القسم 3-5

علاقةُ الحرارةِ بالشغل

Relationship between heat and work

الحرارةُ والشغلُ والطاقةُ الداخلية

تذكّرْ مما سبقَ كيف يؤدي سحبُ مسمارٍ من قطعةٍ خشبية، كما في الشكل 5-12، إلى رفعِ درجةِ حرارةِ المسمار. يؤدي الشغلُ المبذولُ للتغلُّبِ على الاحتكاكِ بين المسمارِ والخشبِ إلى زيادةِ طاقةِ ذرّاتِ الحديدِ في المسمارِ وفي جزيئاتِ الخشب. يؤدي هذا الارتفاعُ في طاقةِ حركةِ الجسيماتِ إلى ارتفاعٍ في الطاقةِ الداخليةِ للمسمارِ والخشبِ عند سطحَيْ تلامسِهما.

وما دامت حالةُ المادةِ لم تتغيَّرْ، فإن درجةَ حرارتِها تزدادُ مع ازديادِ طاقتِها الداخلية. ويؤدي ارتفاعُ الطاقةِ الداخليةِ لسطحِ المسمارِ إلى ارتفاعٍ في درجةِ حرارتِه، فتصبحُ أعلى من درجةِ الحرارةِ داخلَ المسمار، ونتيجةً لذلك تنتقلُ الطاقةُ من سطحِ المسمارِ إلى داخلِه. يتوقفُ هذا الانتقالُ الحراريُّ عندما تصلُ جميعُ نقاطِ المسمارِ إلى اتزانٍ حراريّ.

رأينا أن الشغلَ المبذولَ لسحبِ المسمارِ من الخشبِ يؤدي إلى ارتفاعٍ في طاقةِ المسمارِ الداخلية. وينتقلُ جزءٌ من هذه الطاقةِ إلى الخشبِ على شكلِ حرارة. وتصيرُ درجةُ الحرارةِ النهائيةُ للخشبِ والمسمارِ أعلى من درجةِ حرارتِهما الابتدائية. يدلُّ هذا الازديادُ في درجةِ الحرارةِ على أن الطاقةَ الداخليةَ لكلٍّ من الخشبِ والمسمارِ ارتفعتْ نتيجةً للشغلِ المبذولِ عليهما.

لاحظْ أن هذا الوصفَ يتطلبُ تعريفًا أدقَّ للطاقةِ بالمقارنةِ مع التعريفِ الواردِ في الفصلِ 5 من الصفِّ العاشر. إن الطاقةَ الميكانيكيةَ التي أضيفتْ إلى المسمارِ والخشبِ لا تكونُ محفوظةً في هذه الحالة. إن مبدأَ حفظِ الطاقةِ المقدَّمَ في الفصلِ 5 من الصفِّ العاشرِ لم يأخذْ في الاعتبارِ التغيُّراتِ في الطاقةِ الداخليةِ ولا الطاقةَ التي يتمُّ تبادلُها كحرارةٍ وفقَ ما رأينا في القسمين 5-1 و 5-2. وإنه لمن المفيدِ أحيانًا تعميمُ مبدأِ حفظِ الطاقةِ لكي يشتملَ على الطاقةِ الداخليةِ والحرارة.

استخدامُ الحرارةِ لإنتاجِ الشغل

يمكنُ للشغلِ أن يعطيَ الطاقةَ لمادةٍ معينةٍ ويرفعَ بالتالي طاقتَها الداخلية. كما يمكنُ خفضُ الطاقةِ الداخليةِ بنقلِ الطاقةِ من المادةِ على شكلِ حرارة. ويمكن أيضًا حصولُ العكس، إذ يمكنُ للطاقةِ أن تنتقلَ إلى المادةِ على شكلِ حرارةٍ أو أن تنتقلَ منها على شكلِ شغل.

افترضْ أن بالونًا قد ثُبّتَ عند فوهةِ وعاءٍ زجاجيٍّ فيه ماء، وأن الوعاءَ قد سُخّنَ إلى أن يغليَ الماءُ الذي بداخلِه. تؤدي الطاقةُ المنتقلةُ من اللهبِ على شكلِ حرارةٍ إلى ازديادِ الطاقةِ الداخليةِ للماء. وعندما تصلُ درجةُ حرارةِ الماءِ إلى الغليان يتحوَّلُ الماءُ إلى بخار. وعند درجةِ الحرارةِ هذه يزدادُ حجمُ البخار، ويؤدي تمددُ البخارِ إلى قوةٍ تدفعُ

3-5 مؤشراتُ الأداء

- يتحقّقُ من أنه يمكنُ لنظامٍ معيّنٍ أن يأخذَ أو يعطيَ الطاقةَ على شكلِ حرارةٍ بحيث يُبذَلُ الشغلُ على النظامِ أو بواسطتِه، وأن الشغلَ المبذولَ بواسطةِ النظامِ أو عليه يمكنُ أن يؤدي إلى تبادلِ الطاقةِ كحرارة.
- يحسبُ كميةَ الشغلِ المبذولةِ خلالَ عمليةٍ ديناميكا حرارية.
- يميّزُ بين عمليات الديناميكا الحرارية الأديباباتية أو الأيزوثرمية أو عند حجمٍ ثابت.

الشكل 5-12

يزيدُ الشغلُ المبذولُ الطاقةَ الداخليةَ لسطحِ المسمار. تنتقلُ الطاقةُ من سطحِ المسمارِ كحرارة.

القسم 3-5

مخطط القسم 5-3: علاقة الحرارة بالشغل

الوقت المطلوب: حصتان (90 دقيقة)

الحصة 7

ركِّز: 5 دقائق

اسأل المتعلمين أن يصفوا العمليات الحرارية التي تحصل عند وضع وعاء معدني فيه ثلج في ماء ساخن. (تنتقل الطاقة على شكل حرارة من الماء إلى الوعاء بواسطة جزئيات الماء التي تتصادم مع ذرات الوعاء المعدني. مع انخفاض طاقة جزئيات الماء بشكل تدريجي، ترتفع طاقة جزئيات الثلج والوعاء إلى أن تصبح طاقة حركة جميع الجزئيات متساوية بشكل عام.)

حفِّز: 10 دقائق

إيضاح 3

الشغل والحرارة

الهدف: يوضح إمكانية تحويل الطاقة الداخلية إلى طاقة حركة.

المواد: محول حراري – كهربائي مع مروحة، أربع أكواب بلاستيكية رغوية، مياه مثلجة، مياه ساخنة، ميزان حرارة.

الطريقة: إملأ كوبين بالماء البارد والكوبين الآخرين بالماء الساخن. قِس درجة حرارة الماء في كل كوب وسجّل القيم على اللوح. دع الأكواب مغلقة لمنع تبريدها أو تسخينها بواسطة الوسط المحيط. اظهر للمتعلمين أن المروحة غير موصولة بأي مصدر كهربائي. اسأل المتعلمين عما إذا كان بإمكان هذه الأكواب من الماء تشغيل المروحة (أ) بوضع طرفي مقبسها في الكوبين الباردين (ب) أو بوضعهما في الكوبين الساخنين (ج) أو بوضع أحدهما في الماء البارد والآخر في الماء الساخن. سجّل مقترحاتهم على اللوح ثم حاول التحقق من كل خيار. تعمل المروحة في الحالة الثالثة (ج) فقط. دع المروحة تعمل إلى أن تتباطأ ثم تتوقف. قِس درجة حرارة الماء في كل كوب وسجل القيم على اللوح. اسأل المتعلمين عن الاستنتاجات التي توصلوا إليها بناءً على ملاحظتهم. (استخدمت الطاقة الداخلية للماء في تشغيل المروحة. يسمح الفرق في درجة الحرارة بنقل الطاقة الداخلية على شكل حرارة إلى طاقة كهربائية. تشغّل الطاقة الكهربائية المروحة باستخدام محرّك. لذلك فإن الطاقة الداخلية تحولت إلى طاقة حركة).

القسم 3-5

درس: 30 دقيقة

فكرة مفيدة في التعليم

تعتبر تجربة جيمس جول من أوائل التجارب التي تظهر التكافؤ بين الحرارة والشغل. في تلك التجربة المعروفة يقوم دولاب مزوَّد ببدّالات (فراشات) بالدوران تحت تأثير أجسام ساقطة. عند وضع الدولاب في الماء، يُبذل شغل على الماء بواسطة قوة الاحتكاك بين الدولاب والماء. نتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة الماء. لاحظ الفيزيائي جول أن ارتفاع درجة الحرارة يتناسب طرديًّا مع الطاقة المبذولة. في هذه التجربة استُخدِمَ الشغل المبذول على النظام لرفع طاقته الداخلية وذلك برفع درجة حرارته. في مثال الهواء الذي ينفخ البالون والمذكور في هذه الصفحة تحصل العملية المعاكسة حيث يقوم الهواء المتمدد ببذل الشغل فتنخفض طاقته الداخلية.

احذر الخطأ المفهومي

عادة ما يخلط المتعلمون بين المفاهيم الواردة في هذا الفصل. يُساعد النقاش، ضمن المجموعات الصغيرة، المتعلمين على مراجعة وترتيب مفهومهم للحرارة والشغل والضغط ودرجة الحرارة وحجم الغاز. اسألهم عن طريقة استخدامهم للأوعية المختلفة (الصلبة أو الليّنة، العازلة للحرارة أو غير العازلة) لضبط هذه المتغيرات.

الشكل 5-13
الطاقة المتبادلة كحرارة تحوّلُ الماء إلى بخار. تبذلُ طاقةُ البخار شغلاً ضدّ القوى المؤثرة في البالون من الخارج.

النظام
كمية من المادة ضمن حدود واضحة ومحددة لا يمكنُ للمادة الانتقال من خلالها.

الوسطُ المحيط
كلُّ شيءٍ خارجَ النظام يمكنُ أن يؤثرَ في النظام أو يتأثر به.

البالونَ بعكس قوة الضغط الجويّ. كما في **الشكل 5-13**، يبذّلُ البخارُ شغلاً على البالون وتنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ للبخار، كما هو متوقع، نتيجةً لمبدأ حفظ الطاقة.

انتقالُ الحرارةِ والشغل كطاقةٍ من النظام وإليه

إن الشغلَ والحرارةَ متشابهان بحسب وجهة النظر المجهرية، وليس أيٌّ منهما من خصائص المادة، بل هما نوعان من أنواع الطاقة التي يتمُّ نقلُها من المادة أو إليها. فتتغيرُ بذلك طاقتُها الداخلية. يظهرُ هذا التغيرُ في الطاقة الداخلية بدلالة التغيُّر في درجة حرارة المادة أو في حالتها.

لقد تمَّ، حتى الآن، التعاملُ مع الطاقة الداخلية لمادةٍ أو مجموعةٍ من المواد ككمية مستقلة يمكنُ أن تضافَ إليها الطاقةُ أو تؤخذَ منها. هذه المادةُ أو المجموعةُ من المواد تسمّى **النظام** system. تكونُ جميعُ أجزاء النظام في حالة اتزان حراريٍّ فيما بينها قبل أو بعد أيّ عملية تبادلٍ للطاقة.

أحدُ أمثلة النظام هو الوعاءُ والماءُ والبالونُ والبخارُ الذي تمّ تسخينُهُ بواسطة اللهب. مع انتقال الطاقة كحرارة إلى النظام ترتفعُ طاقتُهُ الداخلية. عندما يتمددُ البخار، وهو جزءٌ من النظام، تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ للنظام بالتمدد وبذل شغل على البالون. جزءُ الطاقة الذي انتقلَ إلى النظام على شكل حرارة خرجَ من النظام على شكل شغل بذلَهُ البالونُ على الهواء المحيط به.

ومع أن النظامَ يُعتبرُ في الغالب معزولاً، فإنه في كثير من الحالات يتفاعلُ مع الوسط المحيط به. ففي المثال أعلاهُ قامَ تبادلٌ حراريٌّ بين اللهب، وكانَ شغلٌ بذلَهُ النظامُ على الوسط المحيط حيث دفعَ البالونُ الهواءَ الخارجيَّ نحو الخارج، كما انتقلت الطاقةُ أيضًا على شكل حرارة إلى الهواء المحيط بالوعاء نتيجةً للفرق في درجة الحرارة بين الوعاء والهواء المحيط به. يسمّى الوسطُ الذي يحيطُ بالنظام ويتفاعلُ معه **الوسطَ المحيط** environment.

علاقةُ الشغل المبذول بالضغط وتغيُّر الحجم

لقد تمَّ تعريفُ الشغل، في الفصل 5 من الصفّ العاشر، كحاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم في إزاحة الجسم في اتجاه تلك القوة. يُعرَّفُ الشغلُ الديناميكيُّ الحراريُّ ببساطة على أنه حاصلُ ضربِ ضغط الغاز في التغيُّر الحاصل في حجمه. يمكنُ الحصولُ على هذا التعريف انطلاقًا من التعريف السابق باستخدام تعريف الضغط (حاصلُ قسمة القوة على المساحة) والتغيُّر في الحجم (حاصلُ ضرب المساحة والإزاحة).

تعريف الشغل بدلالة تغيُّر الحجم

$$W = Fd$$

الشغل = القوة × الإزاحة

$$W = Fd\left(\frac{A}{A}\right) = \left(\frac{F}{A}\right)(Ad) = P\Delta V$$

الشغل = الضغط × التغيُّر في الحجم

القسم 3-5

مثال 5 (د)، **ك ط**، ص 169، «الشغل المبذول على غاز أو بواسطته»، يوضح هذا المثال طريقة حساب الشغل المبذول على غاز باستخدام الضغط وتغيُّر الحجم.

تمرين صفي

يمكن إنجاز هذا التمرين بشكل فريقي أو كتجربة إيضاحية يستخدم فيها اللوح أو جهاز إسقاط علوي.

المسألة

الشغل المبذول بواسطة الغاز أو عليه

تبلغ مساحة مقطع المكبس في الشكل 5-14 $0.20\ m^2$. يدفع وزن مقداره 400.0 N المكبس إلى أسفل مسافة 0.15 m ويضغط الغاز داخل الأسطوانة. ما الضغط المبذول على الغاز.

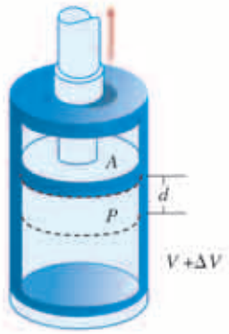
الجواب: 2.0×10^3 Pa

ما مقدار انخفاض حجم الغاز؟

الجواب: $0.030\ m^3$

عندما يكونُ الضغطُ ثابتًا، يمكنُ كتابةُ الشغل هكذا $P\Delta V$ بدلاً من $\Delta(PV)$. إذا تمدَّدَ الغازُ، كما في **الشكل 5-14**، تكونُ ΔV موجبةً إذ يقومُ الغازُ ببذلِ شغلٍ على المكبس. وإذا ضُغِطَ الغازُ تكونُ ΔV سالبةً ويكونُ الشغلُ المبذولُ بواسطةِ الغازِ على المكبسِ سالبًا (أي إن المكبسَ يبذلُ شغلاً على الغاز). إذا بقيَ حجمُ الغازِ ثابتًا، لا يكونُ هناك إزاحة، ثم إنه لا يُبذَلُ شغلٌ لا بواسطةِ النظامِ ولا عليه.

وإن الشغلَ، حتى مع تغيُّرِ الضغطِ خلالَ عمليةٍ معيَّنة، لا يُبذَلُ إلا بتغيُّرِ الحجم. وازديادُ الضغطِ مع بقاءِ الحجمِ ثابتًا يشبهُ حالةَ بذلِ قوةٍ على كتلةٍ دون أن تتسببَ في إزاحتها. فالشغلُ لا يُبذَلُ في كلتا الحالتين.



الشكل 5-14

الشغلُ المبذولُ على الغازِ أو بواسطتِه يساوي حاصلَ ضربِ التغيُّرِ في الحجم (المساحةُ A مضروبةً في الإزاحة d) وضغط الغاز.

مثال 5 (د)

الشغلُ المبذولُ على غازٍ أو بواسطتِه

المسألة

تبلغُ مساحةُ قاعدةِ أسطوانةٍ محرّكٍ $0.010\ m^2$. ما الشغلُ الذي يمكنُ أن يقومَ به الغازُ في داخلِ الأسطوانةِ إذا بذلَ الغازُ على المكبسِ ضغطًا ثابتًا 7.5×10^5 Pa، وأدّى ذلك إلى تحريكِهِ مسافة 0.040 m؟

الحل

المعطى: $A = 0.010\ m^2$ $\quad d = 0.040\ m$

$P = 7.5 \times 10^5\ Pa = 7.5 \times 10^5\ N/m^2$

المجهول: $\Delta V = ?$ $\quad W = ?$

أستخدمُ معادلةَ تغيُّرِ الحجمِ كضربٍ للمساحةِ في المسافة وتعريفَ الشغلِ بدلالةِ تغيُّرِ الحجم.

$$\Delta V = Ad$$

$$W = P\Delta V$$

$$\Delta V = (0.010\ m^2)(0.040\ m) = 4.0 \times 10^{-4}\ m^3$$

$$W = (7.5 \times 10^5\ N/m^2)(4.0 \times 10^{-4}\ m^3) = 3.0 \times 10^2\ J$$

الشغلُ المبذولُ بواسطةِ الغاز $= 3.0 \times 10^2$ J

أجـــوبة

تطبيق 5 (د)

الشغل المبذول على غاز أو بواسطته

1. أ. 6.4×10^5 J
   ب. -4.8×10^5 J
2. -167.5 J، الشغل مبذول على الغاز لأن تغيُّر الحجم سالب.
3. 3.3×10^2 J
4. 2.0×10^5 P

فكرة مفيدة في التعليم

اشرح للمتعلمين لماذا نركِّز في ما تبقى من الفصل على العمليات الديناميكية الحرارية للغازات. أخبرهم أن لكل المواد (الصلبة والسائلة والغازية) طاقة داخلية وهي حاصل جمع طاقتي الحركة والوضع لكل جزيئاتها. إلا أن الغازات الأحادية الذرة تعتبر حالة بسيطة للدراسة لأن طاقتها الداخلية مجرّد طاقة حركة (جزيئات هذه الغازات متباعدة بحيث لا يكون التفاعل فيما بينها ملحوظًا).

فكرة مفيدة في التعليم

وضِّح أن حفظ أي من الضغط أو الحجم أو درجة الحرارة أو الطاقة الداخلية عند قيمة ثابتة يبسّط المسألة ويقلّل من عدد المتغيرات.

قف احذر الخطأ المفهومي

أكِّد للمتعلمين أن السيارة المقفلة هي مجرد تقريب لمفهوم النظام، إذ أن فتحات نوافذها ومكيف هوائها يسمح لبعض الهواء بالتسرّب بين داخل السيارة وخارجها.

