

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الديناميكا
الحرارية

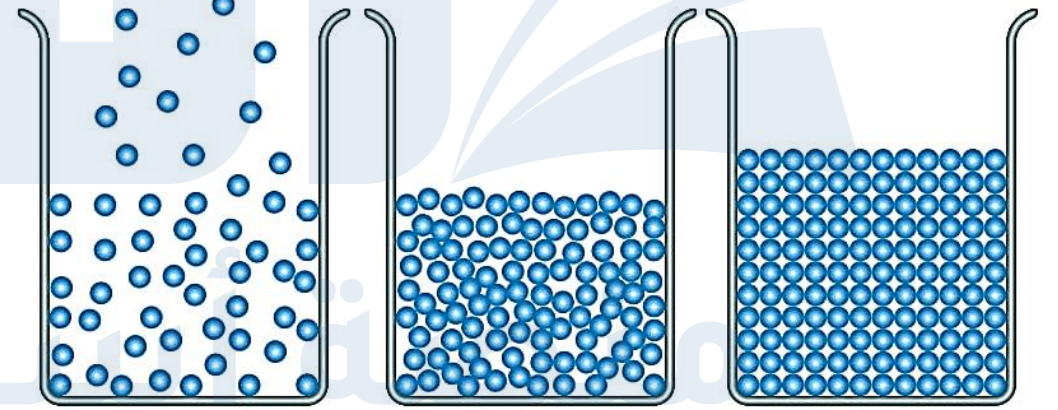
حالات
الهادة

منصة أساس التعليم

مفاهيم أساسية في الديناميكا الحرارية

نموذج الحركة الجزيئية للمادة

ينصّ نموذج الحركة الجزيئية على أنّ المواد جميعها، سواء أكانت صلبة أم سائلة أم غازية، تتكوّن من جُسيمات (جزيئات وذرات)، المسافات الفاصلة بينها صغيرة جدًا في المواد الصلبة، ومتوسطة في السوائل، وكبيرة جدًا في الغازات، أنظر إلى الشكل (1).



(ج)

(ب)

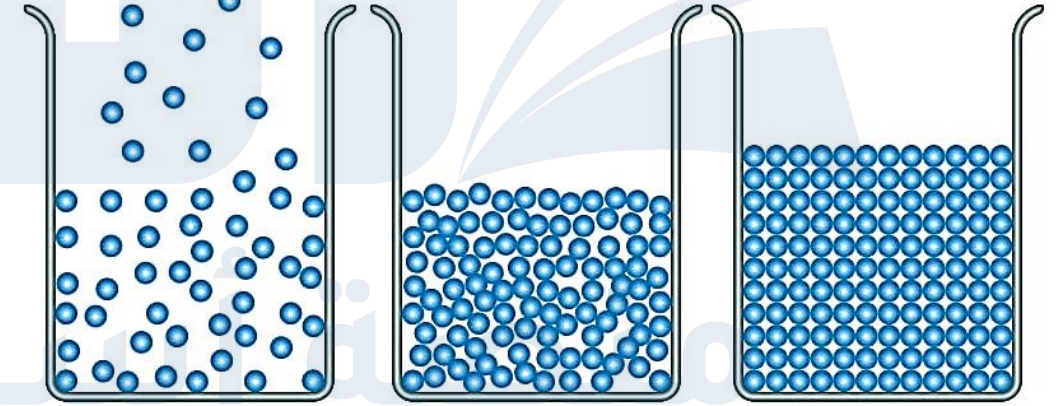
(أ)

الشكل (1): (أ) الحالة الصلبة. (ب) الحالة السائلة. (ج) الحالة الغازية.

مفاهيم أساسية في الديناميكا الحرارية

نموذج الحركة الجزيئية للمادة

ويوجد بين جزيئات المادة الواحدة قوى تماسك تعمل على تماسكها وترباطها، تكون كبيرة في الحالة الصلبة، ومتوسطة في الحالة السائلة، وصغيرة جدًا في الغازات.



(ج)

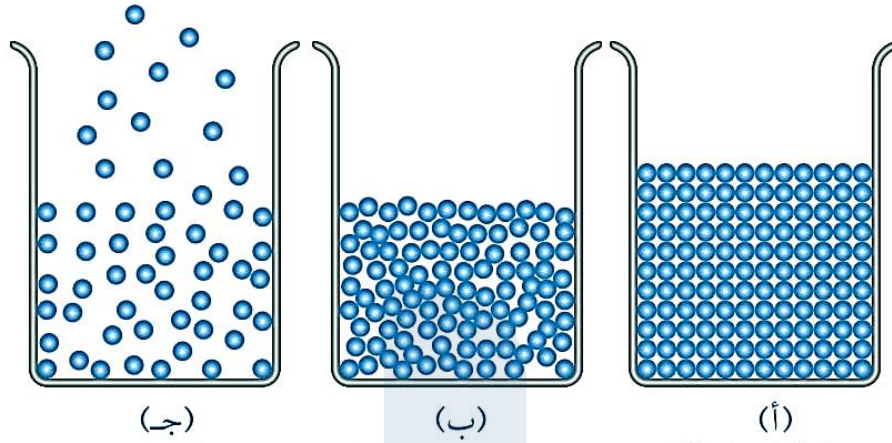
(ب)

(أ)

الشكل (1): (أ) الحالة الصلبة. (ب) الحالة السائلة. (ج) الحالة الغازية.

مفاهيم أساسية في الديناميكا الحرارية

نموذج الحركة الجزيئية للمادة



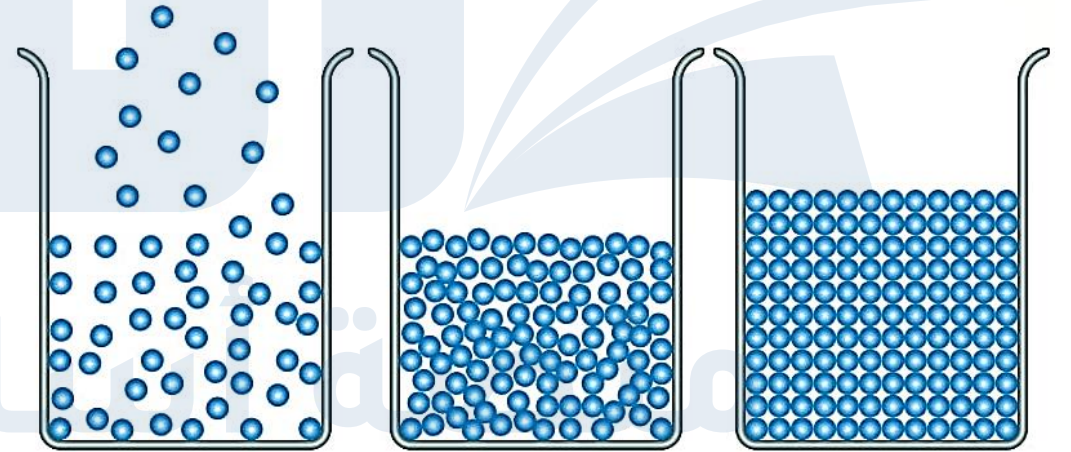
الشكل (1): (أ) الحالة الصلبة. (ب) الحالة السائلة. (ج) الحالة الغازية.

ويكون للمادة الصلبة شكل وحجم ثابتان، وجزيئاتها مترابطة
تتحرك حركة اهتزازية حول مواقع اتزانها، أما المادة السائلة فلها حجم
ثابت، وشكلها متغير حسب شكل الإناء الذي توضع فيه، وجزيئاتها
أقل ترابطاً منها في الحالة الصلبة، وتتحرك حركة اهتزازية وانتقالية
عشوائية. وأخيراً، يكون للمادة الغازية شكل وحجم غير ثابتين،
وجزيئاتها متباعدة بشكل كبير، وتتحرك حركات عشوائية: اهتزازية،
ودورانية، وانتقالية بسرعات أكبر كثيراً من سرعات جزيئات الحالة
السائلة.

مفاهيم أساسية في الديناميكا الحرارية

نموذج الحركة الجزيئية للمادة

ويستخدم نموذج الحركة الجزيئية فكرة أن جسيمات المواد تسلك سلوك كرات صغيرة. وعند استخدام النموذج لتفسير سلوك الغازات؛ يُطلق عليه غالباً اسم النظرية الحركية للغازات.



(ج)

(ب)

(أ)

الشكل (1): (أ) الحالة الصلبة. (ب) الحالة السائلة. (ج) الحالة الغازية.

✓ **أتحقق:** علام ينصّ نموذج الحركة الجزيئية للمادة؟

ينصّ نموذج الحركة الجزيئية للمادة على أن:

1. جميع المواد (الصلبة، والسائلة، والغازية) تتكون من جسيمات (جزيئات وذرات).
2. المسافات الفاصلة بين الجسيمات صغيرة جدًا في المواد الصلبة، ومتوسطة في السوائل، وكبيرة جدًا في الغازات.
3. يوجد بين جزيئات المادة الواحدة قوى تماسك تعمل على تماسكها وترباطها، تكون كبيرة في الحالة الصلبة، ومتوسطة في الحالة السائلة، وصغيرة جدًا في الغازات.
4. تتحرك جزيئات المادة حركة عشوائية مستمرة؛ حيث تكون حركتها اهتزازية موضعية في الحالة الصلبة، واهتزازية وانتقالية عشوائية في السوائل، واهتزازية وانتقالية ودورانية في الحالة الغازية.

درجة الحرارة والطاقة الحرارية

يُستخدم مصطلح درجة الحرارة؛ للتعبير عن مدى سخونة الأجسام أو برودتها. وتُحدّد درجة الحرارة اتجاه انتقال الطاقة بين الأجسام عند اتصالها حراريًّا؛ إذ تنتقل الطاقة تلقائيًّا من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة.

ويُقصد بالنظام System مجموعة الجسيمات (الذرات والجزيئات) أو الأجسام تحت الدراسة، وله حدود تفصله عن المحيط الخارجي Surrounding.

درجة الحرارة والطاقة الحرارية

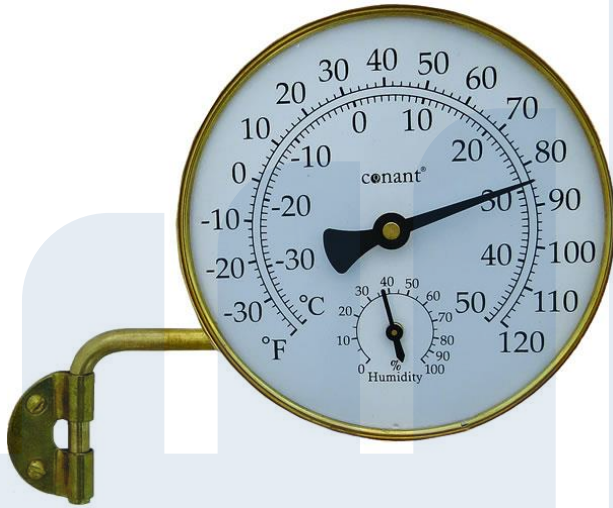
علل.

إنّ الاعتماد على حاسة اللمس في تحديد درجة حرارة جسم أو نظام قد يكون مضللاً أحياناً لأنها تختلف من شخص إلى آخر لأنّ إحساسي بدرجة حرارة جسم تعتمد على توصيله الحراري يُعطي عبارة وصفية لدرجة الحرارة (مثلاً: ساخن، بارد، أسخن، أبرد،...).

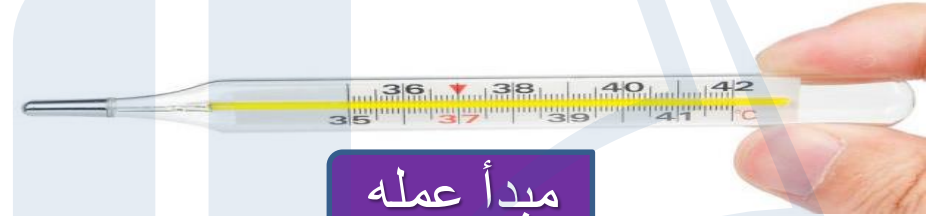
منصة أساسس التعليمية

موازين الحرارة

مهما تعددت أشكال موازين الحرارة، فإنّ كلاً منها يعتمد في عمله على التّغيّر في إحدى الخصائص الفيزيائية للمادّة، عند تغيّر درجة حرارته



يتميز بتغيّر طول شريط فلزيّ صلبٍ بارتفاع درجة حرارته



مبدأ عمله

يتمدّد الزئبق بداخله فيزداد حجمه مع تغيّر درجة حرارته



تتغيّر خاصيّة المقاومة الكهربائية لمرور التّيار الكهربائيّ في الفلزّ

ينقل البلاط الطاقة بمعدل أكبر من معدل نقلها في السجاد
(معامل التوصيل الحراري للبلاط أكبر منه للسجاد).

أفكر: عندما أقف حافي القدمين في الغرفة، واضعاً إحدى قدمي على سجادة، والأخرى على أرضية الغرفة، أشعر أنّ أرضية الغرفة أكثر برودة من السجادة على الرغم من أنّ لهما درجة الحرارة نفسها؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدمُ مصادر المعرفة المُتاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

منصة أساس التعليمية



منصة أساس التعليمية

درجة الحرارة والطاقة الحرارية

للحصول على تعريف أدق لدرجة الحرارة، أدرس ما يحصل لجسيمات مادة على المستوى المجهرى عندما يكسب طاقة أو يفقدها؛ إذ تمتلك هذه الجسيمات طاقة حركية، وطاقة كامنة ناتجة عن القوى المتبادلة بين جسيمات المادة، أنظر إلى الشكل (2). فعندما يكسب جسم طاقة يزداد مقدار سرعة حركة جسيماته العشوائية (الاهتزازية، الانتقالية، الدورانية)، أي تزداد طاقاتها الحركية، فترتفع درجة حرارته. إذن: لا بد من وجود علاقة بين درجة حرارة الجسم والطاقة الحركية لجسيماته؛ لذا، تُعرّف درجة الحرارة Temperature بأنها مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات المكوّنة لجسم ما. أمّا الطاقة الحرارية Thermal energy فتساوي مجموع الطاقة الحركية لجسيمات الجسم جميعها.

