسعر يحتوي 0.5 kg من الماء، فتتحطم الجزيئات وتتحرّر طاقة ربطها ليمتصها الماء، فتزداد درجة حرارة الماء إلى 2.3 °C. ما مقدار طاقة الربط لكل جزيء مع هذه المادة؟

كمية الطاقة المضافة إلى الماء تساوي

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

$$= (0.50\ \text{kg})(4180\ \text{J/kg.°C})(2.3°\text{C})$$

$$= 4.8\ \text{kJ}$$

مقدار الطاقة لكل جزيء يساوي

$$\frac{4.8\ \text{kJ}}{10^{22}\ \text{جزيء}} = 4.8 \times 10^{-19}\ \text{J/جزيء}$$

موقع واجباتي

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

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

الكتابة في الفيزياء

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

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

موقع واجباتي

77. للماء حرارة 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؟

إن السعة الحرارية النوعية الكبيرة والحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر الكبيرتين تعني أن الماء في حالاته الثلاث: الماء والجليد والبخار يمكنه أن يخزن كمية كبيرة من الطاقة الحرارية دون أن يَحدث تغير كبير في درجات حرارته. وآثار ذلك كثيرة؛ فالمحيطات والبحيرات الكبيرة تلطف من تغيرات درجة الحرارة في المناطق المجاورة على نحو يومي وموسمي. ويكون التغير في درجة الحرارة بين النهار والليل بالقرب من البحيرة أقل كثيرًا من التغير في درجة الحرارة بين الليل والنهار في الصحراء. وتحدّ الحرارة الكامنة للانصهار الكبيرة للماء من تغير المواسم في القطبين الشمالي والجنوبي. ويبطئ امتصاص الماء للطاقة – عندما يتجمد الماء في الخريف وتحريرها في الربيع – من تغيرات درجة الحرارة في الغلاف الجوي. كما يمتص الماء ويخزن كمية كبيرة من الطاقة عند تبخره، وهذه الطاقة الحرارية هي التي تؤدي إلى تغيرات الطقس المتطرفة مثل العواصف الرعدية والأعاصير.

مراجعة تراكمية

78. ترفع رافعة كتلة مقدارها 180 kg إلى ارتفاع 1.95 m. ما مقدار الشغل الذي تبذله الرافعة لرفع الكتلة؟ (الفصل 4)

$$W = mgh$$

$$= (180\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.95\ \text{m})$$

$$= 3.4 \times 10^3\ \text{J}$$

79. في عرض للقوة طُلب إلى مجموعة من الجنود الأشداء دحرجة صخور كتلة كل منها 215 kg إلى أعلى تل ارتفاعه 33 m، فإذا كان بإمكان أحد المشـــاركين توليد قدرة متوســـطها 0.2 kW، فكم صخرة خلال 1 h يستطيع أن يدحرج إلى أعلى التل؟ (الفصل 5)

مقدار الشغل اللازم لدحرجة صخرة واحدة إلى أعلى يساوي

$$W = mgh = (215\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(33\ \text{m})$$

$$= 70000\ \text{J}$$

ينجز هذا المشارك في ساعة واحدة شغلاً مقداره

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

وقد دحرج إلى أعلى التل عددًا من الصخور يساوي

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

موقع واجباتي

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي تحويلات درجات الحرارة الآتية 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 المسعرية.

(D) عندما لا يكون جسمان في حالة اتزان فإن الحرارة ستتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد منه.

4. ما كمية الحرارة اللازمة لتسخين 87 g من الميثانول المتجمد عند 14 K إلى بخار عند 340 K؟ (درجة انصهاره $-97.6\ ^\circ C$، درجة غليانه $64.6\ ^\circ C$، افترض أن الحرارة 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 صحيح؟

(A) يزيد تجميد الماء من طاقته حيث يكتسب ترتيبًا جزيئيًّا باعتباره تحوَّل إلى مادة صلبة.