تطبيق 5 (د)

الشغل المبذول على غاز أو بواسطته

1. يبلغ ضغطُ الغازِ في وعاءٍ 1.6×10^5 Pa، وحجمُهُ $4.0\ m^3$. ما الشغلُ المبذولُ بواسطةِ الغازِ
   أ. إذا تمدَّدَ تحت ضغطٍ ثابتٍ حتى تضاعَفَ حجمُهُ الابتدائيُّ؟
   ب. إذا قلَّ حجمُهُ تحت ضغطٍ ثابتٍ إلى ربعِ حجمِهِ الابتدائيِّ؟
2. أُدخِلَتْ كميةٌ من الغازِ في أسطوانةٍ مزوَّدةٍ بمكبسٍ. تمَّ الحفاظُ على ضغطٍ ثابتٍ قيمتُهُ 599.5 Pa بينما دُفِعَ المكبسُ إلى الداخلِ بحيث انخفضَ حجمُ الغازِ من $5.317 \times 10^{-4}\ m^3$ إلى $2.523 \times 10^{-4}\ m^3$. ما الشغلُ المبذولُ؟ أهو مبذولٌ بواسطةِ الغازِ أم عليه؟ وضِّحْ إجابتك.
3. نُفِخَ بالونٌ لعبةٌ بغازِ الهيليوم تحت ضغطٍ ثابتٍ يفوقُ الضغطَ الجويَّ بمقدارِ 4.3×10^5 Pa. إذا ازدادَ حجمُ البالونِ من $1.8 \times 10^{-4}\ m^3$ إلى $9.5 \times 10^{-4}\ m^3$، فكم يكونُ الشغلُ الذي يبذلُهُ غازُ الهيليوم على البالون؟
4. ينتقلُ البخارُ إلى أسطوانةٍ في محرِّكٍ بخاريٍّ تحت ضغطٍ ثابتٍ بحيثُ يبذلُ 0.84 J من الشغلِ على المكبسِ. يبلغُ قطرُ المكبسِ 1.6 cm، وهو يتحركُ مسافةَ 2.1 cm في الشوطِ الواحد. ما ضغطُ البخار؟

عمليات الديناميكا الحرارية

في هذا القسمِ تمَّ الربطُ بين ثلاثِ كمياتٍ مختلفةٍ بعضُها عن بعض، هي الطاقةُ الداخليةُ U، والحرارةُ Q، والشغلُ W. لكن لا يُشترَطُ ظهورُ كلٍّ منها في أيِّ عمليةٍ ديناميكيةٍ حرارية. يمكنُ بذلُ الشغلِ في بعضِ العملياتِ مع تغيُّرٍ في الطاقةِ الداخليةِ من دون تبادلِ الطاقةِ كحرارة. وفي حالاتٍ أخرى تتغيَّرُ الطاقةُ الداخليةُ عندما يتمُّ تبادلُ الطاقةِ كحرارةٍ من دون بذلِ أيِّ شغل. إلا أن العملياتِ التي تشتملُ على تبادلٍ حراريٍّ فقط، أو على بذلِ شغلٍ فقط، هي نادرة. في معظمِ الحالاتِ يتمُّ تبادلُ الطاقةِ بين النظامِ ومحيطِهِ على شكلِ حرارةٍ وشغل. ويمكنُ وصفُ العملياتِ الحقيقيةِ كتقريبٍ لإحدى العملياتِ المثالية.

عدمُ بذلِ الشغلِ في عمليات الحجمِ الثابت

افترضْ أن سيارةً رُكِنَتْ في موقفِ سياراتٍ في يومٍ حارّ، وأبوابُها ونوافذُها مقفلة. ترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ للنظامِ (داخل السيارة) حيث تنتقلُ الطاقةُ إليها على شكلِ حرارةٍ من الهواءِ الحارِّ في الموقف. يُحافظُ تصفيحُ السيارةِ الفولاذيُّ وزجاجُها المحكَمُ على حجمٍ ثابتٍ للسيارةِ تقريبًا. وعليهِ لا يُبذَلُ شغلٌ على النظام، لأن كلَّ التغيُّراتِ في الطاقةِ الداخليةِ للنظامِ ناتجةٌ من تبادلِ الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ فقط.

بشكلٍ عام، عندما تتغيَّرُ درجةُ حرارةِ غازٍ من دون تغيُّرٍ في حجمِه، لا يتمُّ بذلُ أيِّ شغلٍ على الغاز، ولا بواسطتِه. وكلُّ عمليةٍ كهذه تسمّى **العملية عند حجم ثابت** isovolumetric process.

وكمثالٍ آخرَ للعملياتِ عند حجمٍ ثابتٍ ندرسُ ما يحصُلُ داخلَ المسعِّرِ التفجيري، كما في **الشكل 5-15**. يتألفُ هذا الجهازُ من وعاءٍ سميكٍ يشتملُ على كميةٍ قليلةٍ من مادةٍ تتعرضُ لتفاعلٍ احتراقي. تؤدي الطاقةُ الناتجةُ من التفاعلِ إلى رفعِ ضغطِ الغازاتِ

العملية عند حجم ثابت

عمليةٌ ديناميكيةٌ حراريةٌ تتمُّ عند حجمٍ ثابتٍ ولا يتمُّ فيها أيُّ تبادلٍ للشغلِ مع النظام.

واجب منزلي

- **تطبيق 5 (د)، ك ط**، ص 170، «الشغل المبذول على غاز أو بواسطته»، عيِّن الأسئلة 1-4.
- **مراجعة القسم، ك ط**، ص 173، عيِّن الأسئلة 1 و 3.
- **مراجعة الفصل، ك ط**، ص 185، عيِّن الأسئلة 1-3، 7، 10-11.
- **ك ت ط**، ص 39، المسألة 5 (هـ)، «الشغل المبذول بواسطة الغاز»، يستخدم المتعلمون المسألة 5 (هـ) لحل مسائل متعددة حول الشغل المبذول على غاز أو بواسطته.

القسم 5-3

الحصة 8

درّس

استراتيجية بصرية

الشكل 5-15

وضّح أن الغازات الناتجة من تفاعل احتراق تُحبَس داخل الأسطوانة إلا أنها ليست معزولة حراريًّا عن الماء.

س: ماذا يحصل لدرجة الحرارة والطاقة الداخلية لكل من الغاز والماء بعد تفاعل الاحتراق؟

ج: درجة حرارة الماء وطاقته الداخلية ترتفعان بينما تنخفض درجة حرارة الغاز وطاقته الداخلية.

– الشفافة 16، «المسعّر التفجيري» توضح هذه الشفافة مكوّنات المسعّر التفجيري (الشكل 5-15).

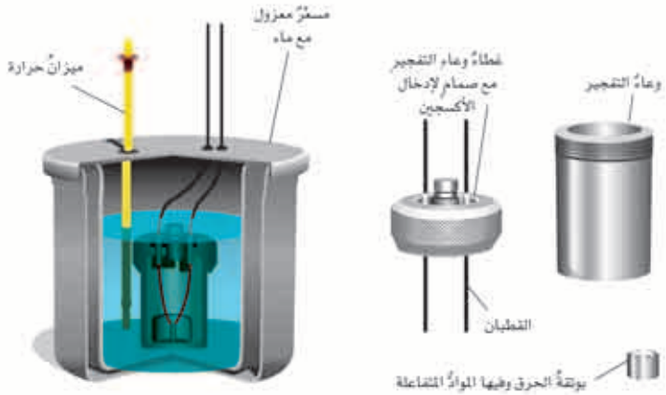
فكرة مفيدة في التعليم

وضّح للمتعلمين أن الكلمة اليونانية «أيزو» تعني «هو نفسه». يفيد ذلك في أن نتذكر أن كلمة أيزوثرمي «تعني عند درجة الحرارة نفسها».

احذر الخطأ المفهومي

قد يتساءل المتعلمون عن سبب تدفق الطاقة إلى البالون أثناء التمدد الأيزوثرمي الذي يعيد اتزان الضغط بين داخل البالون وخارجه. وضّح أن النقص في الطاقة الداخلية هو نقص في الطاقة الحركية لجزئيات المادة، لذلك فإن درجة حرارة البالون تنخفض. نتيجة لهذا الفرق المستحدث في درجة الحرارة، تتسرب الطاقة من الوسط المحيط لإعادة الاتزان الحراري.

– الشفافة 17، «عملية أيزوثرمية». توضح هذه الشفافة الشروط الضرورية لتحقيق عملية قريبة من الأيزوثرمية داخل البالون. (الشكل 5-16 والشكل 5-17).



الشكل 5-15
يكونُ حجمُ المسعّرِ التفجيريّ ثابتًا تقريبًا، ويتمُّ تبادلُ الطاقةِ معه على شكلِ حرارة.

الناتجةِ ودرجةِ حرارتها. ولأن جدرانَ الوعاءِ سميكةٌ لا ينتجُ أيُّ تغيُّرٍ ملحوظٍ في حجمِ الغاز. يمكنُ أن يتمَّ تبادلُ الطاقةِ مع الوعاءِ على شكلِ حرارةٍ فقط. وكما في حالةِ المسعّرِ البسيط، في **القسم 5-2**، يزوّدُنا الازديادُ في درجةِ حرارةِ المياهِ المحيطةِ بالمسعّرِ التفجيريّ بمعلوماتٍ لحسابِ الطاقةِ الكليةِ الناتجةِ عن التفاعل.

ارتباطُ الطاقةِ الداخليةِ بدرجةِ الحرارة

قد تكونُ على اعتقادٍ بأن البالونَ اللعبةَ المنفوخَ نظامٌ ساكن، بينما هو يتعرضُ باستمرارٍ لتأثيراتٍ ديناميكيةٍ حرارية. تخيّلْ ما يحصلُ للبالون خلال عاصفةٍ قادمة. قبل عدةِ ساعاتٍ من وصولِ العاصفةِ ينخفضُ الضغطُ الجويُّ بشكلٍ مطّردٍ حوالي 2000 Pa. إذا كنتَ داخلَ المنزلِ حيث درجةُ الحرارةِ مضبوطة، فإن أي تغيُّرٍ في درجةِ حرارةِ الخارجِ لن يؤثرَ في درجةِ حرارةِ الداخل. لكن بما أن المبانيَ لا تكونُ معزولةً بشكلٍ تامّ، فإن تغيُّراتِ الضغطِ في الخارجِ تُنتجُ تغيُّرًا في الداخلِ أيضًا.

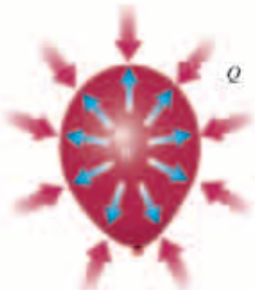
لدى انخفاضِ الضغطِ الجويِّ ببطءٍ داخلَ المبنى، يتمدَّدُ البالونُ ببطءٍ باذلاً شغلاً على الهواءِ خارجَ البالون. في الوقتِ نفسِهِ تتسربُ الطاقةُ إلى البالون على شكلِ حرارة. وتكونُ محصلةُ هاتينِ العمليتينِ بقاءَ درجةِ حرارةِ الهواءِ داخلَ البالون مساويةً لدرجةِ حرارةِ الهواءِ خارجَه. وعليه فإن الطاقةَ الداخليةَ للهواءِ داخلَ البالون لا تتغيّر، لأن الطاقةَ التي يبذُلُها البالونُ على شكلِ شغلٍ يُعوَّضُ عنها بالطاقةِ المتسرِّبةِ إليه كحرارة (انظر **الشكل 5-16**).

تُعتبَرُ هذه الطريقةُ تقريبًا جيدًا لعمليةٍ أيزوثرمية (عند درجةِ حرارةٍ ثابتة). في كلِّ **عمليةٍ أيزوثرمية** isothermal process تبقى درجةُ الحرارةِ ثابتةً ولا يطرأُ أيُّ تغيُّرٍ على الطاقةِ الداخليةِ أثناءَ تبادلِ الطاقةِ مع النظامِ على شكلِ شغلٍ أو حرارة.

قد تَستغرِبُ إمكانيةَ انتقالِ الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ من الهواءِ خارجَ البالون إلى الهواءِ داخلَهُ وهما على درجةِ الحرارةِ نفسِها. نحن نعلمُ أنه إذا لم يوجدْ اختلافٌ في درجةِ الحرارةِ لا يمكنُ أن يوجدَ تبادلٌ للطاقةِ كحرارة. لكن يمكنُ تبادلُ الطاقةِ كحرارةٍ إذا اعتبرنا العمليةَ الإيزوثرميةَ مجموعةً كبيرةً من العملياتِ المتلاحقةِ التي تحققُ تغيُّراتٍ بسيطة، كما في **الشكل 5-17**.

العمليةُ الأيزوثرمية

عمليةٌ ديناميكيةٌ حراريةٌ تحصلُ عند درجةِ حرارةٍ ثابتة، وتبقى خلالها طاقةُ النظامِ الداخليةُ ثابتة.



الشكل 5-16
يمكنُ تحقيقُ عمليةٍ أيزوثرمية (عند درجةِ حرارةٍ ثابتة) بشكلٍ تقريبيٍّ إذا تمَّ انتزاعُ الطاقةِ من نظامٍ على شكلِ شغلٍ وتمَّ التعويضُ عنها بكميةٍ مكافئةٍ من الطاقةِ تتسربُ إليه كحرارة.

القســـم 3-5

فكرة مفيدة في التعليم

يمكن تحقيق عملية قريبة جدًا من الأيزوثرمية عندما يكون الوعاء الذي يحتوي على الغاز موصل جيد للحرارة وصغير الحجم وموضوع في وسط درجة حرارته مضبوطة.

إيضاح 4

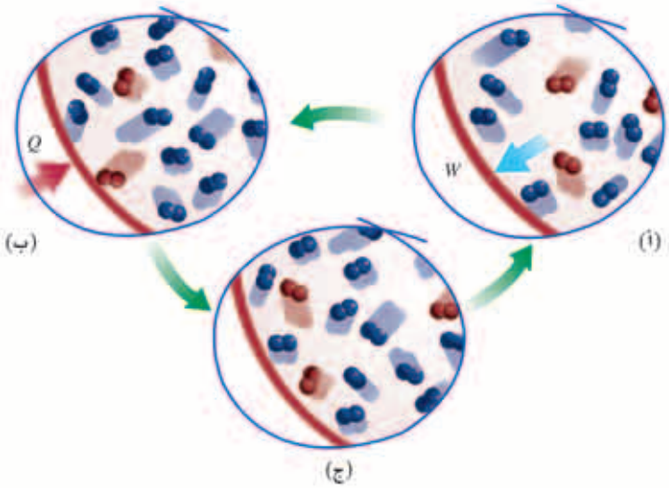
العمليات الأديابَاتية

الهدف: يُظهر أن التمدد السريع لغاز يؤدي إلى انخفاض في درجة الحرارة.

المواد: واحد أو أكثر مما يلي: علبة هيليوم، علبة نيتروجين، طفاية حريق CO_3 (ليس النوع الكيميائي)، علبة CO_2 صغيرة تستخدم لنفخ سترة النجاة.

تحذير: ضع النظارات الواقية لأن الضغط داخل العلب مرتفع جدًا.

الطريقة: دع المتعلمين يلمسون العُلب وفوهاتها للتأكد من أنها عند درجة حرارة الغرفة. افتح فوهة العلب فترة 2-3 s ثم أقفلها. ليلمس المتعلمون الفوّهة ويلاحظوا أنها أصبحت باردة جدًا. أعد التجربة مع عُلب وغازات أخرى إذا توفّرت. اشرح أن هذه الأمثلة قريبة من عمليات أديابَاتية ينخفض فيها الضغط بشكل سريع. نتيجة لذلك يتمدد الغاز بسرعة ويبذل شغلاً على الوسط المحيط به فيفقد من طاقته الداخلية بأسرع مما يمكنه امتصاص الطاقة من الوسط المحيط. لذلك تنخفض درجة حرارة الغاز. لأن العلبة والفوهة مواد موصلة للحرارة، تنتقل الطاقة الداخلية عبر العلبة وفوهتها إلى الغاز البارد في العلبة من أجل الحصول على الاتزان الحراري مجددًا.



الشكل 17-5
خلال عملية أيزوثرمية للبالون، (أ) تنتقلُ كميةٌ قليلةٌ من الطاقة كشغل من سطح البالون الذي ينتفخ قليلاً نتيجةً لتمدُّد الغاز. (ب) يمتصُّ الهواءُ داخل البالون الطاقة على شكل حرارة. (ج) يتحقق الاتزان الحراريُّ بسرعة.

عندما يتمدَّدُ الغازُ داخل البالون تنخفضُ طاقتُهُ الداخليةُ ودرجةُ حرارتِهِ قليلاً. وبمجردِ انخفاضِهما، تنتقلُ الطاقةُ مباشرةً على شكلِ حرارةٍ من الهواءِ الخارجيِّ إلى الهواءِ داخل البالون. نتيجةً لذلك، ترتفعُ قيمةُ كلٍّ من الطاقةِ الداخليةِ ودرجةِ الحرارةِ للهواءِ داخل البالون إلى القيمةِ الأساسية. وبما أن الازديادَ والانخفاضَ يحصلان بسرعةٍ أكبرَ بكثيرٍ من العمليةِ الكاملةِ من تبادلِ الشغلِ والطاقة، تبقى الطاقةُ الداخليةُ للهواءِ داخلَ البالون ثابتةً من الناحيةِ العملية.

هل تعلم؟

إن عدمَ حصولِ تغيُّرٍ في الطاقة الداخلية خلال عمليةٍ أيزوثرمية يصحُّ فقط في الأنظمةِ التي لا تتعرضُ لتغيُّرٍ في حالتِها. عند تغيُّرِ الحالة، كتحوُّلِ الماءِ إلى بخارٍ مثلاً، تبقى درجةُ الحرارةِ ثابتةً بينما ترتفعُ الطاقةُ الداخلية.

العمليةُ الأديابَاتية (المكظومة) وعدمُ انتقالِ الحرارة

عندما تُفتحُ أسطوانةٌ فيها غازٌ مضغوطٌ لنفخِ بالونٍ لعبة، تحصُلُ عمليةُ النفخِ بسرعةٍ كبيرة، وذلك على غيرِ حالةِ الانتفاخِ التدريجيِّ للبالون في العمليةِ الأيزوثرميةِ السابقة. لا تبقى الطاقةُ الداخليةُ ثابتةً في حالةِ النفخِ السريع، لأن ضغطَ الغازِ في الأسطوانةِ ينخفضُ وتنخفضُ معه درجةُ الحرارةِ والطاقةُ الداخلية.