لجزيئات الماء مثلاً، طاقة
حركية نتيجة حركتها العشوائية،
كما يوجد طاقة كامنة بين
جزيئات الماء، وطاقة كامنة بين
الذرات داخل الجزيئات.



الشكل (3): الطاقة الحرارية
للتشي في الشكل (أ) أكبر منها
للتشي في الشكل (ب)، على
الرغم من تساوي درجتي حرارة
التشي في الكأسين.



الحرارة والطاقة الحرارية

عندما يفقد جسم طاقة أو يكسبها؛ تتغير درجة حرارته ما لم تتغير حالته الفيزيائية، أي إن طاقته الحرارية تتغير. فعندما يكون جسمان (نظامان) في حالة اتصال حراري تنتقل الطاقة من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارته، وتُسمى هذه الطاقة المنتقلة الحرارة **Heat**، ورمزها Q .

الحرارة والطاقة الحرارية

استخدم العلماء وحدات قياس مختلفة لقياس الحرارة خلال فترة تطوّر مفهومها، ولا يزال بعضها مستخدمًا، ومن أشهرها: السعر calorie وهو كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 g) من الماء بمقدار (1°C)، وتستخدم هذه الوحدة عادة للدلالة على مقدار ما يحويه الغذاء من طاقة. أما وحدة قياس الحرارة حسب النظام الدولي للوحدات فهي الجول (J) joule، وهي نفسها وحدة قياس أشكال الطاقة الأخرى. والعلاقة الرياضية التي تربط السعر بالجول هي: $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$.

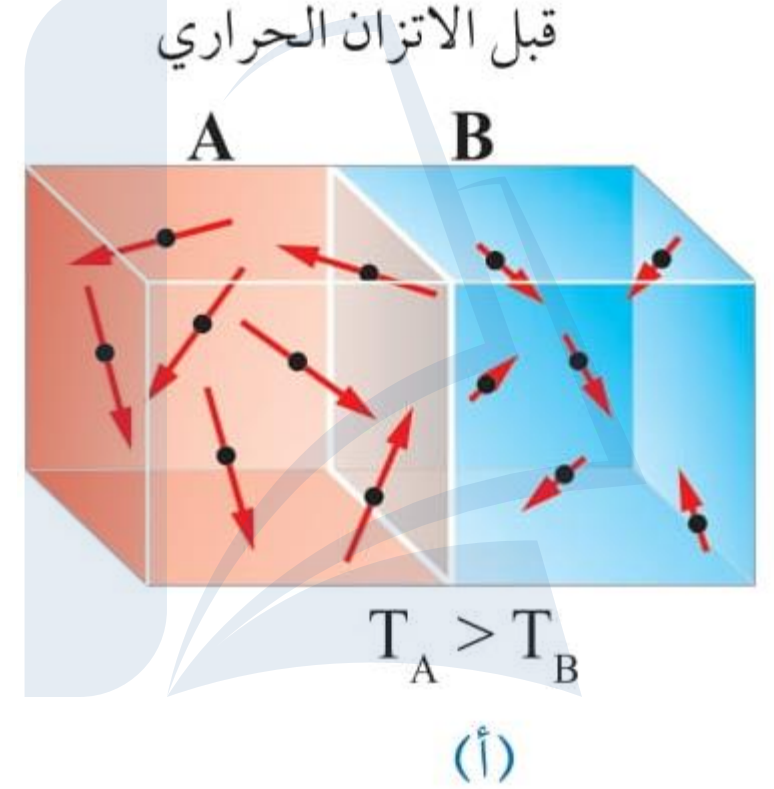
✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالحرارة؟ ما وحدة قياسها حسب النظام الدولي للوحدات؟

الحرارة هي الطاقة المنتقلة من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة، رمزها Q . وتُقاس بوحدة الجول (J) بحسب النظام الدولي للوحدات.

منصة أساسس التعليمية

الاتزان الحراري

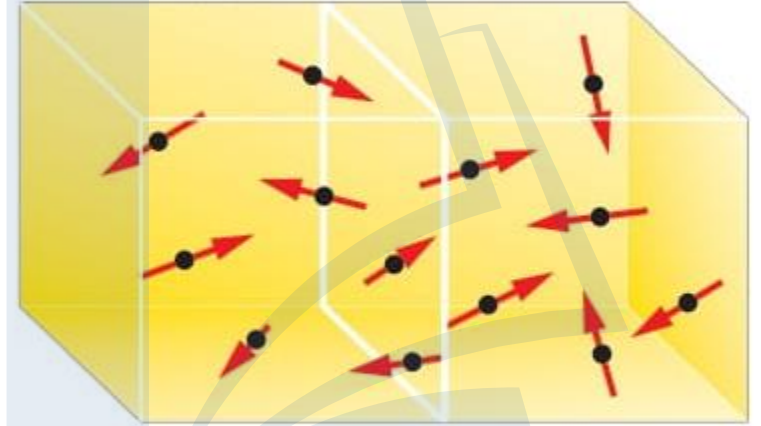
عند اتّصال الجسمين حراريًا تنتقل الطاقة تلقائيًا من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة؛ إذ تصطدم الجُسيمات المتحرّكة بسرعة كبيرة في الجسم A بالجُسيمات المتحرّكة بسرعة أقلّ منها في الجسم B، فتنتقل الطاقة من الجسم A إلى الجسم B نتيجة هذه التصادمات، ما يعني ازدياد الطاقة الحركية لجُسيمات الجسم B وتناقصها لجُسيمات الجسم A.



الاتزان الحراري

بعد الاتزان الحراري

A B

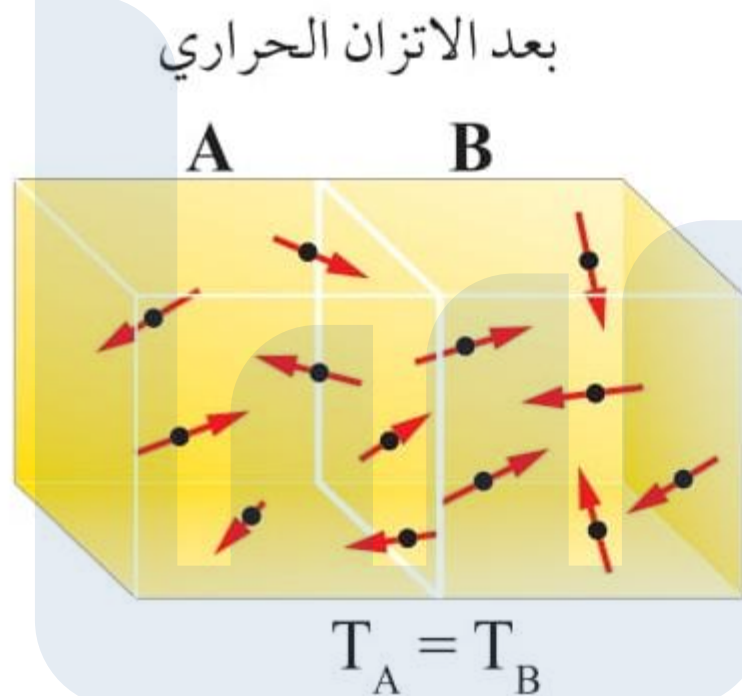


$$T_A = T_B$$

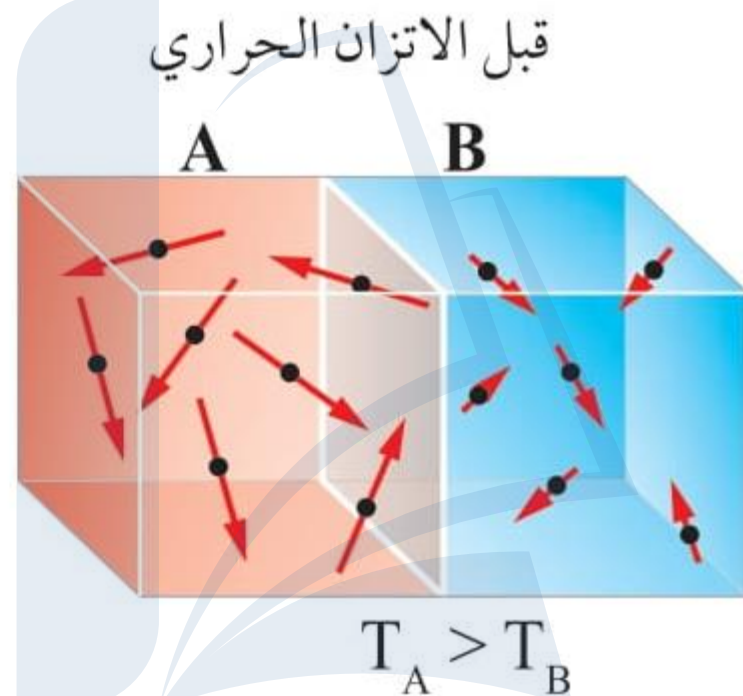
(ب)

يتساوى معدلا انتقال الطاقة بين الجسمين
ويكونان في حالة اتزان حراري Thermal equilibrium، ويكون صافي
الطاقة المنتقلة بين الجسمين صفراً

منصة أساسس التعليمية



(ب)



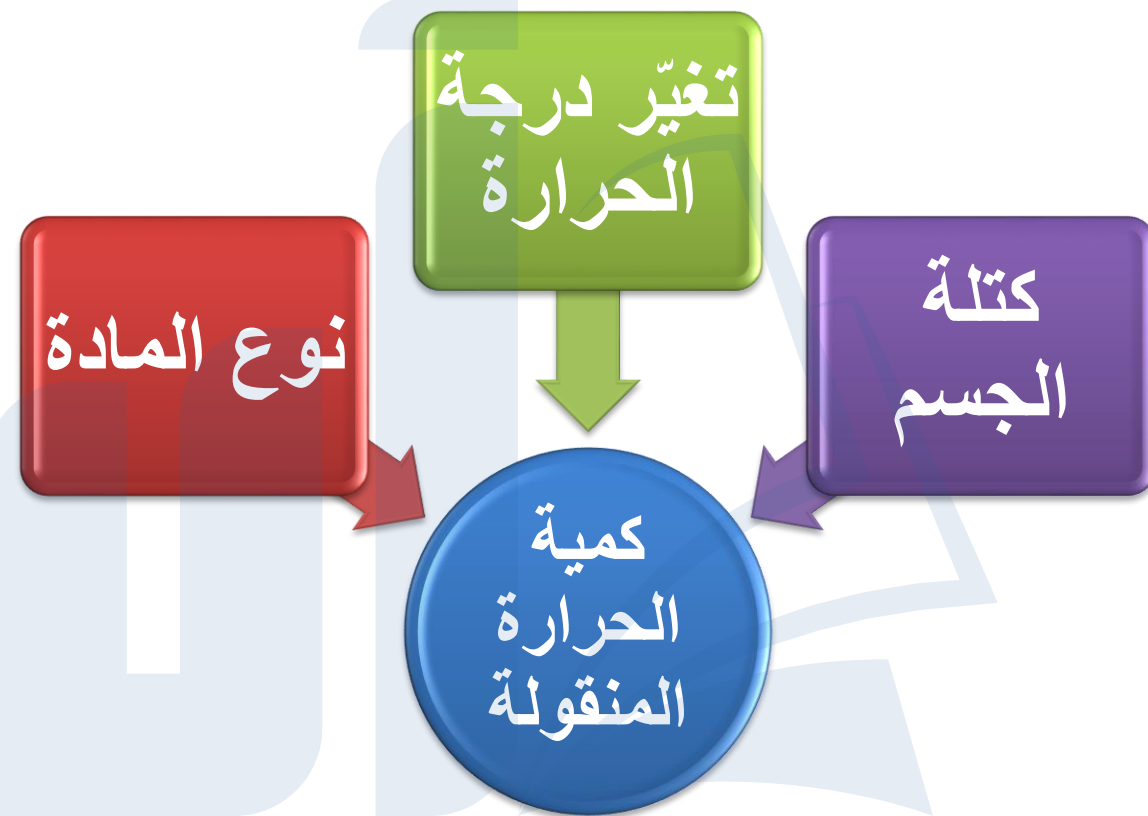
(أ)

منصة أساس التعليمية

✓ **أتحقق:** متى يصل جسمان إلى حالة الاتزان الحراري؟

يصل جسمان إلى حالة الاتزان الحراري عندما يتساوى معدلا انتقال الحرارة بين الجسمين، ويكون صافي الطاقة المنتقلة بينهما صفراً.

منصة أساس التعليمية



ألاحظ في يوم مشمس دافئ، أنَّ الماء في مسبح خارجي يظلُّ أكثر برودة من الخرسانة حول المسبح.

توجد خاصية للمادة تعتمد على طبيعتها، وتختلف من مادة إلى أخرى نتيجة اختلاف كيفية حركة ذراتها وجزيئاتها على المستوى المجهرى، واختلاف عدد ذراتها أو جزيئاتها في وحدة الكتلة، إضافة إلى اختلافها في قدرتها على توصيل الطاقة حسب تراصّ الذرات وترباطها.

تُسمّى هذه الخاصّية السعة الحرارية النوعية **Specific heat capacity**، وتُعرّف بأنّها كمّية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 kg) من المادّة بمقدار (1°C)، ورمزها c ، وتُقاس بوحدة J/kg.K حسب النظام الدولي للوحدات. وهي تعتمد على نوع مادّة الجسم فقط؛ فهي تختلف من مادّة إلى أخرى، ولا تعتمد على كتلة الجسم أو حجمه.

السعة الحرارية النوعية

وبناءً على السعة الحرارية النوعية؛ يُمكنني تفسير سبب ارتفاع درجة حرارة الماء في المسبح بمقدار أقلّ من ارتفاع درجة حرارة الخرسانة المحيطة به، بأنّه نتيجة الاختلاف في السعة الحرارية النوعية بينهما. فالسعة الحرارية النوعية للماء (4186 J/kg.K) تقريبًا، بينما السعة الحرارية النوعية للخرسانة (880 J/kg.K) تقريبًا. وهذا يعني أنّ (1 kg) من الخرسانة يحتاج فقط إلى (880 J) من الطاقة لرفع درجة حرارته بمقدار (1 K)، بينما يحتاج (1 kg) من الماء إلى ما يقارب خمسة أضعاف هذه الطاقة لرفع درجة حرارته بمقدار (1 K)

السعة الحرارية النوعية

يُستخدم الماء في أنظمة التبريد في المحركات؛ حيث يكتسب الطاقة الحرارية من أجزاء المحرك الساخنة جدًا في أثناء دورته فيه، فترتفع درجة حرارة الماء بمقدار كبير، ثم يصل الماء المشعّات (الرادييتر Radiators) في أثناء دورته من أجل تبريده، حيث تكون درجة حرارته مرتفعة جدًا، وإذا فُتح غطاء الرادييتر عندما تكون درجة حرارة المحرك مرتفعة فإن بخار الماء يتدفق خارجًا منه ممّا يتسبّب في إصابة الشخص بحروق بالغة.