(B) كلما كانت الحرارة النوعية للمادة أكبر زادت درجة حرارة انصهارها.

(C) حالات المادة ذات الطاقة الحركية الأكبر يكون لها إنتروبي أكبر.

(D) لا يمكن أن تزداد الطاقة والإنتروبي في الوقت نفسه.

6. ما مقدار كمية الحرارة اللازمة لتدفئة 363 ml من الماء في زجاجة أطفال من $24\ ^\circ C$ إلى $38\ ^\circ C$؟

(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.

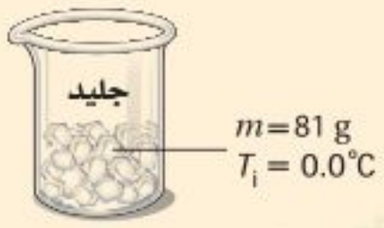
(C) الإنتروبي يزداد في كل مرحلة.

(D) مضخة الحرارة تستخدم طاقة.

اختبار مقنن

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

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



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

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

الأسئلة الممتدة

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

للصهـر: 152 kJ؛ للتبخـر: 1030 kJ ؛ يتطلـب التحويـل إلى بخـار طاقـة أكـبر بمقدار 878 kJ. للتسخين: 190 kJ؛ إن الفرق في الطاقة بين الحالتين أكبر من الطاقة التي يتطلبها تسخين الماء في الحالة السائلة.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

موقع واجباتي

دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\propto$	يتناسب مع	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$=$	يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$\approx$	تقريبًا يساوي	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\cong$	تقريبًا يساوي		
$\leq$	أقل من أو يساوي		
$\geq$	أكبر من أو يساوي		
$<<$	أقل جدًّا من		
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعتبر الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

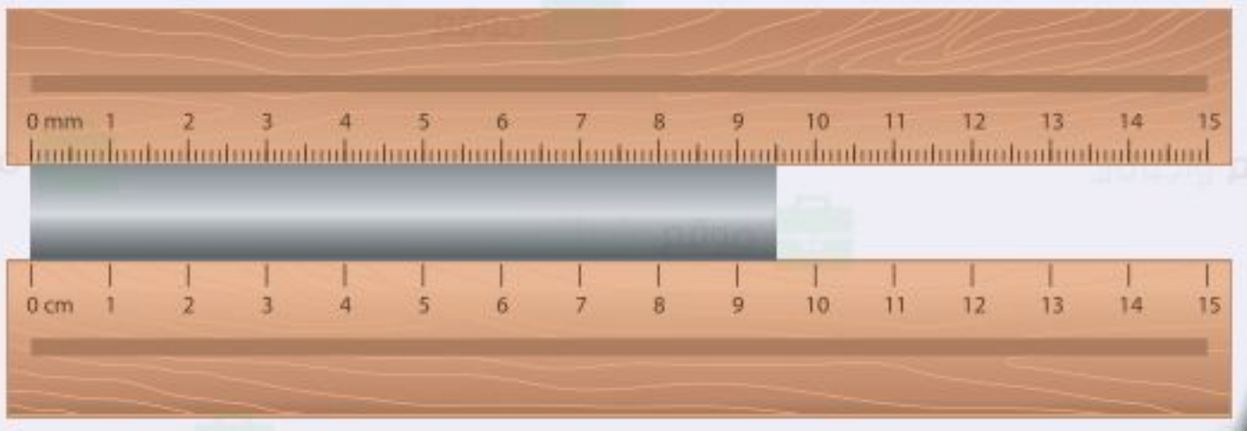
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية 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



دليل الرياضيات

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:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

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

1. 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:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

موقع واجباتي

دليل الرياضيات

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ومن 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. 1405 m (2) **c.** 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2) **d.** 12.007 kg (3)

موقع واجباتي

دليل الرياضيات

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.** $54\ \text{m} \div 6.5\ \text{s}$

موقع واجباتي