إذا كانت الأسطوانةُ والبالونُ معزولين حراريًّا لا يمكنُ تبادلُ الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ مع الغازِ المتمدِّد، لأن العمليةَ تتمُّ بسرعةٍ كبيرةٍ لا توفِّرُ وقتًا كافيًا لتسربِ الحرارة. وعندما لا يتمُّ تبادلُ الطاقةِ مع النظامِ على شكلِ حرارة، تُسمَّى **العمليةُ أديابَاتية** adiabatic process. لذلك يجبُ أن يكونَ الانخفاضُ في الطاقةِ الداخليةِ مساويًا للطاقةِ المتبادلةِ مع الغازِ على شكلِ شغل. يبذُلُ الغازُ هذا الشغلَ على الجدارِ الداخليِّ للبالون، فيعاكسُ بذلك الضغطَ المبذولَ بواسطةِ الهواءِ الخارجيِّ على البالون. نتيجةً لذلك ينتفخُ البالون، كما في **الشكل 18-5**.

لاحظْ أن التمددَ السريعَ للبالونِ في هذا المثالِ هو أحدُ العملياتِ الأديابَاتيةِ التقريبية. هناك جزءٌ من تبادلِ الطاقةِ يكونُ في الحقيقةِ على شكلِ حرارة، لأن البالونَ والأسطوانةَ ليسا معزولين حراريًّا بشكلٍ كامل. يترافقُ انخفاضُ الطاقةِ الداخليةِ ودرجةِ الحرارةِ للغازِ المتمدِّدِ بسرعةٍ مع انخفاضٍ سريعٍ في درجةِ حرارةِ السطحِ الخارجيِّ

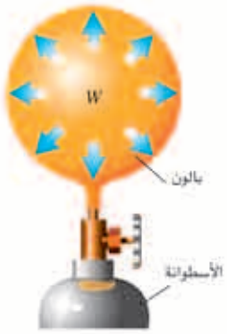
العمليةُ الأديابَاتية
العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي يتمُّ فيها تبادلُ الطاقةِ بين النظامِ والوسطِ المحيطِ على شكلِ شغلٍ فقط، وليس على شكلِ حرارة.

فكرة مفيدة في التعليم

وضِّح أنه يمكن تحقيق العملية الأديابَاتية بطريقتين، إما بداخل وعاء معزول حراريًّا أو بطريقة سريعة لا تسمح بتبادل الطاقة على شكل حرارة مع النظام.

للأسطوانةِ عند تسرُّبِ الغازِ المضغوطِ منها. ومع انتهاءِ التمدُّدِ الأدياباتيّ، ترتفعُ درجةُ حرارةِ الغازِ تدريجيًّا لدى انتقالِ الطاقةِ كحرارةٍ من الهواءِ الخارجيِّ إلى الأسطوانة.

يُستخدَمُ كلٌّ من التمدُّدِ والانضغاطِ الأدياباتيِّ للغازِ في العديدِ من التطبيقات. فالبراداتُ ومحركاتُ الاحتراقِ الداخليّ، كما سترى في القسمِ الثاني، تتطلَّبُ انضغاطًا وتمدُّدًا سريعًا للغازات. ومع الافتراضِ أن العملياتِ الناتجةَ أدياباتية، يصيرُ ممكنًا التنبؤُ بطرقِ عملِ الآلات.



الشكل 5-18

مع التمدُّدِ السريعِ للغازِ بداخلِ الأسطوانةِ والبالون، تنخفضُ الطاقةُ الداخلية. تتسربُ هذه الطاقةُ من النظامِ على شكلِ شغلٍ مبذولٍ على الهواءِ الخارجي.

مراجعةُ القسم 3-5

1. في أيٍّ من الحالاتِ التاليةِ تنتقلُ الطاقةُ إلى النظامِ كحرارةٍ لتمكّنَهُ من بذلِ شغل، وفي أيِّها يُبذَلُ الشغلُ على النظامِ لتنتقلَ الطاقةُ منه على شكلِ حرارة؟
   أ. حَكُّ عصًا بعصًا كي تشتعلَ النار.
   ب. انفجارُ المفرقعاتِ النارية.
   ج. تركُ قضيبٍ حديديٍّ محمًّى ليبرد.

2. ما نوعُ العملياتِ التالية، أهي أيزوثرمية، أم عند حجمٍ ثابت، أم أدياباتية؟
   أ. نفخُ دولابٍ بسرعة.
   ب. نفخُ دولابٍ تدريجًا بواسطةِ تسخينِه.
   ج. تسخينُ دولابٍ موضوعٍ في وعاءٍ معدنيٍّ صلب.

3. وُضِعَ خليطٌ من غازٍ وهواءٍ في أسطوانةٍ محرّكٍ مساحةُ مقطعِها $7.4 \times 10^{-3}\ m^2$. تمتّ إزاحةُ مكبسِ الأسطوانةِ إلى الداخلِ بمقدارِ $7.2 \times 10^{-2}\ m$. إذا كان الضغطُ المبذولُ على المكبسِ $9.5 \times 10^{5}\ Pa$، فما الشغلُ المبذولُ خلالَ العملية؟ هل بُذِلَ الشغلُ بواسطةِ الخليطِ الغازيِّ أم عليه؟

4. **الفيزياءُ في حياتِنا اليومية** يتمدَّدُ بالونٌ لدراسةِ الطقسِ ببطءٍ لدى انتقالِ الطاقةِ إليهِ كحرارةٍ من الهواءِ الخارجي. إذا كان متوسطُ الضغطِ $1.5 \times 10^{3}\ Pa$، والزيادةُ في حجمِ البالونِ $5.4 \times 10^{-5}\ m^3$، فما الشغلُ المبذولُ بواسطةِ الغازِ المتمدِّد؟ أيُّ عمليةٍ ديناميكيةٍ حراريةٍ تمثّلُ هذا الموقف؟

القسم 3-5

استراتيجية بصرية

الشكل 5-18

تأكد من معرفة المتعلمين أن النظام الديناميكي الحراري يشتمل على الهواء في البالون والأسطوانة.

س: ما النظام الذي يخضع للعملية الأدياباتية؟ علل إجابتك.

ج: الغاز داخل الأسطوانة والبالون. كان الغاز في الأساس محصورًا في الأسطوانة ثم تمدد لاحقًا ليشغل الأسطوانة والبالون. لا يتسرب الغاز إلى خارج الأسطوانة والبالون لذلك يصح اعتباره كنظام.

أختم: 10 دقائق

– **ك ت ط**، ص 15، مراجعة القسم 3-5، «علاقة الحرارة بالشغل». تؤكد نشاطات مراجعة المفاهيم المعلومات الأساسية في هذا القسم.

واجب منزلي

– **مراجعة القسم، ك ط**، ص 173، عيِّن الأسئلة 2 و 4.
– **مراجعة الفصل، ك ط**، ص 185، عيِّن الأسئلة 4-6 و 8-9.

مراجعة القسم
أجوبة

1. أ. يُبذل الشغل على العصوين فتنتقل الطاقة منهما على شكل حرارة.
   ب. تنتقل الطاقة كحرارة إلى المفرقعة التي تبذل شغلاً عند انفجارها.
   ج. تنتقل منه الطاقة كحرارة.
2. أ. أدياباتية
   ب. أيزوثرمية
   ج. عند حجم ثابت
3. $-5.1 \times 10^{2}\ J$ على الخليط الغازي.
4. $8.1 \times 10^{-2}\ J$ ، أيزوثرمية

مخطط القسم 4-5: عمليات الديناميكا الحرارية

الوقت المطلوب: حصتان (90 دقيقة)

الحصة 9

ركِّز: 10 دقائق

– الشفافة أ 13، «حفظ الطاقة الكلية».
توضح هذه الشفافة الطاقة الميكانيكية والطاقة الداخلية للعربة الانزلاقية لدى تحركها على المسار الأفعواني المتعرج (الشكل 5-19). غطِّ الرسوم البيانية على الشفافة وأظهر للمتعلمين العربة والمسار فقط. اسألهم أن يصنعوا رسومًا بيانية لمنحنيات KE و PE و U لكل نقطة موضحة على المسار. أظهر الآن الرسوم البيانية على الشفافة وناقش نتائج المتعلمين.

استراتيجية بصرية

الشكل 5-19

وضِّح أن أعمدة KE تمثل طاقة حركة نظام السيارة ـ الكرة الأرضية وأن أعمدة U تمثل حاصل جمع الطاقة الداخلية للسيارة والطاقة الداخلية للمسار.

س: كيف تتغير طاقة الوضع لدى تحرك السيارة صعودًا ونزولاً على المسار؟ كيف يظهر ذلك في أعمدة الطاقة.

ج: تعتمد طاقة الوضع على ارتفاع السيارة فقط. وعليه، تكون PE أعلى ما يمكن عند (b) ثم عند (e) الأقل ارتفاعًا ثم (c) ثم (d) الأقل ارتفاعًا.

س: ارسم عمودًا رابعًا يمثل الطاقة الميكانيكية ME عند النقاط (b) و (c) و (d) و (e). ما علاقة أعمدة ME بأعمدة U؟

ج: يشكل عمود ME الجديد حاصل جمع $KE + PE$ في كل حالة. لذلك فإنه ينخفض من (b) إلى (e) بينما يرتفع عمود U بالمقدار نفسه.

عمليات الديناميكا الحرارية
Thermodynamic processes

4-5 مؤشرات الأداء

- يوضح كيف أنّ القانون الأول للديناميكا الحرارية هو تعبيرٌ عن حفظ الطاقة.
- يحسب الحرارة والشغل والتغيُّر في الطاقة الداخلية بتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية.
- يطبّق القانون الأول للديناميكا الحرارية لوصف العمليات المغلقة (الدورية).

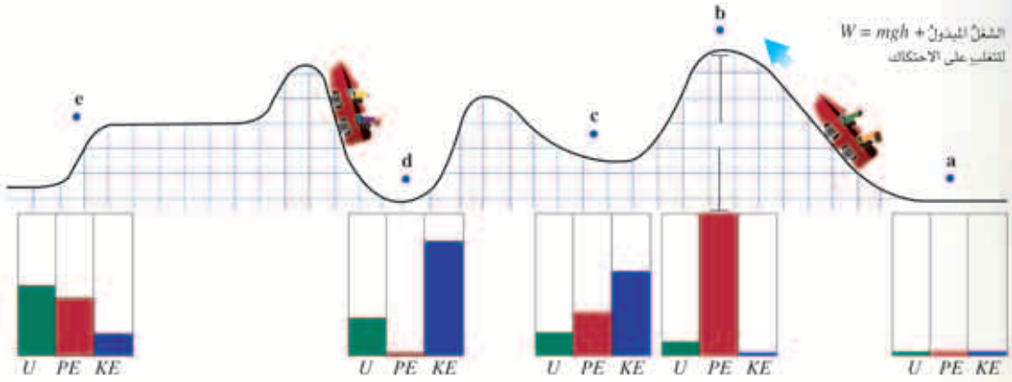
القانونُ الأولُ للديناميكا الحرارية

تخيَّلْ عربةً انزلاقيةً تعملُ بدون احتكاك، ثم بُذِلَ عليها شغلٌ ضدَّ قوةِ الجاذبية، بحيثُ بدأتْ تتحركُ بحريةٍ ولها عندَ أيِّ موقعٍ طاقةُ حركةٍ (KE) وطاقةُ وضعٍ (PE). تكونُ العربةُ أبطأَ عند أعلى المرتفعِ حيثُ تكونُ KE منخفضةً و PE مرتفعة، وأسرعَ عندَ النقاطِ المنخفضةِ حيثُ KE مرتفعةٌ و PE منخفضة. إلاَّ أن الطاقةَ الميكانيكيةَ $PE + KE$ تبقى ثابتةً خلالَ مراحلِ الرحلة.

إذا أخذنا الاحتكاكَ بعينِ الاعتبار، لا تكونُ الطاقةُ الميكانيكيةُ محفوظة، كما في **الشكل 5-19**، إذ يحصلُ تناقصٌ مطردٌ في الطاقةِ الميكانيكيةِ للسيارةِ نتيجةَ لبذلِ شغلٍ نتيجةَ للاحتكاكِ عند محاورِ العجلاتِ وبينَها وبينَ الأرض. يتمُّ انتقالُ جزءٍ من الطاقةِ الداخليةِ للسيارةِ بمقدارٍ يساوي الانخفاضَ في الطاقةِ الميكانيكية. ويتبددُ معظمُ هذهِ الطاقةِ تدريجيًا في الهواءِ المحيطِ بالمسارِ والعربةِ على شكلِ حرارةٍ وصوت. إذا تمَّ أخذُ كلٍّ من الطاقةِ الداخليةِ للسيارةِ (النظام) والطاقةِ المهدورةِ في الهواءِ الخارجيِّ (الوسطِ المحيط) بعينِ الاعتبار، تكونُ الطاقةُ الكليةُ ثابتة.

مبدأُ حفظِ الطاقةِ الذي يأخذُ بعينِ الاعتبارِ الطاقةَ الداخليةَ للنظامِ بالإضافةِ إلى الشغلِ والحرارةِ يُسمَّى «القانونَ الأولَ للديناميكا الحرارية».

تخيَّلْ أنَّ البالونَ اللعبةَ الذي نُفِخَ أيزوثرميًّا في القسمِ السابقِ قد تمَّ ضغطُهُ بسرعة. في هذه الحالة لا تبقى العمليةُ أيزوثرمية، بل تصبحُ عمليتين. في العمليةِ الأولى يتمُّ بذلُ شغلٍ على النظامِ $(W < 0)$



الشكل 5-19

مع وجود الاحتكاك، ترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ للعربةِ مع تناقصِ $PE + KE$

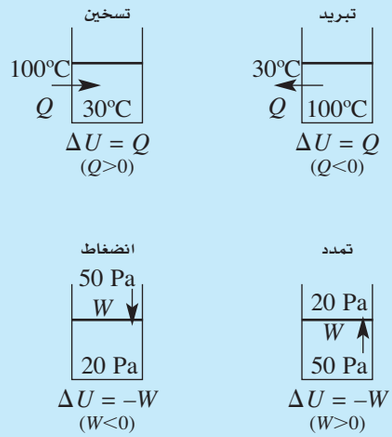
فكرة مفيدة في التعليم

لمعرفة ما إذا كانت الطاقة الداخلية لنظام معين ترتفع أو تنخفض، قد يكون من المفيد تصوّر النظام كدائرة. عندما يبذل الشغل على النظام أو تتسرب إليه الطاقة على شكل حرارة نرسم سهمًا يتجه نحو الدائرة، ما يعني ارتفاعًا في الطاقة الداخلية للنظام. أما عندما يُبذل الشغل بواسطة النظام أو تنتقل الطاقة منه على شكل حرارة فإن السهم ينطلق من الدائرة إلى الخارج ما يعني انخفاضًا في الطاقة الداخلية.

– الشفافة أ 14، «إشارات Q و W لنظام» تلخّص هذه الشفافة إشارات الحرارة والشغل لنظام معين. الجدول 5-5).

نماذج رئيسية ومقارنات

وضّح الأمثلة التالية لتحديد إشارة كل من Q و W في حالات محدّدة. يمكن للمتعلمين اختصار المسائل في حالة واحدة أو حالتين.



فيُضغَطُ البالونُ والهواءُ الذي بداخلِه (النظام) بحيثُ ترتفعُ طاقتُهُ الداخلية. أما الضغطُ السريعُ للبالون (العمليةُ الثانية) فيمكنُ اعتبارُها أديباتيةً حيثُ $Q = 0$. لذلك $\Delta U = -W$.

بعدَ عمليةِ الانضغاطِ تنتقلُ الطاقةُ من النظامِ على شكلِ حرارة (Q). كما ينتقلُ جزءٌ من الطاقةِ الداخليةِ للهواءِ داخلَ البالون إلى الهواءِ الخارجي. خلالَ هذهِ الخطوةِ تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ بحيثُ تكونُ ΔU سالبة. كذلك تكونُ Q سالبةً لأنَّ الطاقةَ تنتقلُ من النظام. ويكونُ التغيُّرُ في الطاقةِ الداخليةِ خلالَ هذهِ الخطوة، حيث يبقى حجمُ الهواءِ داخلَ البالون ثابتًا، مساويًا لـ $-Q$ أو $-\Delta U$ أو $\Delta U = Q$.

تُلخّصُ إشاراتُ كلٍّ من الحرارةِ والشغلِ في **الجدول 5-5**.

الجدول 5-5 إشاراتُ Q و W لنظامٍ معيّن

$Q > 0$	تُضافُ الطاقةُ إلى النظامِ كحرارة	تزدادُ الطاقةُ الداخليةُ إذا كان $W = 0$
$Q < 0$	تتسربُ الطاقةُ من النظامِ كحرارة	تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ إذا كان $W = 0$
$Q = 0$	لا يتمُّ تبادلٌ للطاقةِ كحرارة	لا تغيُّرَ في الطاقةِ الداخليةِ إذا كان $W = 0$
$W > 0$	يُبذَلُ الشغلُ بواسطةِ النظامِ (تمدُّد غاز)	تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ إذا كانت $Q = 0$
$W < 0$	يُبذَلُ الشغلُ على النظامِ (انضغاطُ غاز)	تزدادُ الطاقةُ الداخليةُ إذا كانت $Q = 0$
$W = 0$	لا يُبذَلُ شغل	لا تغيُّرَ في الطاقةِ الداخليةِ إذا كانت $Q = 0$

الصيغةُ الرياضيةُ للقانونِ الأولِ للديناميكا الحرارية

جميعُ عملياتِ الديناميكا الحراريةِ التي تمَّ وصفُها لغايةِ الآن كانت الطاقةُ فيها محفوظة. من أجلِ معرفةِ التغيُّرِ الكليِّ في الطاقةِ الداخليةِ لنظامٍ معيَّن، يجبُ أن نأخذَ بعينِ الاعتبارِ تبادلَ الطاقةِ مع النظامِ على شكلِ حرارةٍ وعلى شكلِ شغل. إنَّ التغيُّرَ الكليَّ في الطاقةِ الداخليةِ هو الفرقُ بين الطاقةِ الداخليةِ النهائية (U_f) والطاقةِ الداخليةِ الابتدائية (U_i). أي إن $\Delta U = U_f - U_i$.

يتطلبُ مبدأُ حفظِ الطاقةِ أن يكونَ التغيرُ الكليُّ للطاقةِ الداخليةِ بين حالةِ الاتزانِ الابتدائيةِ والحالةِ النهائيةِ مساويًا لكميةِ تبادلِ الطاقةِ بشكليها، الشغلِ والحرارة. يسمَّى هذا المبدأُ في حفظِ الطاقةِ الكليةِ القانونَ الأولَ للديناميكا الحرارية.