أفكر: يجب تفقّد الماء في المشعّات (الرادييتر) في السيارة بشكل دوري؛ للتأكد من كمية الماء فيها. لماذا يُحذّر من فتح غطاء (الرادييتر) عندما تكون درجة حرارة المحرك مرتفعة؟
أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتّاحة للتوصل إلى إجابة عن السؤال.

السعة الحرارية النوعية

إذا زوّد جسم كتلته (m) بطاقة مقدارها (Q)، وتغيّرت درجة حرارته بمقدار (ΔT)، فإنّه يمكن التعبير عن السعة الحرارية النوعية لمادّة الجسم رياضياً بالعلاقة الآتية:

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

أستخدمُ هذه العلاقة لحساب كمّية الطاقة التي يكتسبها جسم أو يفقدها عند تغيير درجة حرارته -التي تساوي التغير في طاقته الحرارية (ΔE) - كما يأتي:

$$Q = mc \Delta T = mc (T_f - T_i)$$

ألاحظ أنه إذا اكتسب الجسم طاقة؛ فإنَّ كلاً من (Q) و (ΔT) تكونان موجبتين. أمّا إذا فقد الجسم طاقة فإنَّ كلاً من (Q) و (ΔT) تكونان سالبتين. ويُمكنني حساب التغيّر في درجة الحرارة بوحدة سلسيوس أو كلفن؛ إذ إنّ الفرق بين دريجين متتاليين في مقياس سلسيوس يساوي عددياً الفرق بين دريجين متتاليين في مقياس كلفن.

السعة الحرارية النوعية

الجدول 1: السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة عند درجة حرارة (25°C) وضغط جوي معياري.

المادة	السعة الحرارية النوعية $c(\times 10^3 \text{ J/kg.K})$
الألمنيوم	0.9
النحاس	0.387
الذهب	0.129
الحديد	0.448
الرصاص	0.128
الفضة	0.234
الجليد (0°C)	2.093
الماء (15°C)	4.186
بخار الماء (100°C)	2.01

✓ **أتحقق:** ما السعة الحرارية النوعية؟ ما العوامل التي تعتمد عليها

كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة؟

السعة الحرارية النوعية هي كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة (1 kg) من المادة بمقدار (1°C)، رمزها c ، وتُقاس بوحدة J/kg.K بحسب النظام الدولي للوحدات.

وتعتمد كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة على: كتلة الجسم، ونوع مادته (السعة الحرارية النوعية)، والتغير في درجة حرارته.

منصة أساسس التعليمية

المثال ١

وضعت هناء قطعة رصاص كتلتها (250 g) ودرجة حرارتها (20°C)، على مصدر حراري زوّدها بكمّية طاقة مقدارها (2.6 kJ). إذا علمتُ أنّ السعة الحرارية النوعية للرصاص ($c_{\text{pb}} = 130 \text{ J/kg.K}$) تقريباً، فأحسبُ مقدار ما يأتي:

أ . التغيّر في الطاقة الحرارية لقطعة الرصاص (ΔE_{pb}).

ب . درجة حرارة قطعة الرصاص النهائية.

المثال 2

سخّان كهربائي قدرته (1.5 kW)، يحتوي على (20 kg) ماء درجة حرارته (15°C)، يُراد تسخينه إلى درجة حرارة (65°C). بافتراض تحوّل الطاقة الكهربائية كاملة إلى طاقة حرارية اكتسبها الماء، والسعة الحرارية النوعية للماء ($c_w = 4200 \text{ J/kg.K}$) تقريباً، أحسب مقدار ما يأتي:

- أ. كمّية الطاقة التي اكتسبها الماء.
- ب. الزمن الذي يستغرقه السخّان في تسخين الماء.

1. **أحسبُ:** قطعة الألمنيوم كتلتها (15 g) ودرجة حرارتها (450 K). وُضعت داخل إناء يحتوي على ماء فانخفضت درجة حرارتها إلى (280 K). أحسبُ كمّية الطاقة التي فقدتها قطعة الألمنيوم.



الشكل (6): الشرر المتطاير من أحد أنواع الألعاب النارية (Sparklers).

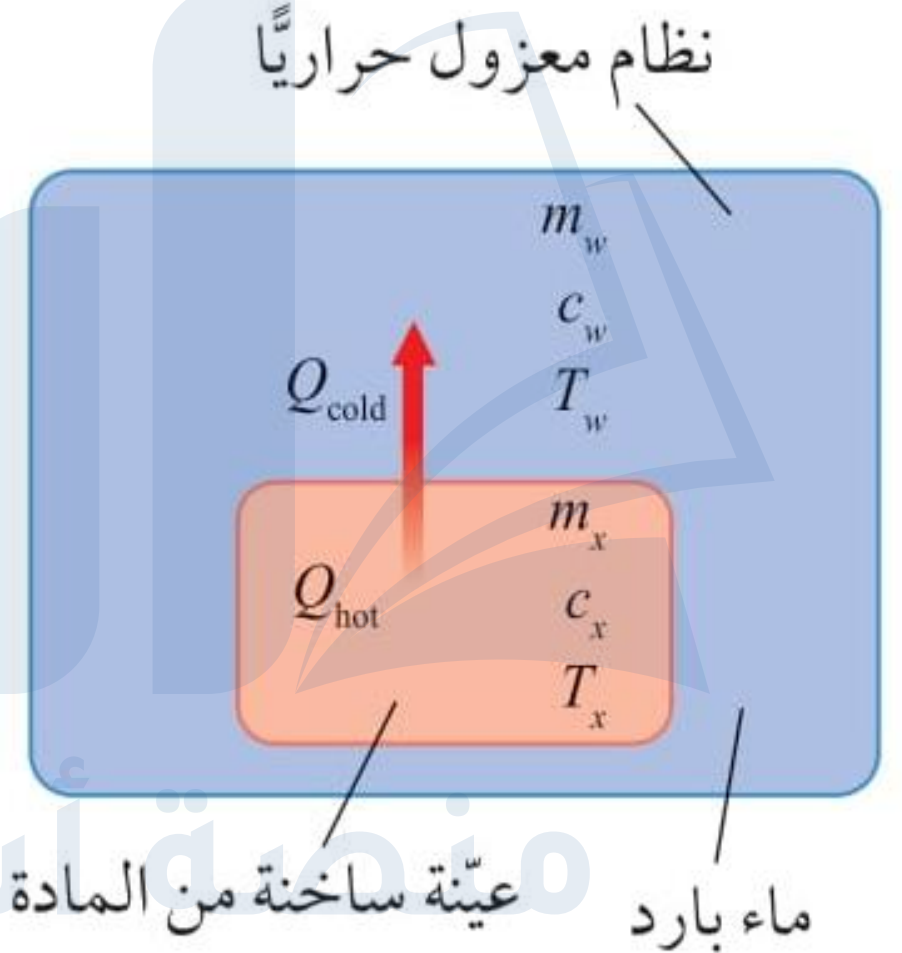
2. **أُحْلَلْ وَأَسْتَنْجُ:** يُبَيِّن الشكل (6) أحد أنواع الألعاب النارية البرّاقة الصغيرة التي تُحْمَل باليد وتُسَمَّى الماسة (Sparkler)، وتتميّز بأنّها تشتعل ببطء مولّدة شرراً ولهباً. وتكون درجة حرارة الجزء المشتعل منها (2000°C) تقريباً، ويؤدّي لمسه باليد إلى الإصابة بحروق خطيرة. أوضح لماذا لا يُسبّب سقوط شرارة منبعثة من الماسة المحترقة على الجلد إصابات خطيرة له؟

كتلة الشرارة الواحدة صغيرة جدًا، ودرجة حرارة الهواء المحيط بها أقل كثيرًا من درجة حرارتها، لذا فإنه في اللحظة التي تنطلق بها الشرارة في الهواء تنخفض درجة حرارتها بشكل كبير وملحوظ بمجرد فقدتها كمية صغيرة من الطاقة لأن كتلتها صغيرة جدًا؛ حيث $(\Delta T = \frac{Q}{mc})$. لذا تكون درجة حرارة الشرارة التي تلامس الجلد قد انخفضت إلى ما دون (2000°C) بمقدار كبير جدًا، وستكون كمية الطاقة التي تنقلها إلى الجلد صغيرًا جدًا؛ لأن (m) صغيرة جدًا أيضًا.

لقياس السعة الحرارية النوعية لمادة معيّنة؛ يلزمنا قياس كلّ من: كتلتها، والتغيّر في درجة حرارتها، وكمّية الطاقة التي تكتسبها أو تفقدها. يمكن قياس الكتلة والتغيّر في درجة الحرارة بطريقة مباشرة، أمّا قياس كمّية الطاقة فيتطلّب عدّة إجراءات وخطوات.

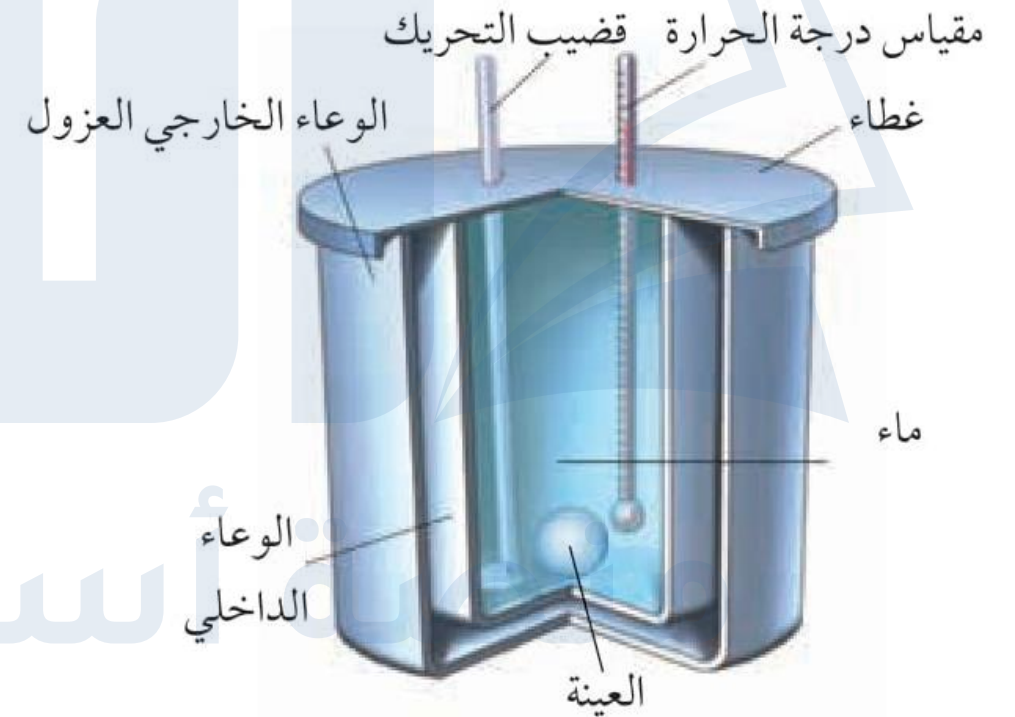
يوضح الشكل (8) نظامًا يتكوّن من عيّنة (x) مرتفعة درجة الحرارة (T_x) من مادة مجهولة السعة الحرارية النوعية (c_x) موضوعة في ماء بارد؛ إذ تنتقل الطاقة تلقائيًا داخل النظام من الجزء الأعلى درجة حرارة إلى الجزء الأدنى درجة حرارة، حتى يُصبحا في حالة اتزان حراري، ويكون لهما درجة الحرارة النهائية (T_f) نفسها.

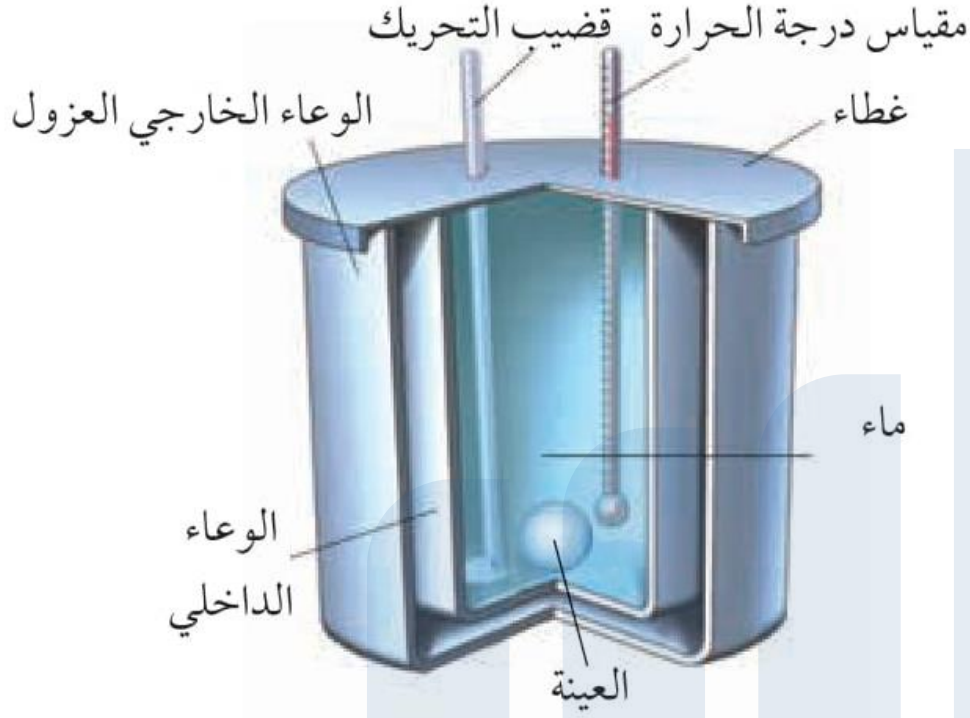
الشكل (8): في تجربة قياس السعة الحرارية النوعية، توضع عيّنة ساخنة من مادة مجهولة السعة الحرارية النوعية في ماء بارد، في وعاء يعزل النظام عن المحيط الخارجي.



(بإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسعّر)

تُسمّى الأداة التي يحدث داخلها تبادل الطاقة الحرارية المسعّر الحراري **Calorimeter**.





لا يوجد تغيّر في الحالة الفيزيائية لجزأي النظام؛ لذا، يكون التغيّر في طاقة كل منهما ناتج عن التغيّر في طاقته الحرارية فقط. ألاحظ أنّ التغيّر في الطاقة الحرارية لأحد جزأي النظام موجب، فترتفع درجة حرارته، بينما يكون التغيّر في الطاقة الحرارية لجزء النظام الآخر سالبًا، فتتخفض درجة حرارته. وبما أنّ النظام مغلق ومعزول ولا يُبدل شغل عليه؛ فإنّ التغيّر في الطاقة الحرارية لجزأي النظام ناتج عن انتقال الطاقة بينهما، ومقداره يساوي كمية الطاقة المنتقلة (Q)؛ لذا، يمكن التعبير عن تغيّر الطاقة الحرارية لكلّ من جزأي النظام بالعلاقة الآتية:

وبما أنّ كمّية الطاقة التي تفقدها العيّنة x (Q_{hot}) تساوي كمّية الطاقة التي يكتسبها الماء البارد (Q_{cold})، وباستخدام مبدأ حفظ الطاقة؛ يُمكنني التعبير رياضياً عمّا سبق كما يأتي:

$$Q_x + Q_w = 0$$

ولأيّ عدد من الأجسام (A, B, C, ...) في حالة اتّصال حراري في نظام مغلق ومعزول ومتّزن حراريًا، يمكن كتابة معادلة انتقال الطاقة بينها كما يأتي:

$$Q_A + Q_B + Q_C + \dots = 0$$

✓ **أتحقّق:** كيف أقيس السعة الحرارية النوعية لمادّة عملياً؟

أحضّر مسعراً حراريّاً، وأضع فيه كمية من الماء معلومة الكتلة ودرجة الحرارة، ثم أسخّن عينة معلومة الكتلة من المادة مجهولة السعة الحرارية النوعية إلى درجة حرارة محدّدة، ثم أضعها داخل المسعر. عند وصول النظام المكوّن من الماء والعينة ومادة المسعر إلى الاتزان الحراري أطبق مبدأ حفظ الطاقة وأحسب السعة الحرارية النوعية للمادة.

$$Q_A + Q_B + Q_C + \dots = 0$$

المثال 3

مسعر حراري يحتوي على ماء كتلته (0.4 kg) ودرجة حرارته (20°C)، وضعت فيه كرة فلزية كتلتها (0.05 kg) ودرجة حرارتها (200°C). إذا كانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتزان الحراري (22.4°C)، والنظام مغلق ومعزول وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسعر، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. التغير في الطاقة الحرارية للماء.

ب. السعة الحرارية النوعية لمادة الكرة الفلزية.

وضع ياسين قالباً فلزياً كتلته (0.14 kg) ودرجة حرارته (160°C)، في مسعر حراري يحتوي على ماء كتلته (0.15 kg) ودرجة حرارته (10°C)، فكانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتزان الحراري (24°C). إذا علمت أن النظام مغلق ومعزول وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسعر، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. التغير في الطاقة الحرارية للقالب الفلزي.

ب. السعة الحرارية النوعية لمادة القالب.

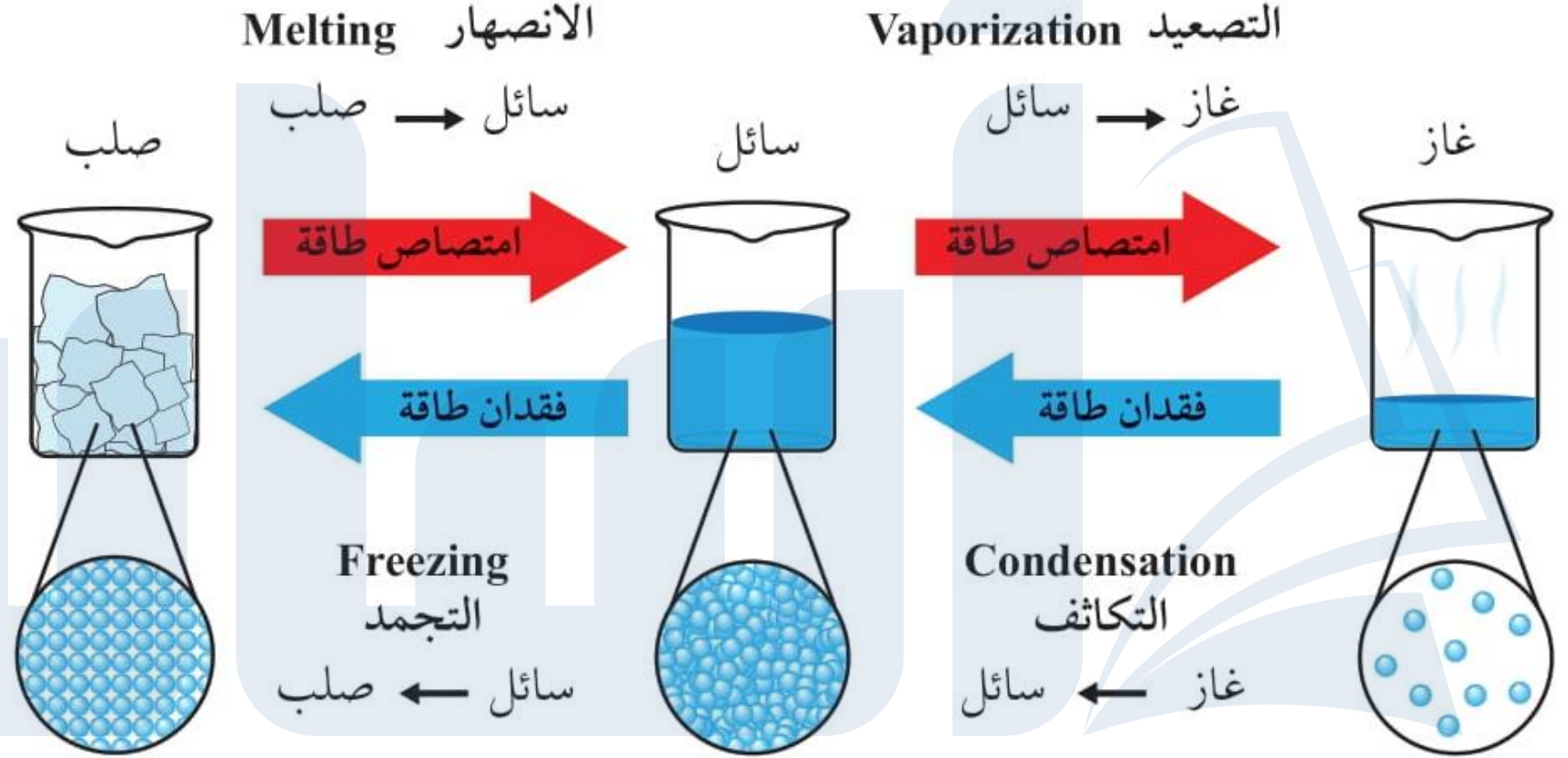
حالات المادّة

تُصنّف الموادّ حسب حالتها الفيزيائية إلى: صلبة، أو سائلة، أو غازية. تُسمّى هذه الحالات الثلاث الحالات الفيزيائية للمادّة، وهي الحالات الفيزيائية الأكثر شيوعاً للمادّة. وقد تعرّفتُ خصائص كلّ منها عند دراسة نموذج الحركة الجزيئية في بداية الدرس. يوجد حالة فيزيائية رابعة للمادّة تُسمّى البلازما (Plasma)، عند درجات الحرارة العالية جداً فقط؛ لذا، لن ندرسها.

منصة أساس التعليمية

يحدث غالباً تغير في درجة حرارة المادة عندما تنتقل الطاقة بينها وبين محيطها الخارجي. ولكن، توجد حالات لا يؤدي فيها نقل الطاقة إلى تغير في درجة الحرارة. ويحدث هذا عندما تتغير الخصائص الفيزيائية للمادة من حالة فيزيائية إلى حالة أخرى، يُشار إلى هذا التغير عادة باسم تغير الحالة الفيزيائية Phase change، أنظر إلى الشكل (9).

يوجد تغيّران شائعان في الحالة الفيزيائية للمادّة، هما: التغيّر بين الحالتين الصلبة والسائلة (الانصهار، والتجمّد)، والتغيّر بين الحالتين السائلة والغازية (التصعيد، والتكاثف). تتضمّن هذه التغيرات في الحالة الفيزيائية للمادّة تغيّراً في الطاقة الكامنة (الوضع) للمادّة، من دون تغيّر في درجة حرارتها.



الجسيمات تهتز حول
مواقع اتزانها.

تتحرك الجسيمات بحرية،
ولكنها قريبة من بعضها.

تتحرك الجسيمات بحرية
بسرعات كبيرة، والمسافات
بينها كبيرة.

التغير بين الحالتين: الصلبة والسائلة

عند تزويد مادة صلبة بالطاقة؛ ترتفع درجة حرارتها حتى تصل إلى درجة حرارة محدّدة تثبت عندها، على الرغم من استمرار تزويدها بالطاقة، وأُلاحظ أنّ الحالة الفيزيائية للمادة الصلبة تبدأ في التغيّر وتحوّل إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها. تُسمّى درجة الحرارة التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة درجة الانصهار **Melting point**، وهي خاصية فيزيائية للمادة النقية، وتتغيّر من مادة إلى أخرى حسب قوى الترابط بين جسيمات المادة. وهي نفسها درجة حرارة التجمّد **Freezing point** التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة. أسأل: ماذا حدث لكمية الطاقة التي زوّدت للمادة في أثناء انصهارها؟ إذ إنّها لم ترفع درجة حرارتها؟ للإجابة عن ذلك، أدرس الحرارة النوعية الكامنة للانصهار.

الحرارة النوعية الكامنة للانصهار

درستُ أنَّ تسخين مادّة ما يتسبّب في زيادة الطاقة الحركية لجُسيماتها، فتزداد درجة حرارتها. أمّا في أثناء تغيّر الحالة الفيزيائية للمادّة عند درجة الانصهار، فإنّ تسخينها يزيد من الطاقة الكامنة للجُسيمات، مع بقاء طاقتها الحركية ثابتة؛ لذا، لن تزداد درجة حرارتها.

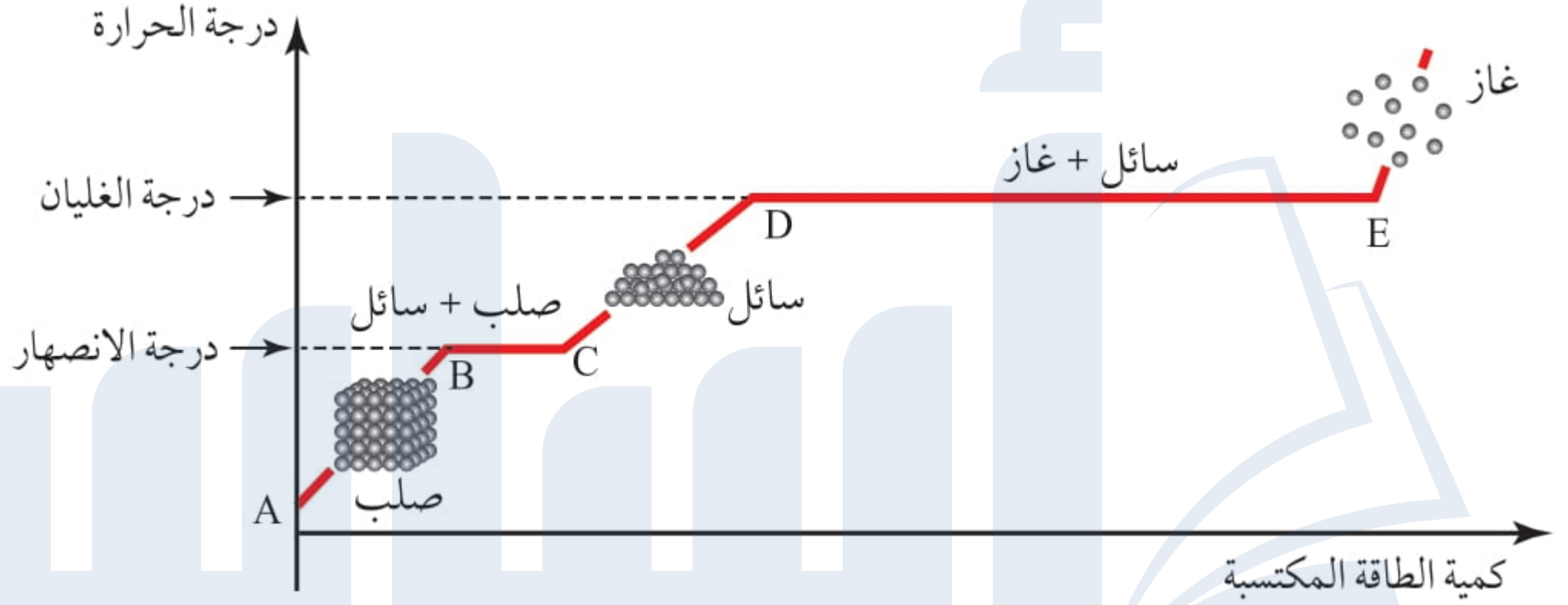
الحرارة النوعية الكامنة للانصهار Specific Latent Heat of Fusion

أستنتج أن نقل الطاقة إلى مادة ما؛ لا يؤدي دائماً إلى زيادة درجة حرارتها، فهو في بعض الأحيان يُغيّر حالتها الفيزيائية. تُعرّف الحرارة النوعية الكامنة للانصهار **Specific latent heat of fusion** بأنها كمية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة من دون تغيير درجة حرارتها، رمزها (L_f) ووحدة قياسها (J/kg) حسب النظام الدولي للوحدات. وهي خاصية للمادة النقية لا تعتمد على كتلتها. فمثلاً، الحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد تساوي ($3.34 \times 10^5 J/kg$)، وهذا يعني أنه يلزم طاقة مقدارها ($3.34 \times 10^5 J$) لتحويل (1 kg) من الجليد عند درجة الانصهار ($0^\circ C$) من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها.