القانونُ الأولُ للديناميكا الحرارية

$$\Delta U = Q - W$$

التغيُّر في الطاقة الداخلية للنظام = الطاقة المتبادلة مع النظام كحرارة − الطاقة المتبادلة مع النظام كشغل

عندَ استخدامِ هذه المعادلةِ يجبُ أن يكونَ للكمياتِ الثلاثِ وحدةُ القياسِ نفسُها. نستخدمُ في هذا الفصلِ من نظامِ SI وحدةَ قياسِ الطاقةِ وهي الجول.

قف احذر الخطأ المفهومي

قد لا ينتبه المتعلمون إلى أن العلاقة $\Delta U = U_f - U_i$ هي مجرد تعريف مبني على استخدام متعارف عليه للرموز.

– الشفافة أ 15، «القانون الأول للديناميكا الحرارية لبعض العمليات الخاصة». تلخص هذه الشفافة كيفية تطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية للعمليات المشروحة على الصفحتين 175 و 176 (الجدول 5-6).

فكرة مفيدة في التعليم

اطلب إلى المتعلمين تغطية الجدول 5-6 ما عدا العمود الأول وحاول استخلاص أكبر قدر ممكن من المعلومات بناءً على الشروط الابتدائية. فمثلاً في العملية عند حجم ثابت، $\Delta V = 0$. ولأن $W = P\Delta V$، يجب أن تكون W صفرًا. في هذه الحالة تصبح العلاقة $\Delta U = Q - W$ على الصورة $\Delta U = Q$.

اسأل المتعلمين عن الشروط التي يمكن خلالها بذل شغل على الغاز دون تغيير في طاقته الداخلية. (في العملية الأيزوثرمية حيث $\Delta U = 0$).

مثال 5 (هـ)، **ك ط**، ص 176، «القانون الأول للديناميكا الحرارية» يُظهر هذا المثال كيفية حل مسائل حول القانون الأول للديناميكا الحرارية.

وفق القانون الأول للديناميكا الحرارية، يمكنُ إحداثُ تغيير في مقدار الطاقة الداخلية لأحد الأنظمة بتبادل الطاقة كحرارة أو كشغل أو بكليهما. ويمكنُ شرحُ عمليات الديناميكا الحرارية التي تمّ تقديمُها سابقًا وفق القانون الأول للديناميكا الحرارية، كما يلي في الجدول 5-6.

الجدول 5-6 القانونُ الأولُ للديناميكا الحرارية لبعض العمليات الخاصة

العملية	شروطها	القانون الأول للديناميكا الحرارية	تفسير
عند حجم ثابت	لا يُبذل شغل	$\Delta V = 0$، لذلك $P\Delta V = 0$ و $W = 0$. لذلك $\Delta U = Q$	انتقالُ الطاقة للنظام على شكل حرارة $(Q > 0)$ يؤدي إلى ارتفاع في طاقته الداخلية
أيزوثرومية	لا تغيير في درجة الحرارة والطاقة الداخلية	$\Delta T = 0$، لذلك $\Delta U = 0$ وعليه تكونُ $\Delta U = Q - W = 0$ أو $Q = W$	الطاقةُ المنتقلةُ إلى النظام على شكل حرارة تتسربُ منه كشغل. الطاقةُ المنتقلةُ إلى النظام كشغل مبذول عليه تتسربُ منه على شكل حرارة.
أدياباتية	لا تبادلَ للطاقة على شكل حرارة	$Q = 0$ لذلك $\Delta U = -W$	الشغلُ المبذولُ على النظام $(W < 0)$ يؤدي إلى ارتفاع في طاقته الداخلية.
النظامُ المعزول	لا تبادلَ للحرارة أو الشغل بين النظام ووسطه المحيط	$Q = W = 0$ لذلك $\Delta U = 0$ $U_i = U_f$	لا تغيير في طاقة النظام الداخلية

مثال 5 (هـ)

القانونُ الأولُ للديناميكا الحرارية

المسألة

بُذل 135 J من الشغل على غاز في ثلاجة أثناء انضغاطه. إذا ارتفعت الطاقةُ الداخليةُ للغاز خلال العملية بمقدار 114 J، فما الطاقةُ التي تمّ تبادلُها على شكل حرارة؟ أتمّ تزويدُ الغاز بهذه الطاقة أم أُخِذَت منه؟

الحل

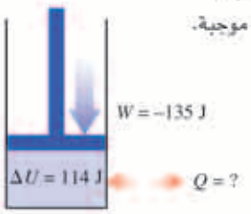
المعطى: $W = -135\ \text{J}$ $\Delta U = 114\ \text{J}$

بما أن الشغلَ قد بُذل على الغاز فـ W سالبة.

وبما أن الطاقة الداخلية ازدادت فـ ΔU موجبة.

المجهول: $Q = ?$

الرسم:



ج. أخطّط

أختارُ معادلة (أو معادلات) أو موقفًا. أطبّقُ القانونَ الأول للديناميكا الحرارية مستخدمًا مقدارَ التغيُّرِ في الطاقةِ الداخلية (ΔU) ومقدارَ الشغلِ (W) المبذول على النظامِ لأجدَ قيمةَ الحرارة (Q).

$$\Delta U = Q - W$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهول:

$$Q = \Delta U + W$$

د. أحسب

أعوّضُ القيمَ في المعادلة وأحلّ:

$$Q = 114\ \text{J} + (-135\ \text{J}) = -12\ \text{J}$$

$$\boxed{Q = -21\ \text{J}}$$

هـ. أقيّم

إن إشارةَ Q سالبة. يفيدُ **الجدول 5-5** أن الطاقةَ قد انتقلت من الغازِ على شكلِ حرارة.

مع أن الطاقةَ الداخليةَ للنظامِ قد ارتفعت نتيجةً للانضغاط، فإن الشغلَ المبذولَ على الغازِ قد زادَ عن مقدارِ ارتفاعِ الطاقةِ الداخلية. لذا ينتقلُ الفرقُ بينهما من الغازِ كحرارةٍ كما تفيدُ إشارةُ Q السالبة.

تطبيق 5 (هـ)

القانونُ الأولُ للديناميكا الحرارية

1. أضيفت الحرارةُ إلى نظامٍ طاقتُهُ الداخليةُ الابتدائية 27 J. إذا بلغت الطاقةُ الداخليةُ النهائيةُ 34 J وبذلَ النظامُ 26 J من الشغل، فما كميةُ الحرارةِ التي اكتسبها النظام؟
2. تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ لغازٍ في أسطوانةِ محرّكٍ بمقدار 195 J. إذا بذلَ الغازُ 52.0 J من الشغل، فما الطاقةُ المتبادلةُ كحرارة؟ هذه الحرارةُ أضيفتْ إلى الغازِ أم أُخذتْ منه؟
3. كميةٌ من الماءِ كتلتُها 2.0 kg حُفظت عند حجمٍ ثابتٍ في قدرٍ ضغطيةٍ تُزوَّدُ بالحرارةِ بواسطةِ سخّان. ترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ للنظامِ بمقدار 8.0×10^3 J، إلا أن القدرَ غيرُ معزولةٍ حراريًّا بشكلٍ كامل، إذ يتسربُ 2.0×10^3 J من الطاقةِ إلى الهواءِ المجاور. ما مقدارُ الطاقةِ المنتقلةِ من السخّانِ إلى القدرِ على شكلِ حرارة؟
4. تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ لغازٍ 344 J. إذا كانت العمليةُ أديباتية، فما الطاقةُ المتبادلةُ كحرارة؟ ما الشغلُ المبذولُ على النظامِ أو بواسطته؟
5. تُحوّلُ غلّايةُ محرّكٍ بخاريٍّ 155 kg من الماءِ بشكلٍ تامٍّ إلى بخار. يلزمُ العمليةَ انتقالُ 3.50×10^8 J من الطاقةِ كحرارة. إذا بذلَ البخارُ المتسرّبُ من صمّامِ أمانٍ 1.76×10^8 J من الشغلِ لدى تمدّدِهِ في اتجاهِ الخارج، فما محصلةُ التغيُّرِ الناتجِ في الطاقةِ الداخليةِ لنظامِ الماء – البخار؟

تمرين صفي

يمكن إنجاز هذا التمرين بشكل فريقي أو كتجربة إيضاحية يستخدم فيها اللوح أو جهاز إسقاط علوي.

المسألة

القانون الأول للديناميكا الحرارية

أُدخلت أسطوانة معدنية صغيرة مزودة بمكبس وتحتوي على غاز في كمية كبيرة من مياه ثلجية بحيث تكون درجة الحرارة الابتدائية للغاز 0°C. كما تُبذل كمية 1200 J من الشغل ببطء بواسطة قوة تدفع المكبس إلى الداخل.

أ. هل هذه العملية أيزوثرمية أو أديباتية أو عند حجم ثابت؟

ب. ما كمية الطاقة المتبادلة كحرارة بين الغاز والمياه الثلجية؟

الجواب:

أ. أيزوثرمية (إن كبر كمية المياه الثلجية وبطء العملية يحفظ الغاز على 0°C).

ب. Q المنتقلة من الغاز إلى المياه الثلجية تساوي 1200 J.

أجوبة

تطبيق 5 (هـ)

القانون الأول للديناميكا الحرارية

1. 33 J
2. 143 J– مأخوذة كحرارة
3. 1.0×10^4 J
4. 0 J ، 344 J مبذولة بواسطة الغاز
5. 1.74×10^8 J

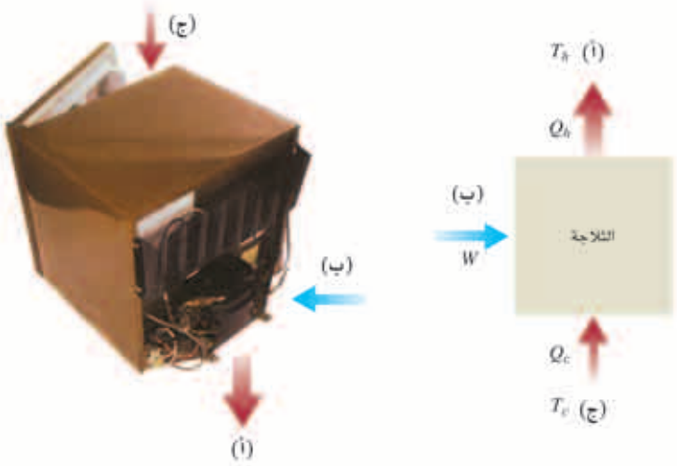
القســـم 4-5

فكرة مفيدة في التعليم

وضِّح أن الثلاجة كنظام تكون على اتصال حراري مع وسطين (داخل الثلاجة والهواء الخارجي) في فترتين مختلفتين من فترات الدورة. خلال هاتين الخطوتين تقوم الثلاجة ببذل الشغل ويُبذل عليها الشغل بطريقتين أديباتيتين. تتحقق النتيجة النهائية، والتي هي سحب كمية حرارة Q_c من داخل الثلاجة وفقد جزء منها Q_h إلى الخارج عندما يبذل المحرك الكهربائي للثلاجة شغلاً لضغط غاز التبريد.

واجب منزلي

- **تطبيق 5 (هـ)، ك ط**، ص 177، «القانون الأول للديناميكا الحرارية»، عيِّن الأسئلة 1-5.
- **مراجعة القسم، ك ط**، ص 182، عيِّن الأسئلة 1، 4 و8.
- **مراجعة الفصل، ك ط**، ص 185-186، عيِّن الأسئلة 12-13، 16-17 و 19-21.
- **ك ت ط**، ص 40، نموذج مسألة 5 (و). «القانون الأول للديناميكا الحرارية»، يستخدم المتعلمون المسألة 5 (و) لحل مسائل تتعلق بالقانون الأول للديناميكا الحرارية.



الشكل 5-20
(ب) تبذل الثلاجة شغلاً (ج) لنقل الطاقة كحرارة من داخل الثلاجة، حيث درجة الحرارة T_c منخفضة إلى (أ) الهواء الخارجي حيث درجة الحرارة T_h مرتفعة.

العملياتُ المقفلة (الدورية)

تبذُلُ الثلاجةُ شغلاً لتحقيق فرقٍ في درجةِ الحرارةِ بين داخلِها وبين الوسطِ المحيط (هواءِ الغرفة). يمكنُ تمثيلُ الثلاجةِ تخطيطيًّا كنظامٍ ينقلُ الطاقةَ من جسمٍ على درجةِ حرارةٍ منخفضة T_c أو $T_{بارد}$ إلى آخرَ على درجةِ حرارةٍ مرتفعة T_h أو $T_{حار}$ (انظر **الشكل 5-20**). تَستخدِمُ الثلاجةُ الشغلَ المبذولَ بواسطةِ محرِّكٍ كهربائيٍّ لضغطِ غازِ التبريد.

تتألفُ هذه العمليةُ التي تقومُ بها الثلاجةُ من أربعِ خطواتٍ أساسية. والنظامُ الذي يتمُّ تبادلُ الحرارةِ معه يتكونُ من غازِ التبريدِ داخلَ أنابيبِ الثلاجة.

يُظهرُ **الشكل 5-21** العمليةَ كاملة. في البدايةِ يكونُ سائلُ التبريدِ على درجةِ حرارةٍ وضغطٍ منخفضين، بحيث يكونُ أبردَ من الهواءِ داخلِ الثلاجة. يمتصُّ المبرِّدُ الطاقةَ من داخلِ الثلاجةِ ويُخفِّضُ درجةَ الحرارةِ في داخلِها. يرفعُ تبادلُ الطاقةُ كحرارةٍ درجةَ حرارةِ سائلِ التبريدِ بحيثُ يبدأُ في الغليان. كما في الخطوة (أ). يتابعُ المبرِّدُ سحبَ الطاقةِ عند درجةِ حرارةِ الغليانِ الثابتةِ إلى أن يتحولَ كاملُ سائلِ التبريدِ إلى بخار. لدى وصولِهِ إلى الحالةِ البخارية، يدخُلُ المبرِّدُ في ضاغط. يبذُلُ الضاغطُ شغلاً على الغازِ فيقلِّلُ من حجمِهِ بدون أيِّ تبادلٍ حراريّ. كما في الخطوة (ب). هذه العمليةُ الأديباتيةُ ترفعُ الضغطَ والطاقةَ الداخليةَ (درجةَ الحرارة) لغازِ التبريد.

وفي الخطوةِ التاليةِ ينتقلُ المبرِّدُ إلى الأجزاءِ الخارجيةِ من الثلاجةِ حيث يتمُّ الاتصالُ الحراريُّ مع هواءِ الغرفة. يقومُ المبرِّدُ بإعطاءِ الطاقةِ للوسطِ المحيطِ الذي هو على درجةِ حرارةٍ أدنى. كما هو موضح في الخطوة (ج). يتكثَّفُ المبرِّدُ الغازيُّ بعدها على ضغطٍ مرتفعٍ ثم يتكثفُ كسائلٍ على درجةِ حرارةٍ ثابتة.

يعودُ السائلُ المبرِّدُ مرَّةً أخرى إلى الثلاجة، حيث يتعرضُ خارجها مباشرة إلى عمليةٍ تمدُّدٍ من خلالِ صمامٍ تمدُّدٍ وبدون امتصاصٍ للحرارة. بعد ذلك يبذُلُ السائلُ

القسم 5-4

الحصة 10

درّس: 30 دقيقة

استراتيجية بصرية

الشكل 5-21

تأكد من ملاحظة المتعلمين لمناطق الضغط المنخفض (سائل التبريد داخل الثلاجة) والمرتفع (سائل التبريد خارج الثلاجة) في المائع الموضح في الشكل.

س: ماذا يحدث لحجم سائل التبريد وطاقته الداخلية ودرجة حرارته عند دخوله في صمّام التمدد؟

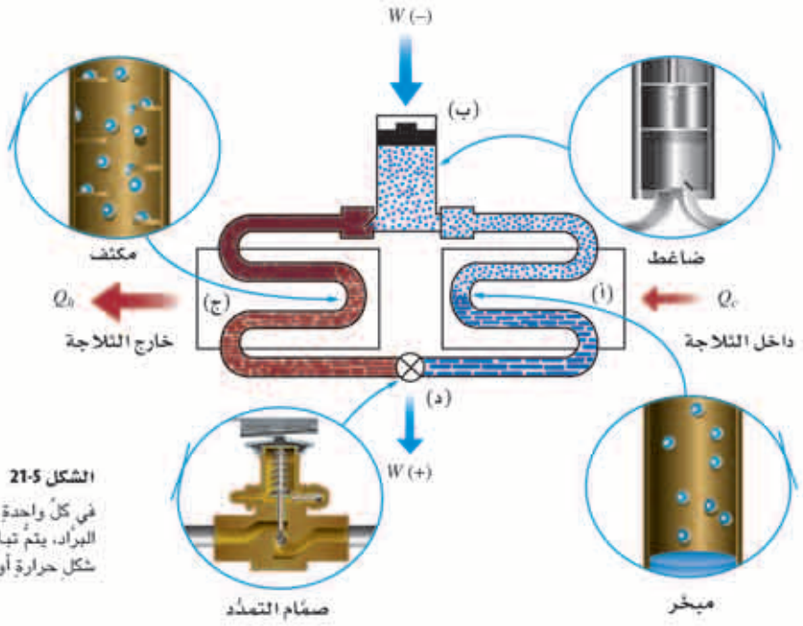
ج: خلال عملية التمدد الأديباتي لسائل التبريد يزداد حجمه ما يؤدي إلى انخفاض طاقته الداخلية ($\Delta U < 0$). يؤدي هذا الانخفاض في الطاقة الداخلية إلى انخفاض في درجة حرارة سائل التبريد. تنتقل الطاقة من سائل التبريد عند قيامه ببذل شغل على زنبرك صمّام التمدُّد.

س: عند انتقال سائل التبريد من (د) إلى (ب) خلال الأنبوبة التي حولها ملف (أ)، أي منطقة تكون عند درجة حرارة أقل؟

ج: منطقة درجة الحرارة الأقل تكون قرب (د) حيث توجد مقصورة الثلاجة.

– الشفافة 18: «خطوات دورة التبريد» توضح هذه الشفافة العملية التي تنقل الثلاجة خلالها الطاقة من جسم عند درجة حرارة منخفضة إلى آخر عند درجة حرارة أعلى. (الشكل 5-21)

– الشفافة أ 16: «الديناميكا الحرارية للثلاجة» تصف هذه الشفافة إشارات كل من كميات الديناميكا الحرارية خلال الخطوات الأربع لدورة ثلاجة. (الجدول 5-7)



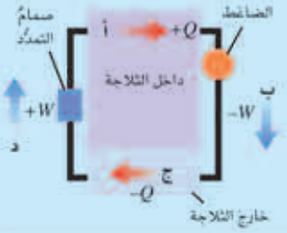
الشكل 5-21
في كلّ واحدةٍ من الخطوات الأربع لدورة البرّاد، يتمّ تبادلُ الطاقة مع المبرِّد إمّا على شكل حرارةٍ أو على شكل شغل.