أفكر: عند درجة تجمّد الماء أو درجة انصهاره (درجة حرارة 0°C)، يوجد الماء في حالتية الصلبة والسائلة معًا. إذا أضفت (20 g) من الجليد عند درجة حرارة (0°C) إلى كأس عصير، فسيكون له تأثير تبريد على العصير أكبر من إضافة (20 g) من الماء السائل عند (0°C) إليه. لماذا؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتّاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

عند إضافة الجليد إلى العصير يكتسب الجليد طاقة من العصير من أجل تغيير حالته الفيزيائية من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة؛ من أجل التغلب على القوى التي تربط بين جزيئاته التي تحافظ على شكله الصلب، وبعد أن ينصهر الجليد يكتسب طاقة من العصير لرفع درجة حرارته للوصول إلى حالة الاتزان الحراري مع العصير. أمّا عند إضافة ماء سائل بدرجة صفر فإنه يكتسب الطاقة من العصير لرفع درجة حرارته للوصول إلى الاتزان الحراري مع العصير حيث لا يوجد تغير في الحالة الفيزيائية هنا. إذن، يرجع تأثير تبريد الجليد على العصير إلى انتقال الطاقة الحرارية من العصير السائل إلى الجليد لصلهه.

منصة أساسس التعليمية



تُستخدم الطاقة المكتسبة في تكسير الروابط بين جسيمات الحالة الصلبة، بحيث تصبح حرة وتتحرك مبتعدة عن بعضها. وبعد انصهار مادة الجسم كاملة وتحولها إلى سائل تؤدي أي كمية طاقة مكتسبة إلى رفع درجة حرارة المادة السائلة، ويتضح ذلك بين النقطتين C و D.

✓ **أتحقق:** ماذا أعني بقولي إن الحرارة النوعية الكامنة لانصهار

الذهب ($6.44 \times 10^4 \text{ J/kg}$)؟

يعني أنه يلزم طاقة مقدارها ($6.44 \times 10^4 \text{ J}$) لتحويل (1 kg) من الذهب عند درجة انصهاره من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند درجة الحرارة نفسها.

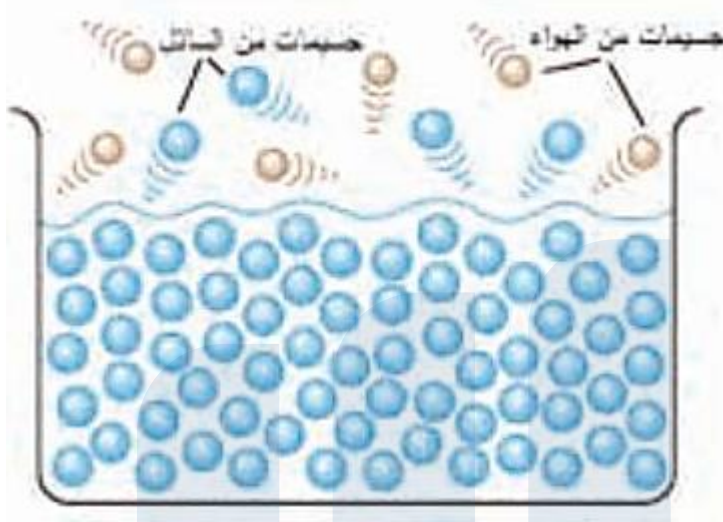
التغير بين الحالتين: السائلة والغازية

باستمرار تسخين مادة سائلة ترتفع درجة حرارتها حتى تثبت عند درجة حرارة محدّدة، تبدأ عندها حالتها الفيزيائية بالتغيّر إلى الحالة الغازية عند درجة الحرارة نفسها. تُسمّى درجة الحرارة التي تتغيّر عندها الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية درجة الغليان **Boiling point**، وهي خاصية فيزيائية للمادة النقية، تتغيّر من مادة إلى أخرى حسب قوة الترابط بين جسيماتها. أما التكاثف Condensation فهو تغيّر الحالة الفيزيائية للمادة من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة. وتثبت درجة حرارة المادة في أثناء غليانها على الرغم من استمرار تزويدها بالطاقة، وكي أعرف ما يحدث لهذه الطاقة أدرس الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد.

الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد Specific Latent Heat of Vaporization

يتطلب تغيير الحالة الفيزيائية لمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تزويدها بالطاقة؛ من أجل التغلب على القوى التي تربط بين جزيئاتها. فمثلاً، يحتاج الماء في أثناء غليانه عند (100°C) إلى استمرار تزويده بالطاقة لاستمرار غليانه وتحويله إلى بخار.

الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد Specific Latent Heat of Vaporization

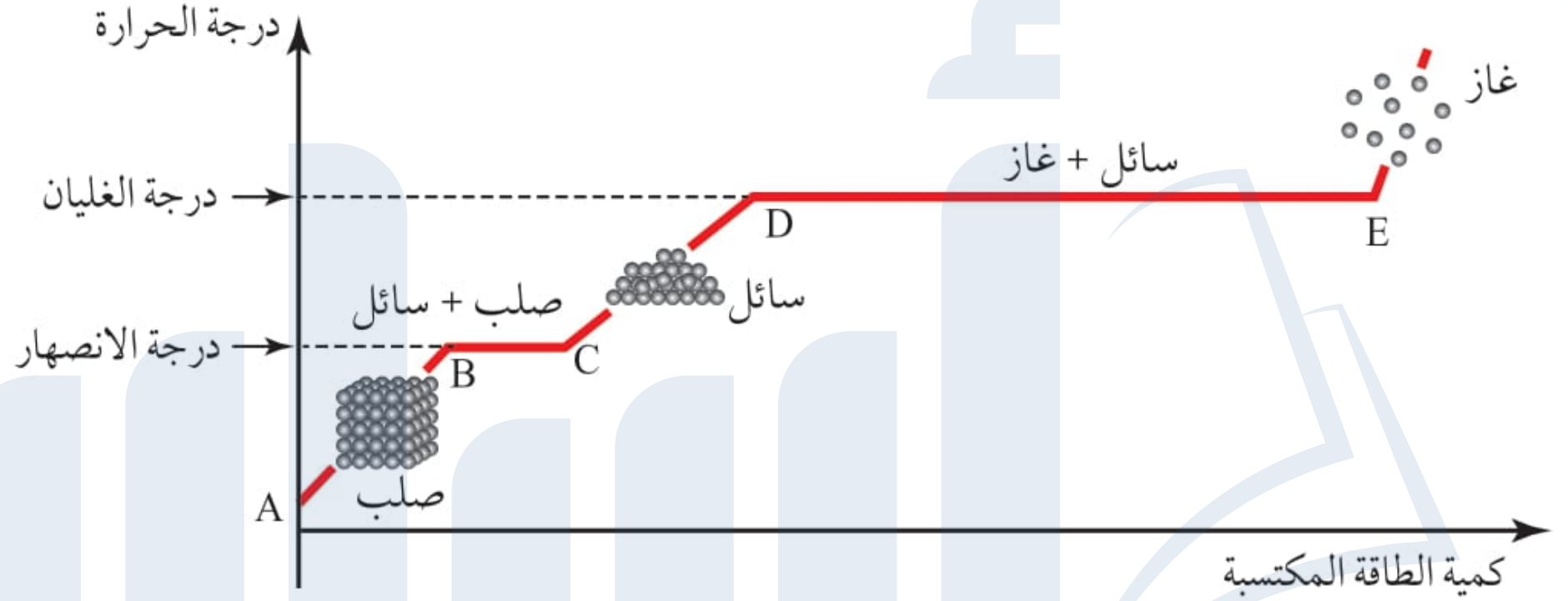


في أثناء تغيّر الحالة الفيزيائية للمادة عند درجة الغليان، تُستخدم الطاقة التي تُزوّد للسائل في أثناء غليانه في كسر قوى الترابط بين الجزيئات التي تُبقي جزيئات السائل معًا، ما يؤدي إلى زيادة المسافة الفاصلة بينها؛ لذا، يزيد التسخين من الطاقة الكامنة للجسيمات وليس طاقتها الحركية، فتثبت درجة الحرارة عند درجة الغليان ولا تزداد. وتُستخدم هذه الطاقة أيضًا لبذل شغل ضد القوة الناتجة عن ضغط الغلاف الجوي، بحيث تمكّن الجسيمات من مغادرة سطح السائل، أنظر إلى الشكل (11).

الشكل (11): يلزم طاقة إضافية لبذل شغل ضدّ قوّة الضغط للجوي لتوفير حيّز لجسيمات السائل المتبخرة.

الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد Specific Latent Heat of Vaporization

تسمّى كمّية الطاقة اللازمة لتحويل (1 kg) من المادّة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية دون تغيير درجة حرارتها الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد **Specific latent heat of vaporization**، ورمزها (L_v) ووحدة قياسها (J/kg) حسب النظام الدولي للوحدات. وهي خاصّية للمادّة النقية لا تعتمد على كتلتها. فمثلاً، الحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء تُساوي ($2.26 \times 10^6 J/kg$)، وهذا يعني أنّه يلزم طاقة مقدارها ($2.26 \times 10^6 J$) لتحويل (1 kg) من الماء عند درجة الغليان ($100^\circ C$) من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار الماء) عند درجة الحرارة نفسها.



تستخدم الطاقة المكتسبة في تكسير الروابط بين جسيمات الحالة السائلة، بحيث تستطيع مغادرة سطح السائل وتحرّك مبتعدة عن بعضها. وبعد تبخر المادة السائلة كاملة فإنّ أيّ كمية طاقة يكتسبها البخار تؤديّ إلى رفع درجة حرارته، ويتّضح ذلك في المنحني البياني بعد النقطة E.

يُعبّر عن كمّية الطاقة اللازمة لصهر (Q_{fusion}) كتلة (m) من مادّة صلبة نقية عند درجة انصهارها؛ بالعلاقة الآتية: $Q_{\text{fusion}} = \pm mL_f$.

كما يُعبّر عن كمّية الطاقة اللازمة لتبخير (تصعيد) ($Q_{\text{vaporization}}$) كتلة (m) من مادّة سائلة نقية عند درجة غليانها؛ بالعلاقة الآتية: $Q_{\text{vaporization}} = \pm mL_v$.

الجدول 2: درجتا الانصهار والغليان والحرارة النوعية الكامنة للانصهار والحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لبعض المواد الشائعة.

المادة	درجة الانصهار (°C)	الحرارة النوعية الكامنة للاصهار (J/kg)	درجة الغليان (°C)	الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد (J/kg)
الأكسجين	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
الماء	0	3.33×10^5	100	2.26×10^6
الرصاص	327.3	2.45×10^4	1750	8.70×10^5
الألمنيوم	660	3.97×10^5	2450	1.14×10^7
الفضة	960.8	8.82×10^4	2193	2.33×10^6
الذهب	1063	6.44×10^4	2660	1.58×10^6
النحاس	1083	1.34×10^5	1187	5.06×10^6

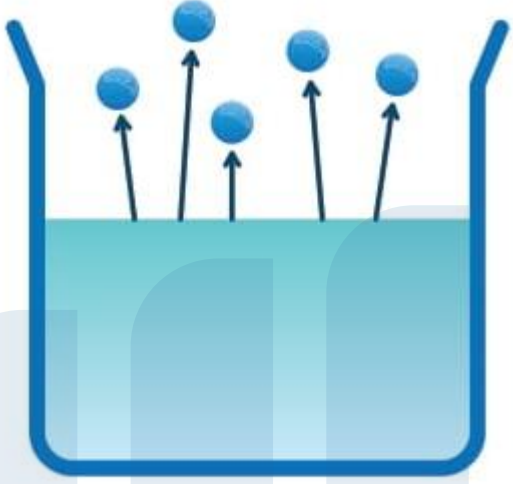
أفكر: لماذا تكون درجة حرارة الجو في أثناء تساقط الثلج أدفأ نسبياً من درجة الحرارة في أثناء انصهاره؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصل إلى إجابة عن السؤال.

عملية تكاثف الماء وتحوّله إلى ثلج طاردة للطاقة؛ حيث ينطلق في أثناء هذه العملية طاقة تساوي في مقدارها الحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد، ممّا يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الجو نسبيًا. أما عملية انصهار الثلج فهي ماصّة للحرارة، إذ يمتص الحرارة من سطح الأرض أسفل منه ومن الجو ممّا يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الجو؛ حيث تؤدي الطاقة المكتسبة إلى انصهار الثلج عند درجة الانصهار

✓ **أتحقق:** ماذا أعني بقولي إن الحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الرصاص ($8.70 \times 10^5 \text{ J/kg}$)؟

يعني أنه يلزم طاقة مقدارها ($8.70 \times 10^5 \text{ J}$) لتحويل (1 kg) من الرصاص عند درجة الغليان من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند درجة الحرارة نفسها.

منصة أساس التعليمية



التبخر Evaporation

يخلط بعض الطلبة بين مفهومَي التبخر والغليان؛ إذ يوجد فرق بينهما على الرغم من أنَّهما يُمثِّلان تغيّر حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، إلّا أنَّ التبخر Evaporation يحدث عند درجات الحرارة جميعها، وهي عملية بطيئة تحدث للجزيئات الموجودة على سطح السائل كونها أقلّ ارتباطاً ببقية جزيئات السائل مقارنة بارتباط الجزيئات داخل السائل؛ فعندما يمتلك الجزيء طاقة حركية كافية تكون عادة أكبر من متوسط الطاقة الحركية لبقية جزيئات السائل فإنّه يتبخر.

التبخر والغليان

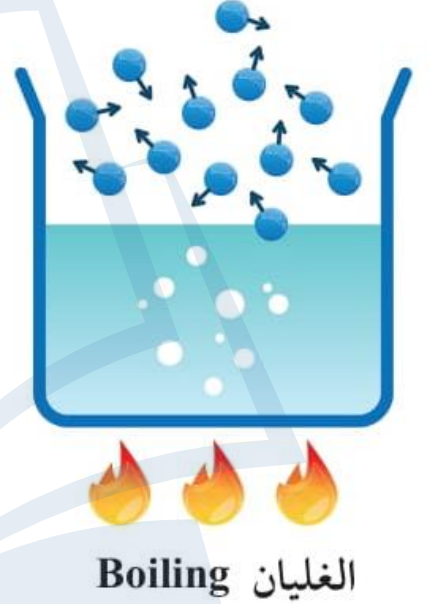
فمثلاً، تُسخّن أشعة الشمس الماء على السطح، ويكون لبعض الجزيئات الموجودة على سطح الماء طاقة حركية أكبر من غيرها، وإذا كانت هذه الطاقة كافية لكسر قوى الترابط بين جزيئاته فإنّها ستتبخر وتغادر سطح الماء؛ على الرغم من أنّ درجة حرارته أقلّ من درجة



التبخر والغليان

أمّا الغليان Boiling فهو عملية

تبخر سريعة تحدث عندما يساوي ضغط البخار الضغط الجوي، وهي تحدث عند درجة حرارة محدّدة وهي درجة الغليان؛ إذ تمتلك جزيئات السائل طاقة كافية لمغادرة السائل بكمّيات كبيرة بما فيها الجزيئات داخلية، فيكون التبخر من أجزاء السائل جميعها، وتظهر الفقاعات تحت سطحه؛ إذ تعمل الطاقة المُضافة على رفع الطاقة الكامنة من دون تغيير درجة الحرارة في أثناء الغليان، فتتكسر الروابط بينها، ما يُمكنها من الحركة بحريّة أكبر. ومن ثم، تتحوّل إلى الحالة الغازية، وتخرج من السائل على شكل فقاعات.



بخار



أبحثُ



عندما يكون هواء الغرفة جافاً وأفتح مجمّد الثلاجة، ألاحظ أحياناً تصاعد البخار منه؛ إذ تتغير حالة الجليد فيها من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة. أبحثُ في هذه الظاهرة واسمها والتفسير الفيزيائي لها، وأعدّ عرضاً تقديمياً أعرضه أمام طلبة الصفّ.

عند فتح مجمّد الثلاجة يكتسب الجليد طاقة من هواء الغرفة الجاف، حيث تكتسب بعض جزيئات الجليد التي على السطح الطاقة من الهواء، إذ تكون هذه الطاقة كافية لتحرّر هذه الجزيئات وتحوّلها إلى الحالة الغازية مباشرة دون المرور بالحالة السائلة، وتسمّى هذه الظاهرة التسامي Sublimation.

✓ **أتحقق:** أقارن بين التبخر والغليان.

التبخر	الغليان
تغير حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.	تغير حالة المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.
يحدث عند جميع درجات الحرارة.	يحدث عند درجة حرارة محدّدة وهي درجة الغليان.
عملية بطيئة.	عملية تبخر سريعة.
يحدث للجزيئات الموجودة على سطح السائل والتي تمتلك طاقة كافية تمكنها من التغلب على قوى التجاذب مع جسيمات السائل ومغادرته.	يكون التبخر من أجزاء السائل جميعها.
لا تظهر الفقاعات تحت سطح السائل.	تظهر الفقاعات تحت سطح السائل.

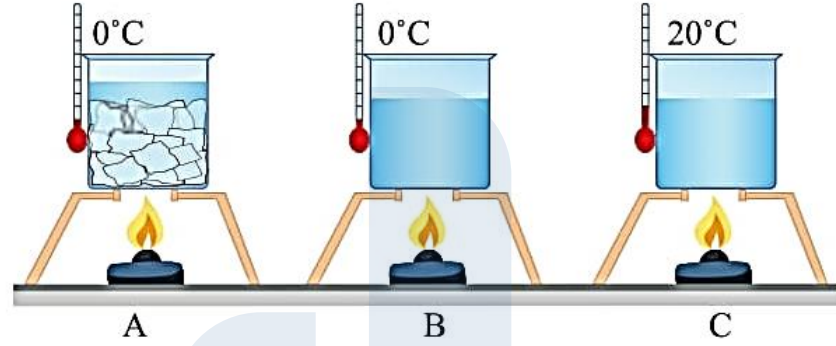
المثال 4

أ. استنفدت الطاقة المكتسبة في تكسير الروابط بين جزيئات الحالة الصلبة في بلورات الجليد، ولم تؤدَّ إلى زيادة الطاقة الحركية لجزيئات الماء، بل ازدادت طاقتها الكامنة.

يوضح الشكل (13) انصهار مكعبات جليد كتلتها (2 kg) بدرجة حرارة (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (0°C) وتوضحها المرحلة: (A) إلى (B)، ثم رفع درجة حرارة الماء السائل من (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (20°C) وتوضحها المرحلة: (B) إلى (C). إذا علمتُ أن السعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد (3.33×10^5 J/kg)، ومستعيناً بالشكل والبيانات المثبتة عليه، أُجيب عما يأتي:

أ. أفسر لماذا لم ترتفع درجة الحرارة في أثناء انصهار الجليد وتحوّله إلى ماء سائل في المرحلة: A إلى B؟

المثال 4

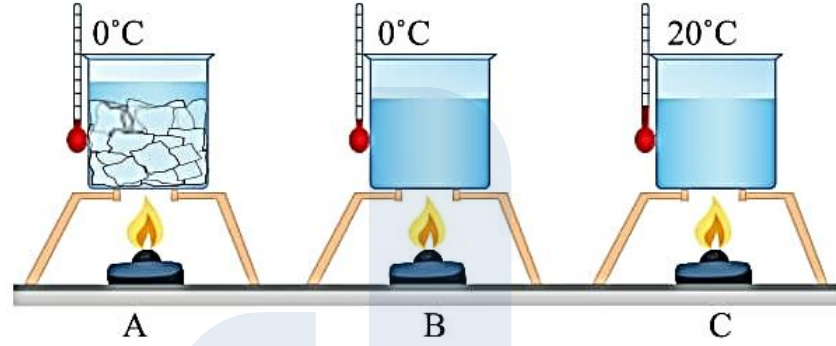


الشكل (13): مراحل انصهار مكعبات جليد.

يوضح الشكل (13) انصهار مكعبات جليد كتلتها (2 kg) بدرجة حرارة (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (0°C) وتوضحها المرحلة: (A) إلى (B)، ثم رفع درجة حرارة الماء السائل من (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (20°C) وتوضحها المرحلة: (B) إلى (C). إذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد (3.33×10^5 J/kg)، ومستعيناً بالشكل والبيانات المثبتة عليه، أجب عما يأتي:

ب. أحسب كمية الطاقة اللازمة لصهر الجليد في المرحلة A إلى B.

المثال 4

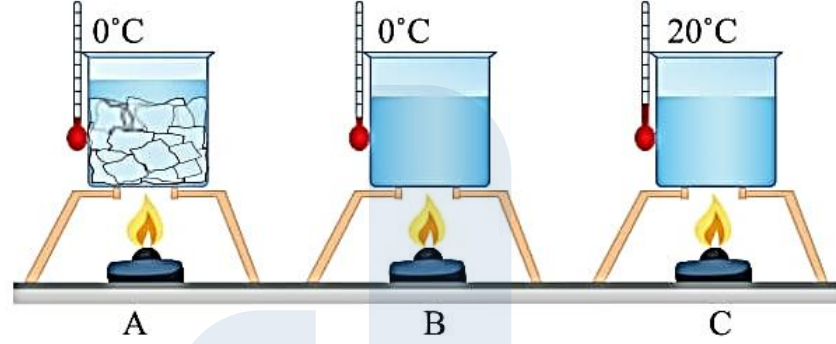


الشكل (13): مراحل انصهار مكعبات جليد.

يوضح الشكل (13) انصهار مكعبات جليد كتلتها (2 kg) بدرجة حرارة (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (0°C) وتوضحها المرحلة: (A) إلى (B)، ثم رفع درجة حرارة الماء السائل من (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (20°C) وتوضحها المرحلة: (B) إلى (C). إذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد (3.33×10^5 J/kg)، ومستعيناً بالشكل والبيانات المثبتة عليه، أجب عما يأتي:

جـ. أحسب كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء في المرحلة B إلى C.

المثال 4



الشكل (13): مراحل انصهار مكعبات جليد.

- يوضح الشكل (13) انصهار مكعبات جليد كتلتها (2 kg) بدرجة حرارة (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (0°C) وتوضحها المرحلة: (A) إلى (B)، ثم رفع درجة حرارة الماء السائل من (0°C) إلى ماء سائل بدرجة حرارة (20°C) وتوضحها المرحلة: (B) إلى (C). إذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لانصهار الجليد (3.33×10^5 J/kg)، ومستعيناً بالشكل والبيانات المثبتة عليه، أجب عما يأتي:
- د. أحسب كمية الطاقة الكلية اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد من (0°C) إلى ماء بدرجة حرارة (20°C).

المثال 5

كمّية من بخار الماء كتلتها (5 kg) ودرجة حرارتها (130°C)، يُراد تبريدها وتحويلها إلى سائل بدرجة حرارة (50°C). إذا علمتُ أنّ السعة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K)، والسعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء ($2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$)، أحسبُ ما يأتي:

أ. كمّية الطاقة المنطلقة (Q_1) عند تبريد بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (100°C).

المثال 5

كمّية من بخار الماء كتلتها (5 kg) ودرجة حرارتها (130°C)، يُراد تبريدها وتحويلها إلى سائل بدرجة حرارة (50°C). إذا علمتُ أنّ السعة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K)، والسعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء ($2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$)، أحسبُ ما يأتي:

ب. كمّية الطاقة المنطلقة (Q_2) عند تبريد الماء من (100°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C).

المثال 5

كمّية من بخار الماء كتلتها (5 kg) ودرجة حرارتها (130°C)، يُراد تبريدها وتحويلها إلى سائل بدرجة حرارة (50°C). إذا علمتُ أنّ السعة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K)، والسعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K)، والحرارة النوعية الكامنة لتسعيد الماء ($2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$)، أحسبُ ما يأتي:

ج. كمّية الطاقة الكلية المنطلقة عند تبريد بخار الماء من (130°C) إلى ماء بدرجة حرارة (50°C).

أحسب: في محطة لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام البخار، يُسخّن الماء من (10°C) باستخدام مرجل (بويلر) لتحويله إلى بخار ماء بدرجة حرارة (100°C) بمعدل (350 kg/s) . إذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للبخار (2010 J/kg.K) والسعة الحرارية النوعية للماء (4200 J/kg.K) ، والحرارة النوعية الكامنة لتصعيد الماء $(2.26 \times 10^6 \text{ J/kg})$ ، فأحسب مقدار ما يأتي:

أ. كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء من (10°C) وتحويله إلى بخار ماء بدرجة حرارة (100°C) .

ب. قدرة المرجل (البويلر) بافتراض أن كفاءته 100% .

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: ما المقصود بدرجة الحرارة؟ ما الفرق بينها وبين الطاقة الحرارية؟

درجة الحرارة **Temperature** تساوي متوسط الطاقة الحركية للجسيم الواحد في الجسم.

الطاقة الحرارية **Thermal energy** فتساوي مجموع الطاقة الحركية لجميع جسيمات الجسم.

منصة أساس التعليمية

مراجعة الدرس

2. **أفسّر:** جسم ساخن (A) في حالة اتصال حراري مع جسم بارد (B). ماذا يحدث بين الجسمين على المستوى المجهرى؟ وماذا يحدث لدرجتي حرارة الجسمين؟

تتحرك جسيمات الجسم (A) بسرعة مقدارها أكبر من مقدار سرعتها للجسم (B). وعند اتصال الجسمين حراريًا تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم (A) إلى الجسم (B) الأبرد، إذ تصطدم الجسيمات المتحركة بسرعة كبيرة في الجسم (A) بالجسيمات المتحركة بسرعة أقل منها في الجسم (B)، فتنتقل الطاقة إلى الأخيرة وتزداد الطاقة الحركية لجسيمات الجسم (B) (حيث ترتفع درجة حرارته) وتقل الطاقة الحركية لجسيمات الجسم (A) (تنخفض درجة حرارته). ويستمر انتقال الطاقة بينهما حتى يُصبح لهما درجة الحرارة نفسها (اتزان حراري).

مراجعة الدرس

3. **أستخدم المتغيرات:** أرادت إستبرق تصميم مدفأة كهربائية يعتمد مبدأ عملها على التسخين الكهربائي لصفحة فلزية صلبة من مادة سعتها الحرارية النوعية كبيرة توجد داخلها، وعند وصول درجة حرارة الصفحة إلى قيمة معينة انفصل التيار الكهربائي آلياً عن المدفأة. وفي داخل المنزل، يكتسب الهواء الأقل درجة حرارة الطاقة من الصفحة الأعلى درجة حرارة مسبباً انخفاض درجة حرارتها. أناقش إيجابيات استخدام مادة صلبة ذات سعة حرارية نوعية كبيرة في هذا التصميم للمدفأة وسلبياتها.

مراجعة الدرس

الإيجابيات: لا يوجد حاجة إلى أن تكون كتلة المادة (الصفيحة) الصلبة كبيرة بشكل مفرط من أجل الحصول على مقدار طاقة حرارية أكبر، وسوف تبرد الصفيحة الصلبة الساخنة ببطء، وسيتم نقل الطاقة الحرارية إلى هواء الغرفة لفترة زمنية طويلة.

السلبيات: تستهلك المادة الصلبة الكثير من الطاقة الكهربائية لتسخينها، وسوف تستغرق المادة الصلبة وقتاً طويلاً لتصل إلى درجة حرارة مرتفعة.