شغلاً لدى انتقالِهِ من منطقةِ ضغطٍ مرتفعٍ إلى منطقةِ ضغطٍ منخفض حيث يزدادُ حجمُهُ كما في الخطوة (د). والمبرِّدُ، ببذلِهِ شغلاً على زنبركِ الصمام، يخفّضُ طاقتَهُ الداخلية.

يعودُ المبرِّد الآن إلى الطاقةِ الداخليةِ الابتدائيةِ والحالةِ الابتدائية، أي حالتِهِ عند بدء العملية. إذا كانت درجةُ حرارتِهِ ما تزالُ أقلَّ من درجةِ حرارةِ الهواءِ داخلَ الثلاجةِ فإن الدورةَ ستتكرر.

يمكنُ استخدامُ القانونِ الأولِ للديناميكا الحرارية لوصفِ إشارةِ كلٍّ من الكمياتِ الديناميكيةِ الحرارية، في كلٍّ من الخطواتِ الأربع، كما هو موضحٌ في **الجدول 5-7**.

الجدول 5-7 إشاراتُ الديناميكا الحرارية لثلاّجة



الخطوة	Q	W	ΔU
أ	+	0	+
ب	0	–	+
ج	–	0	–
د	0	+	–

استراتيجية بصرية

الجدول 5-7

وضّح أن الجدول يشير إلى تبادل الطاقة كحرارة وكشغل من سائل التبريد (النظام) وإليه. على المتعلمين أن يحددوا بشكل صحيح العلاقة بين النظام والوسط المحيط في كل من خطوات الدورة.

س: صف مصدر ونوع تبادل الطاقة في كل من خطوات العملية.

ج: أ. تنتقل الطاقة كحرارة من مقصورة التبريد إلى السائل داخل أنابيب الثلاجة.
ب. تنتقل الطاقة كحرارة من سائل التبريد في الأنابيب خارج الثلاجة إلى الهواء الخارجي.
ج. يُبذل الشغل بواسطة سائل التبريد على صمام التمدد في عملية شبه أديباتية.

القسم 4-5

نماذج رئيسية ومقارنات

إن نموذج النظام المتفاعل مع الوسط المحيط به مفيد عند دراسة دورات الديناميكا الحرارية. وضِّح أن البخار في الأسطوانة هو النظام الديناميكي الحراري والذي يتبادل الطاقة مع الوسط المحيط به. ذكّر المتعلمين أن تبادل الطاقة يتم على شكل حرارة عندما يكون فرق في درجة الحرارة بين النظام والوسط المحيط. الوسط المحيط هو الهواء في مرحلة التبريد والغلاّية في مرحلة التسخين.

فكرة مفيدة في التعليم

دع المتعلمين يصفون الخطوات الأربع للدورة بدلالة تبادل الطاقة والشغل المبذول والتغير في الطاقة الداخلية للبخار.
بالنسبة للسخّان – الغلاّية: تتسرب الحرارة Q_{in} إلى البخار، بينما يبذل شغل W_{out} بواسطة البخار على المكبس.
بالنسبة للهواء: تتسرب الحرارة Q_{out} من البخار إلى الهواء ويبذل شغل W_{in} من المكبس على البخار.

احذر الخطأ المفهومي

يميل المتعلمون إلى الاعتقاد أن $W_{out} = W_{in}$ لأن الحجم يزداد ثم ينقص بالمقدار نفسه عند عودة المكبس إلى موضعه الابتدائي. ذكّر المتعلمين أن $W = P\Delta V$ تستخدم فقط عند ضغط ثابت. اسألهم ما إذا كان الضغط داخل الأسطوانة هو نفسه لدى تمدد البخار عند درجة حرارة مرتفعة ولدى انضغاطه عند درجة حرارة منخفضة. (لا، الضغط المبذول بواسطة البخار عند درجة الحرارة المرتفعة أكبر منه عند درجة الحرارة المنخفضة).

هل تعلم؟

يمكنُ لتغيّرِ حالةِ المادةِ أن يُنتجَ شغلاً. يزدادُ حجمُ السائلِ لدى تبخره ويبذلُ شغلاً على الغازاتِ التي فوقه. ويُبذلُ كذلك الشغلُ على الغازِ الذي يتكثفُ كسائلٍ أقلَّ حجمًا. وبما أنه تمّ تحديدُ النظامِ للثلاجة على أنه المبرّدُ داخل الأنابيب، لا يعودُ ممكنًا تبادلُ الطاقةِ كشغلٍ بين المبرّدِ والوسطِ المحيطِ خلال عمليتي التبخير والتكثيف.

عدم تغيُّرِ الطاقةِ الداخليةِ عند نهايةِ الدورة

إن التساوي بين مقدارِ الطاقةِ الداخليةِ النهائيةِ للمبرّد، عند نهايةِ الدورة، وبين مقدارِ طاقتِهِ الداخليةِ الابتدائيةِ هو شأنٌ مهمٌّ جدًّا. ليس فقط في حالةِ الثلاجات، بل أيضًا في حالةِ المحركاتِ التي تستخدمُ الحرارةَ لإنتاجِ الشغل. أو تبذلُ شغلاً للحصولِ على فرقٍ في درجةِ الحرارة. إذا تطابقتْ خصائصُ النظامِ في نقطتي الدورةِ الابتدائيةِ والنهائيةِ تكونُ قيمتا الطاقةِ الداخليةِ الابتدائيةِ والنهائيةِ متساويتين، ويكونُ بالتالي التغيُّرُ في الطاقةِ الداخليةِ صفرًا.

$$\Delta U_{\text{الحصلة}} = 0 \text{ و } Q_{\text{الحصلة}} = W_{\text{الحصلة}}$$

يشبهُ ذلك العمليةَ الأيزوثرميةَ من حيث تبادلُ الطاقةِ بأكملِها كحرارةٍ أو شغل. لكنَّ العمليةَ الآنَ تعيدُ نفسَها بدون تغيُّرٍ في الطاقةِ الداخليةِ للنظام. وهذه العمليةُ تُسمَّى **العمليةَ الدورية** cyclic process.

في حالةِ الثلاجةِ تكونُ محصلةُ الشغلِ المبذولِ في دورةٍ كاملةٍ مساويةً لمحصلةِ الطاقةِ المتبادَلةِ كحرارةٍ مع المبرّد. تنتقلُ الطاقةُ كحرارةٍ من داخلِ الثلاجةِ الباردةِ إلى المبرّدِ المبخّرِ والأكثرِ برودة ($Q_{\text{بارد}}$ أو Q_c). كذلك تنتقلُ الطاقةُ كحرارةٍ من المبرّدِ المكثّفِ إلى الهواءِ الأبردِ نسبيًّا خارجَ الثلاجة ($Q_{\text{حار}}$ أو Q_h). لذلك يكونُ الفرقُ بين Q_h و Q_c مساويًا لمحصلةِ الشغلِ المبذولِ في دورةٍ كاملةٍ من عملية التبريد.

$$Q_h > Q_c \quad \text{حيث} \quad W = Q_h - Q_c$$

فكلما أردتَ أن يكونَ داخلُ الثلاجةِ أكثرَ برودةً، كلما كان عليك جعلُ الطاقةِ المتبادلةِ كحرارةٍ $(Q_h - Q_c)$ أكبر. يمكنُ زيادةُ طاقةِ التبادلِ الحراريِّ عند زيادةِ الشغلِ المبذولِ فقط.

المحركاتُ تستخدمُ الحرارةَ لبذلِ الشغل

تستخدمُ الثلاجاتُ الشغلَ الميكانيكيَّ لتحقيقِ فرقٍ في درجةِ الحرارةِ يسمحُ بتبادلِ الطاقةِ كحرارة. يعملُ المحرّكُ بطريقةٍ معاكسة. فهو يستخدمُ الحرارةَ لبذلِ شغلٍ ميكانيكي.

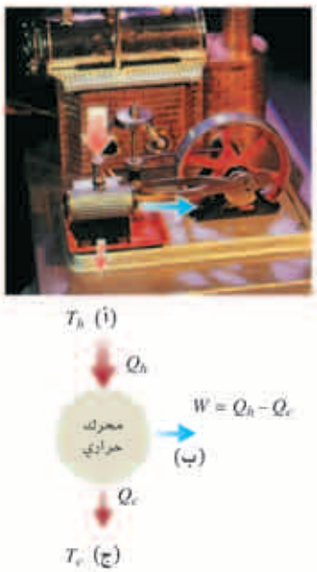
هناك شبهٌ بين المحرّكِ والدولابِ المائي (الناعورة) الذي يستخدمُ المياهَ الساقطةَ من ارتفاعٍ معيَّنٍ فوق سطحِ الأرض. يؤدي انخفاضُ طاقةِ الوضعِ الجذبيةِ للمياهِ الساقطةِ إلى ارتفاعٍ في طاقةِ حركتِها، فتستطيعُ بذلك بذلَ شغلٍ على أحدِ طرفَي الدولاب، فيبدأُ بالدوران. وكلما كان الفرقُ بين مستويَيْ طاقةِ الوضعِ الجذبيةِ أكبرَ كلما كان في الإمكانِ بذلُ كميةٍ أكبرَ من الشغل.

وبدلاً من استخدامِ الفرقِ في طاقةِ الوضعِ لإنتاجِ الشغل، تُنتِجُ المحركاتُ الشغلَ بتحويلِ الطاقةِ لدى انتقالِها من مادةٍ على درجةِ حرارةٍ مرتفعةٍ إلى أخرى على درجةِ حرارةٍ منخفضة، كما يظهرُ في المحركِ البخاريِّ في **الشكل 5-22**. خلالَ كلِّ دورةٍ كاملةٍ من دوراتِ المحرّك، تكونُ محصلةُ الشغلِ المبذولِ مساويةً للفرقِ بين كميةِ الطاقةِ (Q_h) المنتقلةِ كحرارةٍ من المادةِ ذاتِ درجةِ الحرارةِ المرتفعةِ إلى المحرّكِ وبين كميةِ الطاقةِ (Q_c) المنتقلةِ كحرارةٍ من المحركِ إلى المادةِ ذاتِ درجةِ الحرارةِ المنخفضة.

$$W_{\text{الحصلة}} = Q_h - Q_c$$

العمليةُ الدورية

عمليةٌ ديناميكا حرارية يعودُ النظامُ فيها إلى الشروطِ الابتدائيةِ نفسِها حين بدئِها.



الشكل 5-22

يستطيعُ المحركُ الحراريُّ بذلَ الشغل(ب)، بنقلِ الطاقةِ من مادةٍ على درجةِ حرارةٍ مرتفعة T_h(أ)، إلى أخرى على درجةِ حرارةٍ منخفضة (الهواءِ المحيطِ بالمحرك) Tc(ج).

القسم 4-5

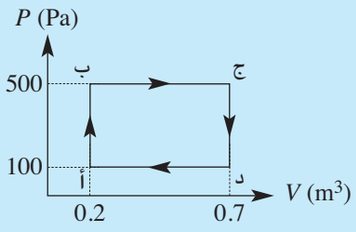
فكرة مفيدة في التعليم

أشر إلى فرق آخر بين محرك حراري مثالي ومحرّك احتراق داخلي وهو أن مصدر الحرارة في المحرك الحراري يكون خارجيًّا وتنقل الطاقة إلى المحرك على شكل حرارة، بينما في محرك الاحتراق الداخلي يكون مصدر الحرارة داخليًّا (لأنها انبعثت داخل الأسطوانة نتيجة لتفاعل كيميائي) لذلك لا تنقل الطاقة إلى المحرك على شكل حرارة.

– الشفافة 19 ، «خطوات دورة محرك البنزين» توضح هذه الشفافة مراحل الدورة الكاملة لمحرك البنزين (الشكل 23-5)

نماذج رئيسية ومقارنات

غالبًا ما نستخدم رسمًا بيانيًّا لـ (P) بدلالة (V) لتوضيح خطوات الدورة الديناميكية الحرارية. ارسم رسمًا بيانيًّا على اللوح كالشكل أدناه. اسأل المتعلمين عن الجزء الذي يمثل التسخين (أ ب) والتبريد (ج د) والانضغاط (د أ) والتمدد (ب ج). استخدم هذا الرسم البسيط لتوضح للمتعلمين أن الشغل المبذول في دورة كاملة هو المساحة داخل المسار الذي يصل النقاط أ و ب و ج و د (أي مساحة المستطيل أ ب ج د في هذه الحالة).



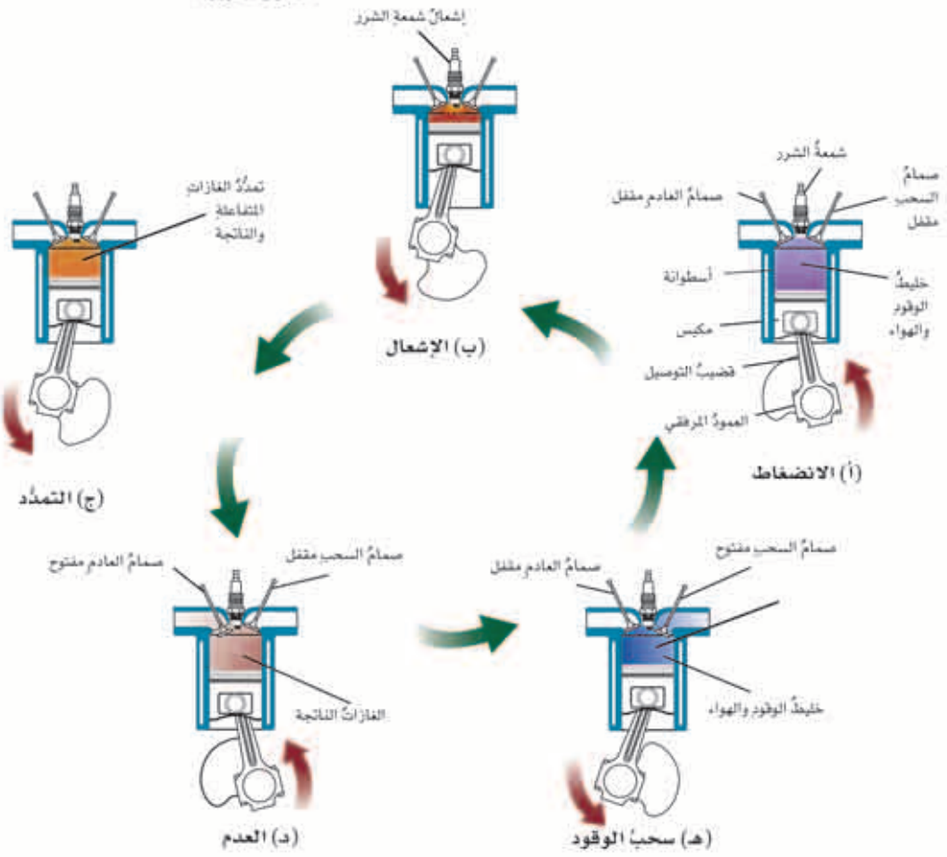
فكلما كان الفرقُ بين كميتي الطاقة Q_h و Q_c أكبرَ كلما أنتجَ المحرّكُ مقدارًا أكبرَ من الشغل. يُعتبَرُ محرّكُ الاحتراق الداخليّ الموجودُ في معظمِ المركباتِ أحدَ الأمثلة على المحركاتِ الحرارية. محركاتُ الاحتراق الداخليّ تحرقُ الوقودَ داخل أسطوانةٍ مقفلة، فتتحولُ طاقةُ وضعِ الروابطِ الكيميائيةِ بين الغازاتِ المتفاعلةِ إلى طاقةِ حركةٍ لجسيماتِ المواد الناتجةِ من التفاعل. فتدفعُ الغازاتُ الناتجةُ مكبسَ الأسطوانة، فيبذلُ هذا شغلاً على الخارج (في هذه الحالةِ يحوّلُ العمود المرفقيُّ كميةَ حركةِ المكبسِ الخطّيةِ إلى حركةٍ دورانيةٍ لمحورِ الدولاب).

ومع أن طريقةَ العملِ الأساسيةَ لأيّ محرّكِ احتراقٍ داخليٍّ تشبهُ طريقةَ عملِ غيره، فإن بعضَ خطواتِها لا يتناسبُ مع النموذج. عندما يدخلُ الهواءُ إلى الأسطوانةِ أو يخرجُ منها تدخلُ المادةُ إلى الأسطوانةِ وتخرجُ منها، ما يعني أن مادةَ النظامِ غيرُ معزولة.

لا تعملُ المحركاتُ الحراريةُ بشكلٍ مثالي، لأن جزءًا فقط من الطاقةِ الداخليةِ المتوفرةِ يتركُ المحرّكَ على شكلِ شغلٍ مبذولٍ على الوسطِ المحيط، والجزءُ الأكبرُ من الطاقةِ يُلفَظُ كحرارة.

يوضحُ **الشكل 23-5** خطواتِ دورةٍ كاملةٍ من دوراتِ محرّكِ البنزين الذي هو أحدُ

الشكل 23-5
تظهرُ في الخطواتِ التاليةِ دورةٌ كاملةٌ لمحرّكِ البنزين.



أختم: 10 دقائق

– **ك ت ط**، ص 16، «عمليات الديناميكية الحرارية». تردم نشاطات مهارات الرسوم البيانية الهوة بين المواقف الفيزيائية الحقيقية والرسوم البيانية التي تبسّطها بحيث يمكن تطبيق المبادئ الفيزيائية والمعادلات.

واجب منزلي

– **مراجعة القسم، ك ط**، ص 182، عيِّن الأسئلة 2-3 و 5-7.
– **مراجعة الفصل، ك ط**، ص 185-186، عيِّن الأسئلة 14-15 و 18.

أمثلةِ محركاتِ الاحتراقِ الداخليِ. خلالَ عمليةِ الانضغاطِ الموضحةِ في (أ) يبذُلُ المكبسُ شغلاً أديابانيًّا على خليطِ الوقودِ والهواءِ في الأسطوانةِ، وفي لحظةِ الانضغاطِ القصوى، يحصلُ انفجارٌ داخلَ الأسطوانةِ. تؤدي طاقةُ الوضعِ الكيميائيةُ الناتجةُ من عمليةِ الاحتراقِ إلى ارتفاعِ الطاقةِ الداخليةِ للغازِ، كما هو موضحٌ في (ب). تتمدَّدُ الغازاتُ الحارةُ ذاتُ الضغطِ المرتفعِ، الناتجةُ من الاحتراقِ، فتنتجُ شغلاً يبذلُهُ المكبسُ على العمودِ المرفقِ كما في الخطوة (ج). عندَ انتهاءِ المكبسِ من بذلِ الشغلِ تتسرَّبُ الحرارةُ من جدرانِ الأسطوانةِ ومن طردِ الغازاتِ الحارةِ من خلالِ العادمِ كما في الخطوة (د). عندئذٍ يُسحَبُ خليطٌ جديدٌ من الوقودِ والهواءِ من خلالِ صمّامِ الدخولِ إلى الأسطوانةِ بواسطةِ المكبسِ المتحرِّكِ إلى أسفلَ كما في الخطوة (هـ).

مراجعةُ القسم 4-5

1. استخدمِ القانونَ الأولَ للديناميكا الحراريةِ لتثبتَ أنَّ الطاقةَ الداخليةَ لنظامٍ معزولٍ تكونُ دائمًا محفوظةً.
2. حدِّدْ، في النظامينِ التاليينِ، الطاقةَ المتبادلةَ كحرارةٍ والمتبادلةَ كشغلٍ والحالاتِ التي يحصلُ فيها تغيُّرٌ في الطاقةِ الداخليةِ. هل الطاقةُ محفوظةٌ في الحالتينِ التاليتينِ؟
   أ. نظامٌ في محرِّكٍ بخاريٍّ يتألفُ من غلايةٍ وموقدٍ ومكبسٍ ودولابٍ لتنظيمِ السرعةِ
   ب. ريشةُ مقدحٍ كهربائيٌّ وقالبٌ حديديٌّ يرادُ إحداثُ ثقبٍ فيه
3. أترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ للنظامِ، أم تنخفضُ، أم تبقى على حالِها في كلٍّ من حالتي السؤالِ 2؟ اشرحْ إجابتَك مستخدمًا القانونَ الأولَ للديناميكا الحرارية.
4. يتمدَّدُ الهواءُ في أسطوانةٍ متقابٍ عندَ ضغطٍ ثابتٍ مقدارُه 8.6×10^5 Pa حيثُ يبلغُ ازديادُ الحجمِ 4.05×10^{-4} m^3. ينتقلُ 9.5 J من الطاقةِ إلى خارجِ الأسطوانةِ على شكلِ حرارةٍ خلالَ العمليةِ.
   أ. ما الشغلُ المبذولُ بواسطةِ الهواء؟
   ب. ما التغيُّرُ في الطاقةِ الداخليةِ للهواء؟
   ج. ما العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ المثاليةُ التي تمثِّلُها هذه العملية؟
5. أُدخِلَ خليطٌ من الوقودِ والهواءِ إلى أسطوانةِ محركٍ مزودةٍ بمكبسٍ. حُفِظَ ضغطُ الغازِ عندَ قيمةٍ ثابتةٍ 7.07×10^5 Pa مع تحركِ المكبسِ ببطءٍ إلى الداخل. إذا انخفضَ حجمُ الغازِ 1.1×10^{-4} m^3 وارتفعتْ طاقتُهُ الداخليةُ 62 J، فما الطاقةُ التي يكتسبُها النظامُ أو يفقدُها على شكلِ حرارة؟
6. استخدمْ ما تعلَّمتَهُ في هذا الفصلِ لتشرحَ لماذا لا يؤدي فتحُ بابِ الثلاجةِ في يومٍ حارٍ إلى تبريدِ المطبخ.
7. بعدَ قيامِهِ بعددٍ دوراتٍ كاملة، يبذلُ مبرِّدٌ 1.51×10^4 J من الشغلِ على ثلاجة، ويطردُ 7.55×10^4 J من حرارةٍ من الهواءِ داخلَ الثلاجة.
   أ. ما الطاقةُ المنتقلةُ كحرارةٍ من داخلِ الثلاجةِ إلى الهواءِ الخارجي؟
   ب. ما التغيُّرُ الكليُّ للطاقةِ الداخليةِ للمبرِّد؟
   ج. ما كميةُ الشغلِ المبذولةُ على الهواءِ داخلَ الثلاجة؟
   د. ما محصلةُ التغيُّرِ في الطاقةِ الداخليةِ للهواءِ داخلَ الثلاجة؟
8. **الفيزياءُ في حياتِنا اليومية** يعطي بالونُ الرصدِ الجويِّ 15 J من الطاقةِ كحرارة، بينما يبذلُ الغازُ في داخلِه 13 J من الشغلِ على الهواءِ الخارجي. ما مقدارُ تغيُّرِ الطاقةِ الداخلية؟

القسم 4-5

مراجعة القسم
أجوبة

1. من التعريف، لا يتم تبادل للطاقة مع نظام معزول، لذلك $Q = W = 0$ و $\Delta U = Q - W = 0$.
2. أ. تنتقل الطاقة كحرارة من الغلاية إلى الأسطوانة والمكبس فترتفع U. يبذل المكبس والأسطوانة شغلاً على الدولاب ما يؤدي إلى انخفاض U.
   ب. يبذل المقدح شغلاً على الريشة التي تبذل بدورها شغلاً على القالب ما يؤدي إلى ارتفاع U لكل منهما.
   تكون الطاقة الكلية في كل من الحالتين أعلاه محفوظة عندما تؤخذ جميع أشكال تلك الطاقة بعين الاعتبار.
3. المحرك البخاري: تبقى U ثابتة لأن الدورة مقفلة ($Q_{\text{المحصلة}} = W_{\text{المحصلة}}$ لذلك $\Delta U = 0$).
   المقدح والقالب: ترتفع U بسبب بذل الشغل على النظام ($W < 0$) بينما تنتقل الطاقة من النظام كحرارة لذلك $\Delta U = Q - W > 0$.
4. أ. $W = 3.5 \times 10^2$ J
   ب. $\Delta U = -3.6 \times 10^2$ J
   ج. أديباتية
5. $Q = -16$ J (منتقلة من النظام كحرارة)
6. الطاقة المنتقلة من الثلاجة تضاف إلى الهواء نفسه المبرّد بواسطة الثلاجة، لذلك ليس هناك أي انخفاض في درجة الحرارة.
7. أ. $Q = 9.06 \times 10^4$ J
   ب. $\Delta U = 0$ J (عملية دورية)
   ج. $W = 0$ J ($\Delta V = 0$)
   د. $\Delta U = -7.55 \times 10^4$ J
8. $\Delta U = -28$ J

تكييفُ الهواءِ في أعماقِ البحار

لا تستطيعُ أشعةُ الشمسِ النفاذَ إلى عمقٍ يتجاوزُ مئاتِ الأمتارِ في مياهِ المحيطات. يحاولُ العلماءُ في معهدِ ماكاي لهندسةِ المحيطاتِ في جزرِ هاواي الأميركيةِ استخدامَ هذه المنطقةِ العميقةِ المظلمةِ كمصدرٍ لتكييفِ الهواء.

في المناطقِ الاستوائيةِ حيث يُكيَّفُ الهواءُ في المباني على مدارِ السنة، تُستخدَمُ في مكيفاتِ الهواءِ المياهُ الباردة. تبرُدُ الضواغطُ المياهَ بينما تدفعُها المضخاتُ داخلَ جدرانِ المبنى حيث تمتصُّ الحرارةَ من الغرف. لكن تشغيلَ هذه الضواغطِ أمرٌ مكلفٌ ومنخفضُ الكفاءة.

وبدلاً من استخدامِ الضواغطِ لتبريدِ المياهِ في نظامِ التشغيل، تَستخدِمُ أنظمةُ ماكاي مياهًا باردةً من أعماقِ المحيطات. فالمهندسونَ يؤمّنونَ أولاً التمديداتِ اللازمةَ للوصولِ إلى عمقِ المحيط، حيث تقتربُ درجةُ حرارةِ المياهِ من درجةِ التجمُّد. بعدها تقومُ مضخّاتٌ ضخمةٌ بنقلِ المياهِ مباشرةً إلى أنظمةِ تكييفِ الهواءِ في المباني. عندها يقومُ نظامُ تبديلٍ حراريٍّ باستخدامِ مياهِ المحيطِ لتبريدِ المياهِ العذبةِ في أنظمةِ تكييفِ الهواء. أحدُ إشكالاتِ هذه الطريقةِ هو أن المياهَ يجبُ أن تعودَ إلى المحيطِ بطريقةٍ لا تشكلُ اضطرابًا حراريًّا في الجوار. لذلك يجبُ ضخُّ المياهِ إلى عمقٍ كافٍ بحيثُ تكونُ درجةُ حرارتِها قريبةً من درجةِ حرارةِ المحيط، أو يجبُ رميُها في مناطقَ على الشاطئِ بحيثُ تتسرَّبُ من خلالِ الأرضِ وتصبحُ درجةُ حرارتِها مناسبةً عند وصولِها إلى المحيط.

يقولُ مديرُ معهدِ ماكاي: «تساهمُ طريقةُ قاعِ البحارِ لتكييفِ الهواءِ في حمايةِ البيئة، وذلك باعتمادِها على مصدرٍ متجددٍ بدلاً من غازِ الفريون. ولأن هذا النظامَ لا يعتمدُ على الضواغط، فإنه يحتاجُ إلى 10% فقط من الطاقةِ الكهربائيةِ اللازمةِ لطرقِ التبريدِ العادية. فيوفرُ بذلك الوقودَ الأحفوريَّ والكثيرَ من الأموال». لكنَّ التبريدَ باستخدامِ قاعِ البحارِ يصلحُ فقط للمباني التي لا تبعدُ أكثرَ من عدةِ كيلومتراتٍ عن الشاطئ. يضافُ إلى ذلك أن الكلفةَ الماديةَ الضخمةَ للمنشآتِ اللازمةِ تصلُ إلى عدةِ ملايينَ من الدولارات. لذلك يعتقدُ مديرُ المعهدِ أن هذا النوعَ من الأنظمةِ يكونُ مناسبًا في حالةِ استخدامِ مكيفاتٍ ضخمةٍ لتكييفِ المنتجعاتِ الضخمةِ والمراكزِ الصناعيةِ حيث يغطي التوفيرُ في الطاقةِ الكهربائيةِ التكلفةَ للمنشآتِ المرتفعة. وإذا تمَّ إنشاءُ هذه الأجهزةِ وفقَ الشروطِ المناسبةِ فإن تكلفةَ تشغيلِها قد لا تتجاوزُ ثلثَ أو نصفَ تكلفةِ أنظمةِ التكييفِ العادية.

استزد: 10 دقائق

تكنولوجيا الغد

مقدمة

تستفيد أنظمة ماكاي لتكييف الهواء من مياه البحر العميقة والباردة كسائل تبريد طبيعي. توضع أنابيب النظام على عمق 600 m أو أكثر تحت سطح البحر. تبلغ درجة حرارة الماء عند هذا العمق 7°C أو أقل.

تنتظر شركة ماكاي مرحلة تطبيق الفكرة من خلال بناء مركز كبير لهذه الغاية. يكون النظام بعد بنائه الأرخص كلفة مقارنة مع الطرق التقليدية الأخرى، إلا أن كلفة بنائه ستكون مرتفعة.

ملحق

كما ورد في النص، تحاول شركة ماكاي لهندسة المحيطات أن تجعل مشروعها آمن بيئيًّا. دع المتعلمين يقرأون النشرات العلمية الحديثة حول المؤسسات المحلية وتأثيرها على البيئة من ناحية الخطوات التي تتبعها هذه المؤسسات للتخفيف من الآثار البيئية السلبية. ليكتب المتعلمون رسالة إلى إحدى المؤسسات المحلية لتشجيعها على خطواتها للحفاظ على البيئة أو انتقادها في هذا المجال.

مراجعة وتقويم

الفترة الكلية: حصتان (90 دقيقة)

الحصة 11

(45 دقيقة)

الفصل 5 مراجعة

- **ملخص الفصل، ك ط** ، ص 184، تلخّص هذه الصفحة المفاهيم الأساسية والمعادلات الواردة في الفصل.
- **مراجعة عامة، ك ط** ، ص 187-188، عيِّن الأسئلة 39 و 40 و 41-50.
- **ك ت ط**، ص 17، **مراجعة الفصل 5** «الحرارة والديناميكا الحرارية» تشتمل نشاطات المراجعة العامة على بنود تتحقق من فهم المتعلمين للكثير من المفاهيم الواردة في الفصل.
- تقويم الأداء، **ك ط**، ص 189. يوسّع هذا القسم فهم المتعلمين لدلالات مواضيع الفصل.
- تقويم الملف، **ك ط**، ص 189. يقترح هذا القسم تقويم ملف لتوسيع فهم المتعلمين لدلالات مواضيع الفصل.

- **فكرة مفيدة في التعليم:** غالبًا ما يخلط المتعلمون بين العديد من التعابير الواردة في هذا الفصل، دعهم يشرحوا العلاقة بين هذه التعابير الأساسية كجزء من مراجعتهم للمفردات.

- **فكرة مفيدة في التعليم:** اسأل المتعلمين أن يضعوا خارطة مفاهيم لما يلي: الانضغاط، التمدد، التسخين، التبريد، الشغل، الحرارة، الطاقة الداخلية. دعهم يضيفوا تعبيري الحجم ودرجة الحرارة لربط المفاهيم التي تتعلق ببعضها البعض. هناك عدة طرق لتمثيل هذه المفاهيم والعلاقات فيما بينها. يساعد هذا التمرين المتعلمين في تحليل المعلومات المقدّمة في هذا الفصل.

ملخَّصُ الفصل 5

مصطلحاتٌ أساسية

الاتزانُ الحراري Thermal equilibrium (ص 148)

الحرارة Heat (ص 149)

الطاقةُ الداخلية Internal energy (ص 150)

السعةُ الحراريةُ النوعية Specific heat capacity (ص 155)

قياسُ الحرارة Calorimetry (ص 156)

تغيُّرُ الحالة Phase change (ص 161)

حرارةُ الانصهار Heat of fusion (ص 162)

حرارةُ الغليان Heat of vaporization (ص 162)

الحرارةُ الكامنة Latent heat (ص 162)

الوسطُ المحيط Environment (ص 168)

النظام System (ص 168)

العمليةُ عند حجم ثابت Isovolumetric (ص 170)

العمليةُ الأيزوثرمية Isothermal process (ص 171)

العمليةُ الأدياباتية Adiabatic process (ص 172)

العمليةُ الدورية Cyclic process (ص 180)

رموزُ الأشكال

الطاقةُ المتبادلةُ كحرارة

الطاقةُ المتبادلةُ كشغل

دورةٌ ديناميكيةٌ حرارية

أفكارٌ أساسية

القسمُ 5-1 درجةُ الحرارةِ والحرارة

- يمكنُ تغييرُ درجةِ الحرارةِ بنقلِ الحرارةِ من المادةِ أو إليها.
- الاتزانُ الحراريُّ هو الحالةُ التي تكونُ فيها درجتا حرارةِ جسمينِ متلاصقينِ متساويةً.
- الحرارةُ هي الطاقةُ المنتقلةُ من جسمٍ على درجةِ حرارةٍ عاليةٍ إلى جسمٍ آخرَ على درجةِ حرارةٍ منخفضة.
- تكونُ الطاقةُ محفوظةً إذا تمَّ أخذُ كلٍّ من الطاقةِ الميكانيكيةِ والطاقةِ الداخليةِ بعينِ الاعتبار.

القسمُ 5-2 التغيُّرُ في درجةِ الحرارةِ والحالة

- تُعرَّفُ السعةُ الحراريةُ النوعية، وهي مقياسٌ للطاقةِ اللازمةِ لرفعِ درجةِ حرارةِ المادةِ درجةً سيليزيةً واحدة، بهذه العلاقة:

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

- تُعرَّفُ الحرارةُ الكامنة، وهي الطاقةُ اللازمةُ لتغييرِ وحدةِ الكتلِ من المادةِ من حالةٍ إلى أخرى، بهذه العلاقة:

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

القسمُ 5-3 علاقةُ الحرارةِ بالشغل

- يتشكلُ النظامُ من جسمٍ، أو من مجموعةِ أجسامٍ في حالةِ اتزانٍ فيما بينها ولها كميةُ مادةٍ غيرُ متغيرة، فيما يشكِّلُ كلُّ ما يحيطُ بالنظامِ الوسطَ المحيط.
- يمكنُ إعطاءُ الطاقةِ للنظامِ أو أخذُها منه على شكلِ حرارةٍ أو شغلٍ أو كليهما، ونتيجةً لهذه العملية تتغيرُ الطاقةُ الداخلية.
- يُعرَّفُ الشغلُ المبذولُ على غازٍ تحت ضغطٍ ثابتٍ كحاصلِ ضربِ ضغطِ الغازِ في تغيُّرِ كميةِ حجمِه

$$W = P\Delta V$$

القسمُ 5-4 عملياتُ الديناميكا الحرارية

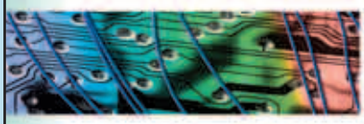
- تكونُ طاقةُ النظامِ ووسطِهِ المحيطِ به محفوظةً وفقًا للقانونِ الأولِ للديناميكا الحرارية

$$\Delta U = Q - W$$

- يعودُ النظامُ عند انتهاءِ عمليةٍ دوريةٍ مقفلةٍ إلى الحالةِ نفسِها التي ابتدأت منها العملية، وعليه تكونُ طاقتُهُ الداخليةُ محفوظة.