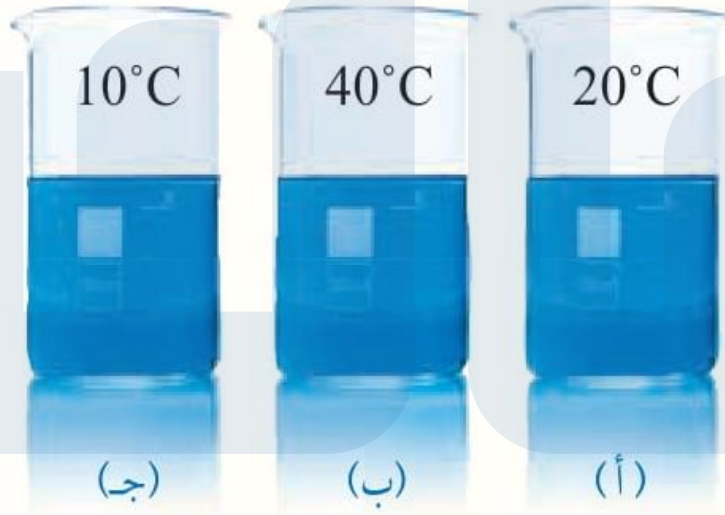
منصة أساس التعليمية

مراجعة الدرس

4. **أستخدم الأرقام:** خلال ساعة من أدائه التمارين الرياضية، يفقد فادي (0.5 kg) من العرق. بافتراض أن كل هذا العرق يتبخر، أحسب الطاقة الحرارية المفقودة بسبب التعرق. افترض الحرارة النوعية الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة الجلد ($2.4 \times 10^6 \text{ J/kg}$).

مراجعة الدرس

5. **التفكير الناقد:** ثلاث كؤوس فيها ماء بدرجات حرارة مختلفة، كما هو موضح في الشكل.



وضعت نور يدها في الكأس (ب) أولاً مدّة من الزمن، ثم أخرجت يدها ووضعتها في الكأس (أ)؛ فأصدرت حكماً أنّ الماء فيها بارد. بينما وضعت زميلتها سوسن يدها في الكأس (ج) أولاً مدّة من الزمن، ثم أخرجت يدها ووضعتها في الكأس (أ)؛ فأصدرت حكماً أنّ الماء فيها ساخن. أيّهما حكمها صحيح؟ أبرّر إجابتني.

مراجعة الدرس

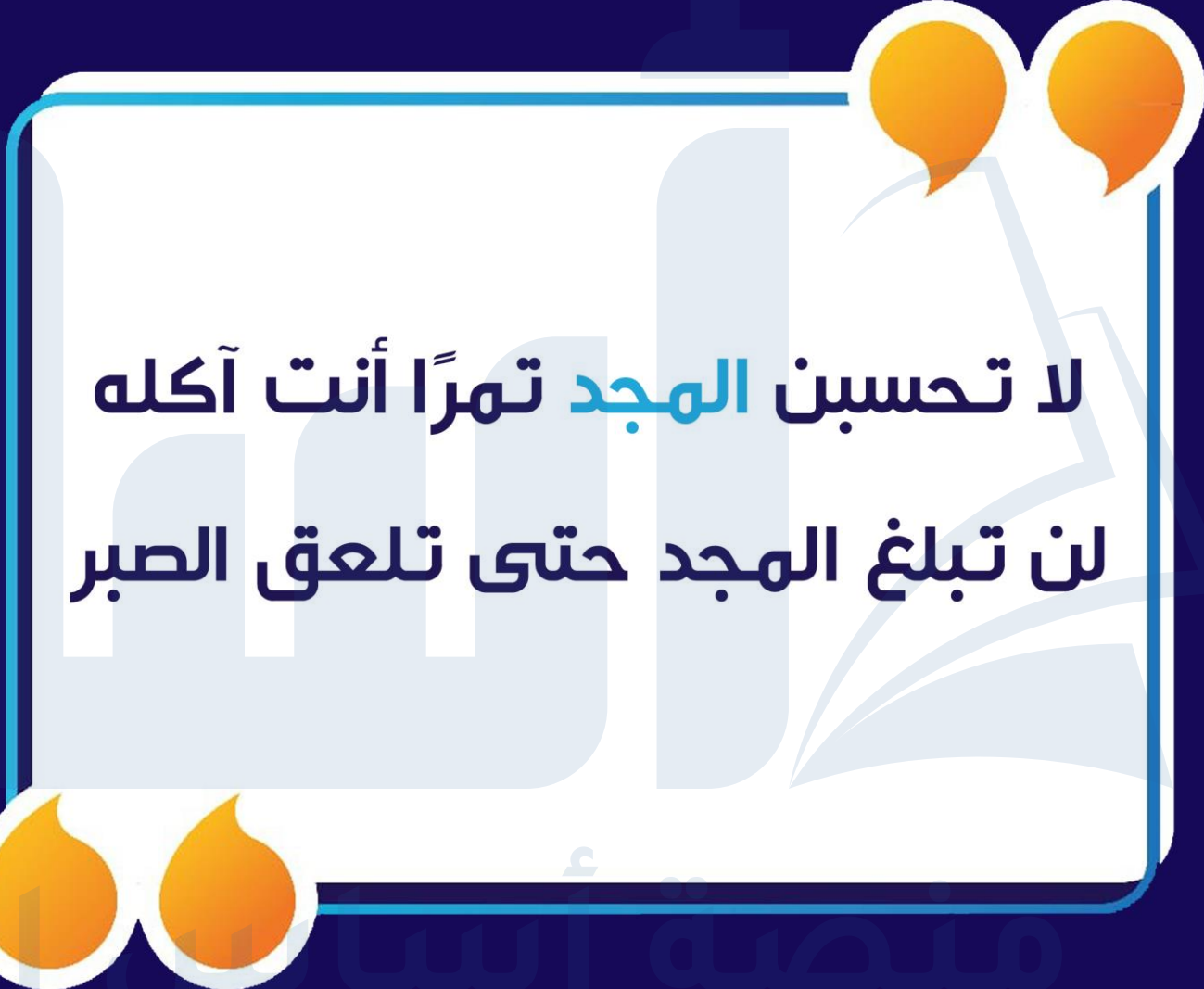
كلاهما حُكِّمَها صحيح؛ فعندما وضعت نور يدها في الكأس (ب) اكتسبت طاقة حرارية وأصبحت يدها ساخنة، وعندما وضعت يدها في الكأس (أ) أصدرت حُكْمًا بأنه بارد؛ لأن الطاقة انتقلت من يدها الساخنة إلى الماء الأقل درجة حرارة، فهو بارد مقارنة بدرجة حرارة يدها الساخنة. أما سوسن، فقد وضعت يدها في الكأس (ج) أولاً، حيث فقدت يدها الأسخن طاقة حرارية اكتسبها الماء البارد، فأصبحت يدها باردة، وعندما وضعت يدها في الكأس (أ) الأعلى درجة حرارة أصدرت حُكْمًا بأنه ساخن؛ لأن الطاقة الحرارية انتقلت من الماء الأعلى درجة حرارة إلى يدها الأقل درجة حرارة، فهو ساخن مقارنة بدرجة حرارة يدها الباردة.

مراجعة الدرس

6. **أصدر حكمًا:** في أثناء دراسة فاتن هذا الدرس، قالت: «إنّ الأجسام الأعلى درجة حرارة تمتلك حرارة أكبر من الأجسام الأقلّ درجة حرارة». أناقش صحّة قول فاتن.

كلام فاتن غير صحيح علميًا؛ لأنّ الأجسام لا تمتلك حرارة بل تمتلك طاقة حرارية، وعندما تنتقل الطاقة بين الأجسام المتصلة حراريًا نتيجة الاختلاف في درجات حرارتها فإنها هذه الطاقة الحرارية المنتقلة تسمّى حرارة. والصحيح أن لجسيمات الجسم الأعلى درجة حرارة متوسط طاقة حركية أكبر منها لجسيمات الجسم الأقل درجة حرارة.

منصة أساس التعليمية



لا تحسبن **المجد** تهرًا أنت آكله
لن تبلغ المجد حتى تلعق الصبر

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الديناميكا
الحرارية

قوانين
الديناميكا
الحرارية

منصة أساسيات الهندسة

القانون الأول في الديناميكا الحرارية

عُدَّ مجال الديناميكا الحرارية والميكانيكا، فرعين مستقلين من فروع العلم حتّى عام 1850م تقريبًا؛ إذ كان مبدأ حفظ الطاقة يصف فقط أنواعًا معينة من الأنظمة الميكانيكية. في منتصف القرن التاسع عشر، أظهرت تجارب نفّذها العالم الإنجليزي جيمس جول وآخرون، علاقة وطيدة بين نقل الطاقة عن طريق الحرارة في العمليات الحرارية، ونقلها عن طريق الشغل في العمليات الميكانيكية؛ إذ يمكن تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة داخلية.

منصة أساس التعليمية

القانون الأول في الديناميكا الحرارية

يعنى القانون الأول في الديناميكا الحرارية بوصف الأنظمة التي يكون فيها تغيّر في الطاقة الداخلية، وتُنقل الطاقة فيها عن طريق الحرارة أو الشغل أو الاثنين معًا؛ لذا يلزمني تعرّف الطاقة الداخلية، والعلاقة بين الشغل والحرارة، والعمليات الحرارية Thermodynamic processes، للتوصّل إلى هذا القانون وفهمه.

الطاقة الداخلية

تمتلك جسيمات المواد طاقة حركية وطاقة كامنة. يُسمّى مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة لجسيمات النظام جميعها الطاقة الداخلية **Internal energy**، وهي ترتبط بمكوّنات النظام المجهرية (الذرات والجزيئات)، ورمزها U ، وتُقاس بوحدة الجول (J) حسب النظام الدولي للوحدات.

الطاقة الحركية هي جزء من الطاقة الداخلية للنظام وترتبط بالطاقة الحركية لجزيئاته، والناجمة عن حركتها الانتقالية والدورانية والاهتزازية، ولا ترتبط بحركة النظام الانتقالية؛ فمثلاً، الطاقة الداخلية لكرة قدم تُحلق في الهواء ترتبط بالطاقة الحركية للجزيئات المكوّنة لها ولجسيمات الهواء داخلها ولا علاقة لها بحركة الكرة.

تعتمد الطاقة الداخلية للمواد الصلبة والسائلة على كل من: درجة الحرارة، وكمية المادة، وتركيبها الكيميائي. أمّا في الغازات فإنّ الطاقة الداخلية لها تعتمد على ضغط الغاز إضافة إلى العوامل السابقة. فكلّما زاد الضغط المطبّق على الغاز تقلّ المسافة بين جزيئاته، فتزداد طاقتها الكامنة نتيجة زيادة القوى بينها.

درستُ في الوحدة الأولى أنَّ الطاقة الميكانيكية لنظام لا تكون محفوظة عند تأثير قوى غير محافظة فيه وبذلها شغلاً عليه، حيث يُفقد جزء من الطاقة الميكانيكية على شكل شغل للتغلب على قوى الاحتكاك وأشكال أخرى من الطاقة. وإذا افترضتُ أنَّ التغيرات في الطاقة الميكانيكية قد غيّرت الطاقة الداخلية فقط، فتكون الطاقة محفوظة عند أخذ التغيرات في الطاقة الداخلية مع التغيرات في الطاقة الميكانيكية في الحسبان؛ أي إنَّ:

$$\Delta PE + \Delta KE + \Delta U = 0$$

قوانين الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بالطاقة الداخلية لنظام؟

الطاقة الداخلية هي مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة لجميع جسيمات النظام، وهي ترتبط بمكونات النظام المجهرية (الذرات والجزيئات)، رمزها U ، وتُقاس بوحدة الجول (J) بحسب النظام الدولي للوحدات.

منصة أساس التعليمية

العلاقات بين الحرارة والشغل والطاقة الداخلية

عندما تزداد الطاقة الداخلية لجسم، فهذا قد يعني ازدياد مقدار سرعة حركة جُسيماته، فيزداد متوسط طاقتها الحركية، أو يزداد متوسط الطاقة الكامنة لهذه الجُسيمات، أو ازدياد كلاهما معًا.

منصة أساس التعليمية

العلاقة بين الحرارة والطاقة الداخلية



تزداد الطاقة الداخلية لجسم أو نظام عند اكتسابه طاقة وتقلّ عند فقدّه طاقة؛ إذ تفقد الأجسام طاقة إذا كانت درجة المحيط الخارجي أقلّ من درجة حرارتها.

العلاقة بين الشغل والطاقة الداخلية

يمكن زيادة الطاقة الداخلية لجسم أو نظام ببذل شغل عليه



منصة أساس التعليمية

العلاقة بين الشغل والطاقة الداخلية



يمكن تقليل الطاقة الداخلية لجسم أو نظام عن طريق بذله شغل

أسأل: كيف يبذل الجسم شغلاً؟ أحياناً أرى أسطوانة تحتوي على غاز مُسال، ويوجد جليد على جدارها الخارجي، كما هو موضح في الشكل (16). ويتشكّل الجليد حتّى عندما تكون درجة حرارة الهواء خارج الأسطوانة أعلى من درجة تجمّد الماء. وأفسّر ذلك بأنّ الغاز داخل الأسطوانة يُضغَط بحيث يتحوّل جزء منه إلى سائل. وعند فتح الصمام الموجود في أعلى الأسطوانة، يتمدد الغاز الموجود فوق السائل، ما يُقلّل الضغط المؤثّر في سطح السائل فيتبخّر.

العلاقة بين الشغل والطاقة الداخلية

هذا البخار يبذل شغلاً في أثناء تمدده على الغاز الذي فوقه، فتتناقص الطاقة الداخلية في أثناء بذله الشغل حسب قانون حفظ الطاقة، فتتخفض درجة حرارته ودرجة حرارة السائل والأسطوانة، ما يؤدي إلى تشكّل الجليد على السطح الخارجي للأسطوانة.



قوانين الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقّق:** كيف أُغَيِّر الطاقة الداخلية لجسم أو نظام؟

أُغَيِّر الطاقة الداخلية لجسم أو نظام بتزويده بطاقة حرارية أو سحبها منه، كما يُمكن تغييرها عن طريق بذل شغل عليه أو جعله يبذل شغلاً.

منصة أساسس التعليمية

العلاقة بين الشغل والحرارة

الحرارة طاقة تنتقل بين جسمين؛ نتيجة الفرق في درجتَي حرارتهما،
والشغل وسيلة لنقل الطاقة بين الأجسام بطريقة ميكانيكية.