رموزُ المتغيِّرات

الكميات	الوحدات	الكميات	الوحدات
T_K درجةُ الحرارة (الكلفن)	K كلفن	Q الحرارة	J جول
T_C درجةُ الحرارة (سيليزية)	°C درجة سيليزية	c_p السعةُ الحراريةُ النوعيةُ تحت ضغطٍ ثابت	J / kg·°C
T_F درجةُ الحرارة (فهرنهيت)	°F درجة فهرنهيت		
ΔU التغيرُ في الطاقةِ الداخلية	J جول	L الحرارةُ الكامنة	J / kg



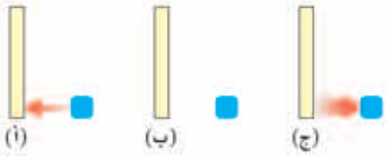
مراجعةُ الفصل 5

راجعْ وقيِّم

درجةُ الحرارةِ والحرارة

أسئلةُ مراجعة

1. ما العلاقةُ بين درجةِ الحرارةِ والطاقةِ الداخلية
2. عيِّنْ خاصةً لجسمين تحددُ أنهما في حالة اتزان حراري؟
3. أيُّ حالةٍ في **الشكل 5-24** تظهرُ الاتجاهَ الصحيحَ لانتقالِ الطاقةِ كحرارةٍ بين مكعبٍ من الثلجِ وجدارِ الثلاجة إذا كانت درجةُ حرارةِ كلٍّ منهما 10°C–؟ اشرحْ



الشكل 5-24

4. كأسٌ من الماءِ درجةُ حرارتِه 8°C. في أيِّ حالةٍ يتمُّ تبادلٌ أكبرُ للطاقة، إذا كانت درجةُ حرارةِ الهواءِ 25°C أم 35°C؟
5. ما مقدارُ الطاقةِ المتبادلةِ بين قطعةٍ من الخبزِ وفرنٍ وهما على درجةِ الحرارةِ نفسِها 55°C؟ اشرحْ

أسئلةٌ حول المفاهيم

6. أيُّ جسمٍ في كلٍّ من الزوجينِ التاليين له طاقةٌ داخليةٌ أكبر، مع العلمِ أن درجةَ حرارةِ الجسمين في كلِّ زوجٍ متساوية؟ اشرحْ كلَّ حالة.
   أ. سكينٌ معدنيٌّ في حالةِ اتزانٍ حراريٍّ مع صينيةِ الفرن
   ب. قالبٌ من الثلجِ كتلتُهُ 1 kg على درجةِ حرارةٍ 25°C–.
   و سبعُ قطعٍ من الثلجِ كتلةُ كلٍّ منها 12 g ودرجةُ حرارتِها 25°C–.
7. افترضْ أن كلَّ زوجٍ من الأجسامِ في السؤال 6 له الطاقةُ الداخليةُ نفسُها بدلاً من درجةِ الحرارةِ نفسِها. فأيُّ جسمٍ في كلِّ زوجٍ يكونُ عند درجةِ حرارةٍ أعلى؟
8. لماذا تُعتبَرُ نقطتا غليانِ الماءِ وانصهارِ الثلجِ أفضلَ من درجةِ حرارةِ جسمِ الانسانِ لضبطِ موازينِ درجةِ الحرارة؟
9. إذا قمنا بتحريكِ الماءِ في وعاءٍ مقفلٍ ومعزول، أترتفعُ درجةُ حرارتِه، أم تنخفض، أم تبقى ثابتة؟ اشرحْ إجابتك.
10. آخذًا بعينِ الاعتبارِ إجابتك عن السؤال 9، لماذا يؤدي تحريكُ كوبٍ ساخنٍ من القهوةِ إلى تبريدِه؟
11. أُعطيتْ جسمينِ مختلفين، الجسمُ الذي درجةُ حرارتِه أعلى كميةُ حرارتِه أكبر. ما الخطأُ في هذا النص؟
12. استخدمِ النظريةَ الحركيةَ للذراتِ والجزيئاتِ لتشرحَ سببَ انتقالِ الحرارةِ دائمًا من الأجسامِ ذاتِ درجاتِ الحرارةِ الأعلى إلى الأجسامِ ذات درجاتِ الحرارةِ الأقل.
13. في أيٍّ من الموقفينِ التاليين يتمُّ تبادلٌ أكبرُ للحرارة؟ اشرحْ جوابَك
    أ. كوبٌ من الشوكولاتةِ الحارةِ درجةُ حرارتِه 40°C داخلَ ثلاجةٍ درجةُ حرارتِها 20°C–.
    ب. كوبٌ من الشوكولاتةِ الحارةِ على درجةِ حرارةٍ 90°C في غرفةٍ درجةُ حرارتِها 25°C.

مسائلُ تطبيقية

14. أعلى درجاتِ الحرارةِ على سطحِ الأرضِ بلغتْ 136°F. وسُجِّلَ ذلك في منطقةِ العزيزيةِ في ليبيا سنة 1922. اكتبْ درجةَ الحرارةِ هذه وفقًا للمقياسين السيليزي وكلفن.
15. تبلغُ درجةُ حرارةِ انصهارِ الذهبِ 1947°F. ضعْ هذه الدرجةَ وفقًا للمقياسين السيليزي وكلفن.
16. طُبِّقتْ قوةٌ مقدارُها 315 N أفقيًّا على قفصٍ خشبيٍّ إزاحتُه 35.0 m على أرضٍ مستويةٍ بسرعةٍ ثابتة. نتيجةَ للشغلِ المبذولِ ترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ بنسبةِ 14 في المئة من القيمةِ الابتدائيةِ للطاقةِ الداخليةِ للقفص. ما الطاقةُ الداخليةُ الابتدائيةُ للقفص؟ (انظرِ المثال 5 (أ).)
17. تمَّ دفعُ مسمارٍ كتلتُهُ 0.75 kg في وصلةٍ لسكةِ القطارِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 3.0 m/s.
    أ. إذا امتصَّ المسمارُ والوصلةُ 85 % من طاقةِ حركةِ المسمارِ الابتدائية، فما الارتفاعُ في الطاقةِ الداخليةِ للمسمارِ والوصلة؟
    ب. ماذا يحدثُ للطاقةِ المتبقية؟ (انظرِ المثال 5 (أ).)

إجابات

1. ترتفع درجة الحرارة بارتفاع الطاقة الداخلية، إلا في حالة تغيُّر الحالة.
2. درجة حرارتهما متساوية.
3. ب، لكلاهما درجة الحرارة نفسها لذلك ليس هناك تبادل للطاقة.
4. عندما تكون درجة حرارة الهواء 35°C.
5. لا شيء لأن لكل من قطعة الخبز والفرن درجة الحرارة نفسها.
6. أ. صينية الفرن
   ب. قالب الثلج وكتلته 1 kg.
7. أ. السكين المعدني
   ب. مكعبات الثلج الاثنا عشر
8. إن نقطتا غليان الماء وانصهاره ثابتتين عند ضغط محدد بينما درجة حرارة جسم الإنسان تتغير.
9. ترتفع درجة الحرارة قليلاً لأن التحريك يعطي طاقة.
10. المزيد من الماء يكون على اتصال مع الهواء، لذلك تنتقل الطاقة الداخلية من القهوة إلى الهواء.
11. الحرارة هي طاقة تنتقل بين الأجسام وليست مادة. تتناسب درجة الحرارة مع الطاقة الداخلية وليس مع الحرارة.
12. ينتقل المزيد من الطاقة من الجسم الذي تكون درجة حرارته أكبر لأن متوسط طاقة حركة جزيئاته أكبر.
13. ب، الفرق بين درجتي الحرارة أكبر.
14. 57.8°C ، 331 K
15. 1064°C ، 1337 K
16. 7.9×10^4 J
17. أ. 2.9 J
    ب. تتشتت في الهواء والأرض والمطرقة.

التغيُّر في درجةِ الحرارةِ والحالة

أسئلةُ مراجعة

18. ما البياناتُ التي نحتاجُ إليها لتحديدِ السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ لمادةٍ مجهولةٍ باستخدامِ قياسِ الحرارة؟

19. ما المبدأُ الذي يسمحُ باستخدامِ قياسِ الحرارةِ لتحديدِ السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للمادة؟ اشرح.

20. لماذا لا ترتفعُ درجةُ حرارةِ الثلجِ عند انصهارِهِ على الرغمِ من انتقالِ الطاقةِ إليه كحرارة؟

أسئلةُ حول المفاهيم

21. لماذا يؤدي تبخُّرُ الماءِ إلى برودةِ الهواءِ فوق سطحِ الماء؟

22. تبلغُ السَّعةُ الحراريةُ النوعيةُ للكحولِ الإثيلي نصفَ السَّعةِ الحراريةِ للماء. إذا تم تزويدُ كميتينِ متساويتينِ من الكحولِ والماء، في وعاءينِ مختلفينِ وعلى درجةِ الحرارةِ نفسها، بالكميةِ نفسها من الطاقة، فأيُّهما ستكونُ درجةُ حرارتِهِ أعلى؟

23. قبل اكتشافِ الثلاجاتِ كان العديدُ من الناسِ يخزنونَ الفواكهَ والخضارَ في مخازنَ تحت الأرض. لماذا يعتبرُ ذلك أفضلَ من تركِها في الهواءِ الطلق؟

24. خلالَ فصلِ الشتاء، كان الناسُ (في السؤال 23) يضعونَ برميلاً مفتوحًا من الماءِ إلى جانبِ منتجاتِهم في مخازنَ تحت الأرض. اشرحْ لماذا، وما فعاليةُ هذه الطريقة.

25. خلالَ الفتراتِ الباردةِ من السنة، يقومُ مزارعو البرتقالِ برشِّ أشجارِهم بالماءِ ليلاً. علامَ يساعدُ ذلك؟

26. استخدمَ منحنى التسخينِ لعينةٍ كتلتُها 23 g (انظرِ الشكل 25-5) لتقديرِ الخصائصِ التاليةِ للمادة:

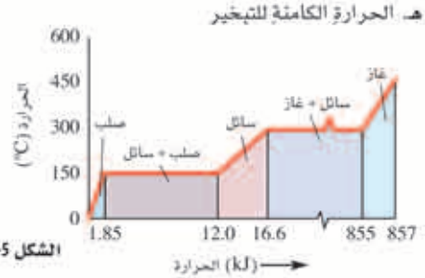
أ. السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للسائل

ب. الحرارةِ الكامنةِ للانصهار

ج. السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للصلب

د. السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للبخار

هـ. الحرارةِ الكامنةِ للتبخير



الشكل 25-5

مسائلُ تطبيقية

27. سُخِّنَ خاتمٌ من الفضةِ كتلتُه 2.55×10^{-2} kg ($c_p = 234$ J/kg•°C) إلى درجةِ حرارةِ 84.0°C، ثم أُلقيَ في مسعّرٍ يحتوي على ماءٍ كتلتُه 5.00×10^{-2} kg من الماءِ على درجةِ حرارةِ 24.0°C. المسعّرُ غيرُ معزولٍ بشكلٍ كامل، مما أدى إلى تسرُّبِ 0.140 kJ من الطاقةِ إلى الفضاءِ المجاورِ قبل الوصولِ إلى درجةِ الحرارةِ النهائية. ما درجةُ الحرارةِ النهائيةِ مع إغفالِ الحرارةِ التي يكتسبُها المسعّر؟ (انظر المثال 5 (ب).)

28. عندما يستخدمُ السائقُ المكابحَ، يحوّلُ الاحتكاكُ بين الاسطواناتِ والوسادةِ بعضَ الطاقةِ الحركيةِ الانتقاليةِ للسيارةِ إلى طاقةٍ داخلية. إذا توقفتْ سيارةٌ كتلتُها 1500 kg وسرعتُها 32 m/s بعد استخدامِ المكابح، فكم ترتفعُ درجةُ الحرارةِ في كلٍّ من الاسطواناتِ الأربعِ إذا كانت كتلةُ كلٍّ منها 3.5 kg ($c_p = 448$ J/kg•°C)؟ افترضْ أن الطاقةَ الحركيةَ تُوزَّعُ بالتساوي كطاقةٍ داخليةٍ للعجلاتِ الأربع. (انظر المثال 5 (ب).)

29. يُستخدَمُ وعاءٌ من البلاستيك الرغوي كبرادٍ للرحلات، وهو يحتوي على قالبٍ من الثلجِ على درجةِ حرارةِ 0°C. إذا انصهرَ 2.25×10^{-1} kg من الثلج، فما مقدارُ الحرارةِ التي تكونُ قد انتقلت من خلالِ جدرانِ الوعاءِ إلى الداخل؟ (انظر المثال 5 (ج).)

30. تحتوي أكبرُ البحيراتِ العظمى في كندا على حوالي 1.20×10^{16} kg من الماء. إذا كانت درجةُ حرارةِ البحيرةِ 12.0°C فما الطاقةُ اللازمُ إزالتُها لكي تتجمّدَ البحيرةُ بكاملِها على درجةِ حرارةِ 0°C؟ (انظر المثال 5 (ج).)

الحرارةُ والشغلُ والطاقةُ الداخلية

أسئلةُ مراجعة

31. عرِّفِ النظامَ الديناميكيَّ الحراريَّ ووسطَهُ المحيط.

32. ما الطريقتانِ اللتانِ يمكنُ بواسطتِهما رفعُ الطاقةِ الداخليةِ لنظام؟

33. أيُّ التعابيرِ التاليةِ وَحداتُهُ مكافئةٌ لوحداتِ الشغل؟

أ. mg د. Fd

ب. $\frac{1}{2}mv^2$ هـ. $P\Delta V$

ج. mgh و. $V\Delta T$

مراجعة الفصل 5

18. الكتلة ودرجة الحرارة الابتدائية لكل من العينة والماء، T_{eq}، $c_{p,w}$.

19. مبدأ حفظ الطاقة، الطاقة المفقودة من العينة تساوي الطاقة المكتسبة بواسطة المادة.

20. تُستخدم الطاقة لكسر الروابط بين جزيئات الثلج.

21. يعطي الهواء الطاقة للماء الذي تتغير حالته، لذلك تنخفض درجة حرارة الهواء.

22. الكحول الإثيلي

23. لا يتعرض الكهف الموجود تحت كتلة كبيرة من الأرض الباردة إلى التغير الكبير في درجة الحرارة الذي يتعرض له الهواء الخارجي على مدار السنة.

24. إن القيمة المرتفعة للحرارة الكامنة لانصهار الماء تمنعه مع المنتجات المجاورة له من التجمد بسرعة بواسطة الهواء الخارجي.

25. الماء على سطح البرتقالة يعطي الطاقة إلى داخلها مانعًا بذلك البرتقالة من التجمُّد.

26. أ. 1.1×10^3 J/kg•°C

ب. 4.4×10^5 J/kg

ج. 5.0×10^2 J/kg•°C

د. 4.0×10^2 J/kg•°C

هـ. 3.6×10^7 J/kg

(تغيُّرات السعة الحرارية النوعية قد تتباين).

27. 25.0°C

28. 120°C

29. 7.49×10^4 J

30. 4.60×10^{21} J

31. انظر التعريفات على الصفحة 168

32. تبادل الطاقة مع النظام على شكل حرارة أو على شكل شغل.

33. ب، ج، د، هـ.

34. أيُّ كميةٍ ديناميكيةٍ حرارية تكونُ قيمتُها صفرًا لكلٍّ مما يلي؟
أ. عمليةٍ أيزوثرمية
ب. عمليةٍ أديباتية
ج. عمليةٍ عند حجمٍ ثابت

أسئلةٌ حول المفاهيم

35. هل يمكنُ إضافةُ الطاقةِ إلى مادةٍ أو أخذُها منها من دون أيِّ تغيُّرٍ في درجةِ حرارةِ المادةِ أو حالتِها؟ اشرحْ إجابتك.

36. عندما يتمددُ الغازُ المثاليُّ أديباتيًّا يقومُ ببذلِ شغلٍ على وسطِهِ المحيط. صِفْ كافةَ تبادلاتِ الطاقةِ التي تحصُل.

37. أُدرِّسُ في كلٍّ من الحالتينِ التاليتين، تبادلاتِ الطاقةِ (كحرارةٍ أو شغل) والتغيُّراتِ في الطاقةِ الداخلية
أ. حَقْنُ لكفيكَ الواحدةَ بأختِها.
ب. حفرُ ثقبٍ في قالبٍ معدنيٍّ يتصاعدُ البخارُ منه عند وضعِ كميةٍ قليلةٍ من الماءِ مباشرةً في الثقب.

38. استعملتَ علبةَ رذاذِ لرشِّ الدهانِ لمدةِ 30 s. كانتِ العلبةُ على درجةِ حرارةِ الغرفة، إلا أن درجةَ حرارتِها انخفضتْ بعد الرشّ. ما العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي تتعرضُ لها كميةٌ قليلةٌ من الغازِ لدى خروجِها من منطقةِ الضغطِ المرتفعِ داخلَ العلبةِ إلى الفضاءِ الخارجي؟

39. وضعتَ علبةَ رشِّ الدهانِ في السؤالِ 38 جانبًا لمدةِ ساعة. عادتِ العلبةُ خلالَ هذه الفترةِ إلى درجةِ حرارةِ الغرفة. أيُّ من أنواعِ عملياتِ الديناميكا الحراريةِ حصلَ خلالَ هذه الفترةِ من عدمِ استخدامِ العلبة؟

مسائلُ تطبيقية

40. ما الشغلُ المبذولُ ليزيدَ حجمُ دولابٍ من $35.25 \times 10^{-3}\ m^3$ إلى $39.47 \times 10^{-3}\ m^3$ تحت ضغطٍ يزيدُ مقدارُه $2.55 \times 10^5\ Pa$ عن الضغطِ الجوي؟ هل يُبْذَلُ الشغلُ بواسطةِ الغازِ أم عليه؟ (انظرِ المثال 5(د).)

41. يبذُلُ غازُ الهيليوم في بالونِ لعبةٍ شغلاً على محيطِهِ لدى تمددِهِ عند ضغطٍ يزيدُ مقدارُه $2.52 \times 10^5\ Pa$ عن الضغطِ الجوي. الحجمُ الابتدائيُّ للبالونِ $1.10 \times 10^{-4}\ m^3$ وحجمُهُ النهائي $1.50 \times 10^{-3}\ m^3$. استخدمْ هذه البياناتِ لحسابِ الشغلِ المبذولِ بواسطةِ الغاز.
(انظرِ المثال 5 (د).)

حفظُ الطاقةِ والعملياتُ الدورية

أسئلةُ مراجعة

42. أكتبْ معادلةَ القانونِ الأولِ للديناميكا الحراريةِ واشرحْ لماذا يُعتبَرُ معادلةً لحفظِ الطاقة.

43. أعِدْ كتابةَ معادلةِ القانونِ الأولِ للديناميكا الحراريةِ لكلٍّ من العملياتِ الخاصةِ التالية:
أ. عمليةٍ أيزوثرمية
ب. عمليةٍ أديباتية
ب. عمليةٍ عند حجمٍ ثابت

44. اذكرِ العملياتِ الديناميكيةَ الحراريةَ الأربعَ التي تحصلُ أثناءَ دورةٍ كاملةٍ من عملِ ثلاجة. ما الفرقُ بين قيمةِ الطاقةِ الداخليةِ الابتدائيةِ للنظامِ عند بدايةِ الدورةِ وبين قيمتِها عند نهايةِ الدورة؟

45. كيف تكونُ الطاقةُ محفوظةً إذا انتقلَ جزءٌ أكبرُ من الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ من الثلاجةِ إلى الهواءِ الخارجيِّ مقارنةً بالحرارةِ المأخوذةِ من الهواءِ داخلَ الثلاجة؟

أسئلةٌ حول المفاهيم

46. وُضِعَ مسعِّرٌ تفجيريٌّ في مغطسٍ مائيٍّ، وحُفِظَ عند حجمٍ ثابتٍ خلالَ حرقِ مزيجٍ من الوقودِ والأكسجينِ بداخلِه. لوحظَ ارتفاعُ درجةِ حرارةِ الماءِ خلالَ عمليةِ الاحتراق. فيما بقيَ حجما المسعِّرِ والماءِ ثابتين.
أ. إذا كانتْ نواتجُ التفاعلِ هي النظام، فأيٌّ من الكمياتِ الديناميكيةِ الحرارية ΔU، Q، W موجبةٌ وأيُّها سالبة؟
ب. إذا كانَ المغطسُ المائيُّ هو النظام، فأيٌّ من الكمياتِ الديناميكيةِ الحرارية، ΔU، Q، W، موجبةٌ وأيُّها سالبة؟

47. أيٌّ من الكمياتِ الديناميكيةِ الحرارية، ΔU، Q، W، تكونُ سالبةً في الأنظمةِ التالية؟
أ. سكةُ قطارٍ فولاذيةٌ (النظام) تتعرضُ لعمليةِ تمددٍ حراريٍّ بطيءٍ في يومٍ حارّ، ما يؤدي إلى تحريكِ مواقعِ المساميرِ والوصلاتِ التي تثبّتُ السكةَ في مكانِها.
ب. ثلاجةٌ مقفلةٌ (النظام) في مطبخ
ج. غازُ الهيليومِ في بالونٍ رصدٍ جويٍّ معزولٍ (النظام) يتمددُ أثناءَ نفخِه.

مراجعة الفصل 5

34. أ. ΔU
ب. Q
ج. ΔV، W

35. نعم، إذا انتقلت الطاقة ببطء كحرارة أو كشغل من النظام كما في العمليات الأيزوثرمية حيث تتم المحافظة على الاتزان الحراري عيانيًّا.

36. الشغل المبذول بواسطة الغاز يؤدي إلى خفض U و T للغاز وزيادة U للوسط المحيط.

37. أ. يُبذل شغل لتجاوز الاحتكاك بين اليدين ما يؤدي إلى رفع الطاقة الداخلية لليدين. تنتقل الطاقة كحرارة من اليدين الدافئتين إلى الهواء.
ب. الشغل المبذول بواسطة المثقاب يتجاوز الاحتكاك، ما يؤدي إلى رفع U للمثقاب والقالب والماء. سرعان ما تنخفض U للمثقاب والقالب عند انتقال الطاقة كحرارة إلى الماء. ترتفع U للماء إلى أن يؤدي ذلك إلى تغيُّر حالته.

38. أديباتية

39. عند حجم ثابت.

40. $1.08 \times 10^3\ J$ تبذل بواسطة الغاز.

41. $3.5 \times 10^2\ J$

42. $\Delta U = Q - W$، التغيُّر في طاقة داخلية النظام تساوي الطاقة المتبادلة كحرارة أو شغل على النظام أو بواسطته.

43. أ. $\Delta U = 0$ ، $Q = W$
ب. $\Delta U = -W$ ، $Q = 0$
ج. $\Delta U = Q$ ، $W = 0$

44. يجب أن تتفق الأجوبة مع الشرح الوارد في الصفحتين 179 و 180.

45. الشغل المبذول لنقل الطاقة من الهواء داخل الثلاجة يساوي الطاقة المفقودة خارج جسم الثلاجة.

46. أ. $\Delta U < 0$ ، $Q < 0$ ، $W = 0$
ب. $\Delta U > 0$ ، $Q > 0$ ، $W = 0$

47. أ. لا أحد (Q و W موجبة، $\Delta U = 0$ إذا اعتبرنا العملية أيزوثرمية)
ب. $\Delta U < 0$ ، $Q < 0$ لداخل الثلاجة $(\Delta W > 0)$.
ج. $\Delta U < 0$ ، $(Q = 0 ، W > 0)$

مراجعة الفصل 5

48.

	ΔU	Q	W
أ.	+	+	0
ب.	−	0	+
ج.	−	−	0
د.	+	0	−

49. 2.14×10^9 J/s

50. 647 kJ

51. أ. 1.7×10^6 J على الجسر.
ب. 3.3×10^2 J بواسطة الجسر.
ج. 1.7×10^6 J، ترتفع

52. أ. $T_R = T_F + 459.7$ أو $T_F = T_R - 459.7$
ب. $T = \frac{5}{9} T_R$ أو $T_R = \frac{9}{5} T$

53. 14 m

54. أ. $-423.2°F$ ، 20.28 K
ب. $68.9°F$ ، 293.6 K

55. $T_F = \frac{9}{5}(-40°\text{C}) + 32.0 = -40°F$

56. 5.1×10^4 s أو 14 h

57. 330 g

58. 5.7×10^3 J/min أو 95 J/s

59. 8.0×10^1 g

60. أ. $\Delta U_1 = 188$ J
ب. $Q_2 = 1.40 \times 10^3$ J

61. أ. تزداد $(\Delta U > 0)$
ب. تنتقل إلى النظام $(Q > 0)$
ج. لا، $(\Delta V = 0$ لذلك $W = 0)$
د. 5175 J

48. يتألفُ نظامٌ من البخارِ المحصورِ في مكوِّناتِ آلةٍ بخارية (الغلايةِ وأنابيبِ البخارِ والأسطوانةِ والمكبس). ضعْ جدولاً مشابهًا للجدول 5-7 وحدِّدْ إشاراتِ الكمياتِ ΔU و Q و W في الخطواتِ التاليةِ من دورةِ المحرك:

أ. يغلي الماءُ في غلايةٍ صلبةٍ إلى أن يتبخّر

ب. يُدفَعُ البخارُ من الغلايةِ عبر الأنابيبِ إلى أسطوانةِ المحرك، حيث يَدفَعُ البخارُ المكبسَ بسرعةٍ إلى خارجِ الأسطوانة.

ج. يتكثفُ البخارُ ويصيرُ ماءً عند حجمٍ ثابتٍ داخلَ الأسطوانة.

د. يتحركُ المكبسُ نحو داخلِ الأسطوانةِ طاردًا الماءَ الذي بداخلِهِ إلى الغلاية.

مسائلُ تطبيقية

49. تضافُ الحرارةُ إلى وعاءٍ مفتوحٍ فيه ماءٌ على درجةِ الحرارةِ 100.0°C فيؤدي ذلك إلى تبخرِه. يبذلُ البخارُ الناتجُ شغلاً مقدارُه 43.0 kJ، بينما ترتفعُ طاقتُهُ الداخلية 604 kJ. ما مقدارُ الطاقةِ المتسربةِ إلى النظامِ على شكلِ حرارة؟ (انظر المثال 5 (هـ).)

50. يَحملُ جسرٌ فولاذيٌّ كتلتُه 150 kg في أحدِ المباني كتلةً تبلغُ 6050 kg. في النهارِ ترتفعُ درجةُ حرارةِ الجسرِ من 22°C إلى 47°C فيتمدَّدُ ويرفعُ الكتلةَ مسافةَ 5.5 mm.

أ. جدِ الطاقةَ المتبادلةَ كحرارةٍ مع الجسر (ملاحظة: افترضْ أن السَّعةَ الحراريةَ النوعيةَ للفولاذِ مساويةٌ للسَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للحديد).

ب. جدِ الشغلَ المبذولَ في هذه العملية. أبُذِلَ الشغلُ على الجسرِ أم بواسطتِه؟

ج. ما مقدارُ التغيُّرِ في الطاقةِ الداخليةِ للجسر؟ ارتفعتْ أم انخفضت؟
(انظر المثال 5 (هـ).)

مراجعةٌ عامة

51. تُعرَّفُ درجةُ حرارةِ الصفرِ المطلقِ على مقياسِ رانكين وفقًا لـ $T_R = 0°\text{R}$، بينما وحدةُ قياسِها هي وحدةُ قياسِ فهرنهيت نفسُها.

أ. ضعْ علاقةً تربطُ بين مقياسِ رانكين ومقياسِ فهرنهيت.

ب. ضعْ علاقةً تربطُ بين مقياسِ رانكين ومقياسِ كلفن.

52. يستقرُّ حجرٌ كتلتُه 3.0 kg عند قمةِ جرف. افترضْ أن الحجرَ سقطَ في البحرِ عند أسفلِ الجرف، وأن طاقةَ حركتِهِ الكليةَ قد أُعطيتْ للماء. ما مدى ارتفاعِ الجرفِ إذا ارتفعتْ درجةُ حرارةِ 1.0 kg من الماء 0.10°C؟

53. حوِّلْ درجتي الحرارةِ التاليتين إلى كلٍّ من مقياسَيْ فهرنهيت وكلفن.

أ. درجةُ حرارةِ غليانِ الهيدروجينِ السائل (−252.87°C)

ب. درجةُ حرارةِ الغرفةِ التي تبلغ 20.5°C

54. أثبتْ أن درجةَ الحرارةِ −40° لها القيمةُ نفسُها وفقًا لكلٍّ من المقياسينِ السيليزي وفهرنهيت.

55. يعملُ سخَّانٌ مياهٍ على الطاقةِ الشمسية، إذا كانت مساحةُ السخَّان 6.0 m^2 وقدرةُ ضوءِ الشمس 550 W/m^2. فكم يلزمُ من الوقتِ لرفعِ درجةِ حرارةِ 1.0 m^3 من الماءِ من 21°C إلى 61°C؟

56. يرمي متعلِّمٌ جسمين في وعاءٍ من الفولاذِ كتلتُهُ 120 g ويحتوي على 150 g من الماءِ على درجةِ حرارة 25°C. الجسمُ الأولُ مكعبٌ نحاسيٌّ كتلتُهُ 253 g ودرجةُ حرارتِهِ الابتدائية 85°C، والثاني قطعةٌ من الألمنيوم درجةُ حرارتِها الابتدائية 5°C. تفاجأ المتعلمُ عندما لاحظَ أن درجةَ الحرارةِ النهائيةِ كانت 25°C وهي درجةُ الحرارةِ الابتدائيةِ للماء. ما كتلةُ قطعةِ الألمنيوم؟

57. يحتوي كوبٌ من الألمنيوم كتلتُهُ 250 g على 850 g من الماء درجةُ حرارتِها 83°C. تمَّ تبريدُ الكوبِ والماءِ بانتظام، وبمعدل 1.5°C كلَّ دقيقة. ما معدلُ انتقالِ الحرارةِ منهما؟

58. وُضِعَ إبريقٌ يحتوي على 180 g من الشاي تحتَ أشعةِ الشمسِ إلى أن أصبحتْ درجةُ حرارتِه 32°C. في محاولةٍ لتبريدِ الشاي، أُسقِطتْ فيه قطعةُ ثلجٍ كتلتُها 112 g ودرجةُ حرارتِها 0°C. احسُبْ كتلةَ الثلجِ المتبقي في الإبريقِ حالما تصيرُ درجةُ حرارةِ الشاي 15°C. افترضْ أن السَّعةَ الحراريةَ النوعيةَ للشاي مساويةٌ لسَعةِ الماء.

59. يتمدَّدُ غازٌ عندما يُضافُ إليه 606 J من الطاقةِ على شكلِ حرارة، في حينِ يبذلُ هو 418 J من الشغلِ على وسطِهِ المحيط.

أ. ما التغيرُ الناتجُ في الطاقةِ الداخليةِ للغاز؟

ب. إذا كان الشغلُ المبذولُ بواسطةِ الغازِ 1212 J، فما مقدارُ الطاقةِ التي يجبُ إضافتُها كحرارةٍ لتعودَ الطاقةُ الداخليةُ إلى قيمتِها الابتدائيةِ عند نهايةِ العملية؟

60. غطاءُ قدرِ الضغطِ يُقفلُ القدرَ بإحكامٍ ويمنعُ الهواءَ من الخروجِ منها. البخارُ داخلَ القدرِ يرفعُ الضغطَ ويزيدُ درجةَ الحرارة، بحيث يُطبَخُ الطعامُ بشكلٍ أسرعَ مقارنةً بالقدرِ العادية. نحددُ النظامَ بالقدرِ مع الماءِ والبخارِ اللذينِ بداخله.

أ. إذا عُزِلَ 2.0 g من الماءِ داخلَ قدرِ ضغطٍ ثم تبخّرا بالتسخين، فماذا يحصلُ لطاقةِ القدرِ الداخلية؟

ب. أتنتقلُ الحرارةُ من النظامِ أم إليه؟

ج. أيبذلُ النظامُ الشغلَ، أم يُبذَلُ الشغلُ عليه؟

د. إذا أُضيفَ 5175 J من الحرارةِ لتبخيرِ الماءِ كاملاً، فما التغيُّرُ الناتجُ في الطاقةِ الداخلية؟

التقويمُ البديل

تقويمُ الأداء

1. يعتقدُ أحدُ مقدّمي برامجِ الطبخِ التلفزيونيةِ أنه يمكنُكَ اختصارُ وقتِ طهيِ البطاطا بشكلٍ ملحوظٍ إذا أدخلتَ مسمارًا في كلِّ حبةٍ منها. تحققْ مما إذا كان لهذا الاعتقادِ أساسٌ علميّ. أليسَ من الأفضلِ لفَّ قطعِ البطاطا برقائقِ الألمنيوم؟ اذكرِ الحُججَ واذكرْ نقاطَ قوتِها ونقاطَ ضعفِها.

2. يسمّى منحنى تناقصِ درجةِ الحرارةِ لجسمٍ حارٍّ بالنسبةِ للزمن: منحنى التبريد. صمّمْ تجربةً ونفذْها لتحديدِ منحنى تبريدِ الماءِ في أوعيةٍ تختلفُ موادُّها وأشكالُها. ارسمْ منحنى التبريدِ لكلٍّ منها. أيُّ الرسومِ تمثّلُ عزلاً جيدًا؟ استخدمْ نتائجَكَ ومنحنياتِكَ لتصميمِ صندوقِ طعامٍ يحفظُ الأكلَ حارًّا أو باردًا.

3. تحدثْ إلى شخصٍ يعملُ في مجالِ التكييفِ أو الثلاجات، واسألْهُ عن الموائعِ المستخدمةِ في هذه الأجهزة. ما الخصائصُ التي يجبُ أن تتوفرَ في مائعِ التبريد؟ ابحثْ عن استخداماتِ الفريونِ ومكوناتِه. لماذا يُحظَرُ استخدامُ الفريونِ في المعاهداتِ الدوليةِ؟ ما الموائعُ المستخدمةُ اليومَ في الثلاجاتِ وفي مكيفاتِ السيارات؟ وإلى أيِّ مدًى من درجاتِ الحرارةِ يمكنُ استخدامُ هذه الموائع؟ ما إيجابياتُ وسلبياتُ استخدامِ كلٍّ من هذه الموائع؟ لخّصْ بحثَكَ على شكلِ تقرير.

تقويمُ الملف

4. اجمعْ معلوماتٍ حول سخاناتِ الطاقةِ الشمسيةِ العاملةِ في المنطقةِ التي تعيشُ فيها. كيف يعملُ كلُّ نوعٍ منها؟ قارنْ بين أسعارِ سخاناتِ الطاقةِ الشمسيةِ وكلفةِ تشغيلِها ونظيرِ ذلك لدى السخاناتِ التي تعملُ على الغاز. ما الإيجابياتُ وما الإشكالاتُ لدى سخاناتِ الطاقةِ الشمسية؟ قُمْ بإعدادِ كراسةِ معلوماتٍ لتوزيعِها على أصحابِ المساكنِ المهتمينَ بهذه التقنية.

5. ابحثْ عن الطريقةِ التي يتمكنُ بها العلماءُ من قياسِ درجةِ حرارةِ الأجسامِ التالية: الشمس، لهبِ الشمعة، البركان، الفضاءِ الخارجي، النيتروجينِ السائل، الفئران، الحشرات. تعرّفْ إلى الأجهزةِ المستخدمةِ في كلِّ حالة، وبيّنْ كيف يتمُّ ضبطُها وفقًا لدرجاتِ حرارةٍ معروفة. استخدمْ ما تعلمتَه، وقمْ بإعدادِ لائحةٍ تذكرُ فيها الأدواتِ المستخدمةَ لقياسِ درجةِ الحرارةِ وقيودَ ضبطِ المدى المطلوبِ لهذه الدرجات.

6. قمْ ببحثٍ حولَ طريقةِ عملِ محرّكِ الاحتراقِ الداخليّ. صفِ الخطواتِ الأربعَ لدورةِ الاحتراق. ما الموادُّ التي تدخلُ إلى المحركِ وتخرجُ منه في كلِّ خطوة؟ كمْ أسطوانةً تُستخدَمُ في كلِّ دورة؟ ما تبادلاتُ الطاقةِ التي تحصلُ في كلِّ شوط؟ في أيٍّ من الأشواطِ يتمُّ بذلُ الشغل؟ لخّصْ معلوماتِكَ في رسمٍ أو في تقرير. اتصلْ بأحدِ الميكانيكيينَ واطلبْ إليه مراجعةَ تقريرِكَ لتدقيقِه.

مراجعة الفصل 5

التقويم البديل
أجوبة

1. يجب أن تشير إجابات المتعلمين إلى أن المعدن موصل جيد للحرارة وأن الطريقة الأسرع لنقل الطاقة إلى داخل حبة البطاطا هي من خلال مسمار.
2. يجب أن تكون خطط المتعلمين آمنة وشاملة ومتضمّنة للوائح مواد وقياسات وحسابات. يجب أن تظهر منحنيات المواد العازلة فقد بطيء للمادة.
3. تتباين إجابات المتعلمين. يحظر استخدام الفريون بسبب الأذى الذي يحدثه في طبقة الأوزون. العوامل المؤثرة في اختيار سائل التبريد تشتمل على الحرارة الكامنة ودرجة حرارة الغليان والكلفة والأمان.

تقويم الملف

4. يجب أن يشتمل تحليل المتعلمين على عوامل الاقتصاد والبيئة والملاءمة.

5. تتباين الأجوبة. لدرجات الحرارة الأقل من درجة تجمد الزئبق. تستخدم السوائل العضوية كموازين لدرجة الحرارة. يتم قياس درجة حرارة الأجسام البعيدة بطرق غير مباشرة.
6. يسحب المحرّك الهواء والوقود ويطرد المواد المعدومة. يعتمد عدد الأسطوانات على نوع المحرك. يُبذل الشغل لدى تمدد الغاز وعند طرد المكبس للمواد المعدومة.

الحصة 12

الفصل 5: تقويم 45 دقيقة

- **د ت**، ص 10، اختبار الفصل 5.
- **د ت**، ص 27، لائحة أسئلة تقويمية، الفصل 5.
- **ك ط**، ص 189، تقويم بديل.
- **د ت**، ص 50، معايير التقويم البديل.