يمكن تحويل الشغل إلى طاقة داخلية
ويمكن للطاقة الداخلية لجسم أن تزداد بطرائق أخرى
مثل طرقه لتغيير شكله، كما يحدث عند ثني قطعة فلزية.

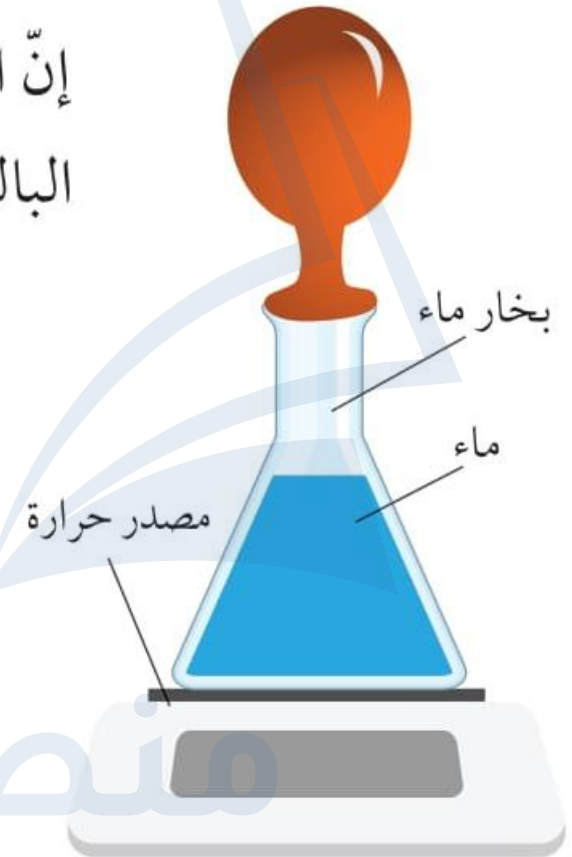


مقدمة اساس التعليمية

العلاقة بين الشغل والحرارة

يُمكن للحرارة أن تؤدي إلى بذل شغل

إنّ البخار يبذل شغلاً على الهواء الجوي الموجود خارج البالون في أثناء تمدّده، وتقلّ طاقته الداخلية.



منصة أساس التعليمية

العلاقة بين الشغل والحرارة

إنَّ الشغل والحرارة متشابهان، فكلاهما يُعبّر عن الطاقة التي يفقدها الجسم أو يكسبها. أي إنَّهما يُشيران إلى الطاقة المنتقلة من الجسم أو إليه، ما يُغيّر في طاقته الداخلية. فالأجسام لا تملك حرارة أو شغل، بل تملك طاقة داخلية.

منصة أساس التعليمية

قوانين الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقق:** كيف يُمكنني تحويل الحرارة إلى شغل؟

يُمكن للحرارة أن تؤدي إلى بذل شغل؛ فمثلاً عند تسخين ماء تعمل الطاقة المنتقلة له على شكل حرارة إلى تحوُّله إلى بخار، فيبذل البخار شغلاً على الهواء الجوي في أثناء تمدّده كما هو موضح في الشكل (17) في كتاب الطالب، فتتخفض طاقة الغاز الداخلية ودرجة حرارته.

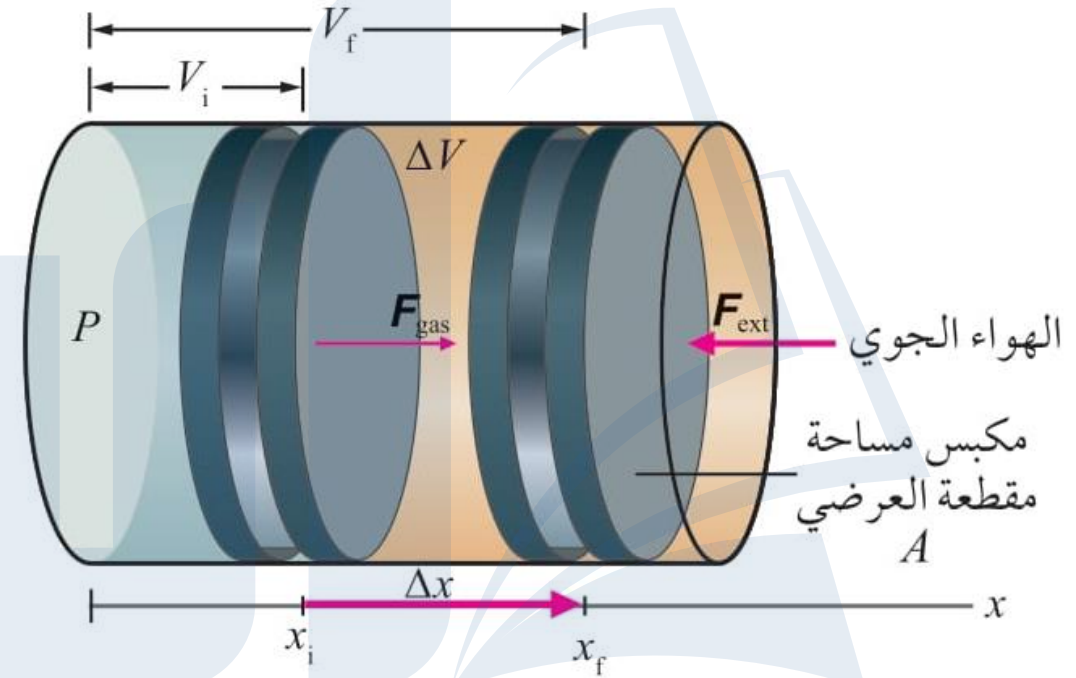
منصة أساسس التعليمية

الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز

في الديناميكا الحرارية، توصف حالة النظام باستخدام متغيرات مثل: الضغط P ، والحجم V ، ودرجة الحرارة T ، والطاقة الداخلية U ؛ إذ تنتمي هذه الكميات إلى فئة تُسمى متغيرات الحالة State variables، ويمكن تحديد قيمها لأي ترتيب معين للنظام. (بالنسبة إلى الأنظمة الميكانيكية، تشمل متغيرات الحالة: الطاقة الحركية KE ، والطاقة الكامنة PE). ولا يمكن تحديد حالة النظام إلا إذا كان في حالة اتزان حراري داخلي. وفي حالة الغاز المحصور في وعاء أو أسطوانة، يتطلب الاتزان الحراري الداخلي له أن يكون لكل جزء منه الضغط نفسه ودرجة الحرارة نفسها.

قوانين الديناميكا الحرارية

الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز

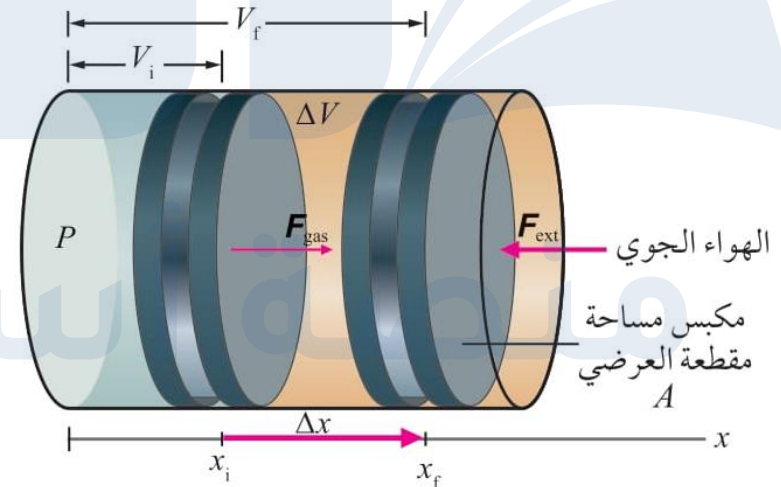


منصة أساس التعليمية

قوانين الديناميكا الحرارية

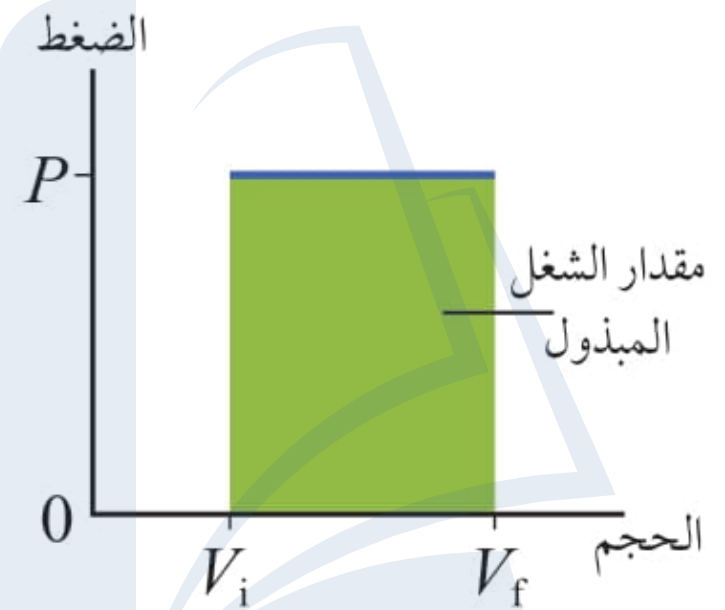
الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز

فعندما يتمدد الغاز، يزداد حجمه، فتكون $\Delta V > 0$ ؛ لذا، فإن الشغل المبذول عليه $W < 0$. أمّا عندما يقل حجم الغاز فتكون $\Delta V < 0$ ؛ لذا، فإن الشغل المبذول عليه $W > 0$. أمّا الشغل الذي يبذله الغاز على محيطه الخارجي (W_{gas}) فيكون مساوياً لسالب الشغل الذي يبذله المحيط الخارجي على الغاز؛ أي إن $W_{\text{gas}} = -W = P \Delta V$.



قوانين الديناميكا الحرارية

الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز



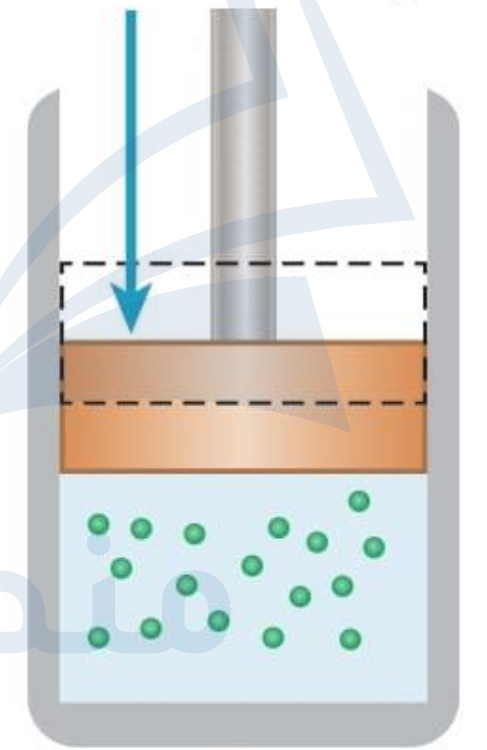
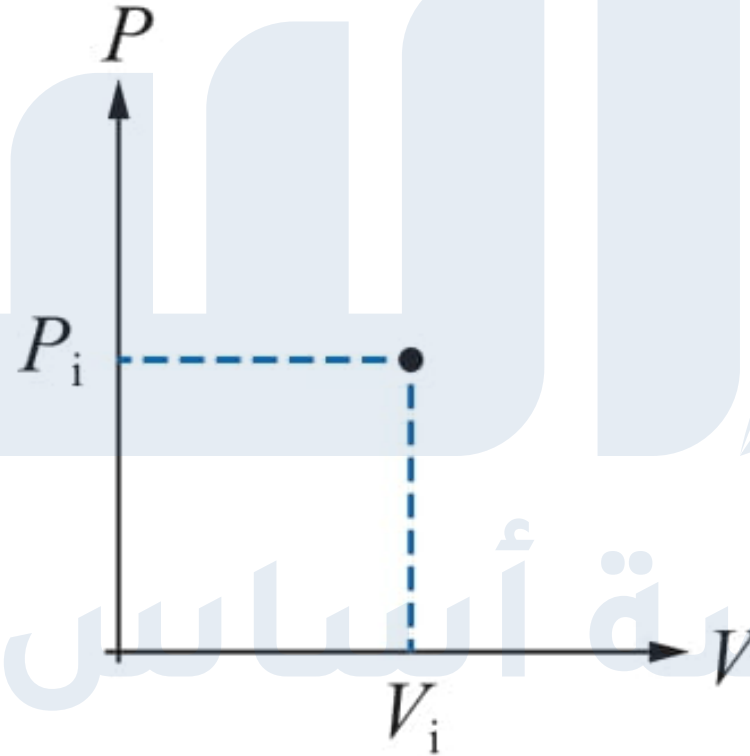
منصة أساس التعليمية

قوانين الديناميكا الحرارية

الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز

يُمكنني استخدام منحنى (الضغط - الحجم) لتحديد إذا كان الشغل يبذله الغاز أو يُبذل عليه.

دفع المكبس إلى أسفل



التعليمية

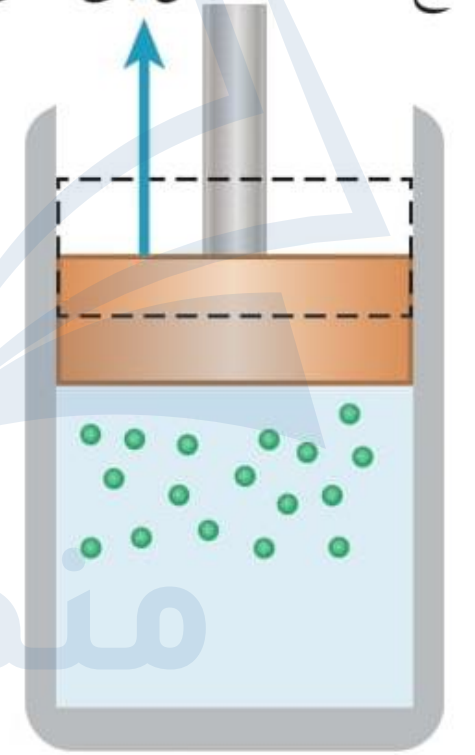
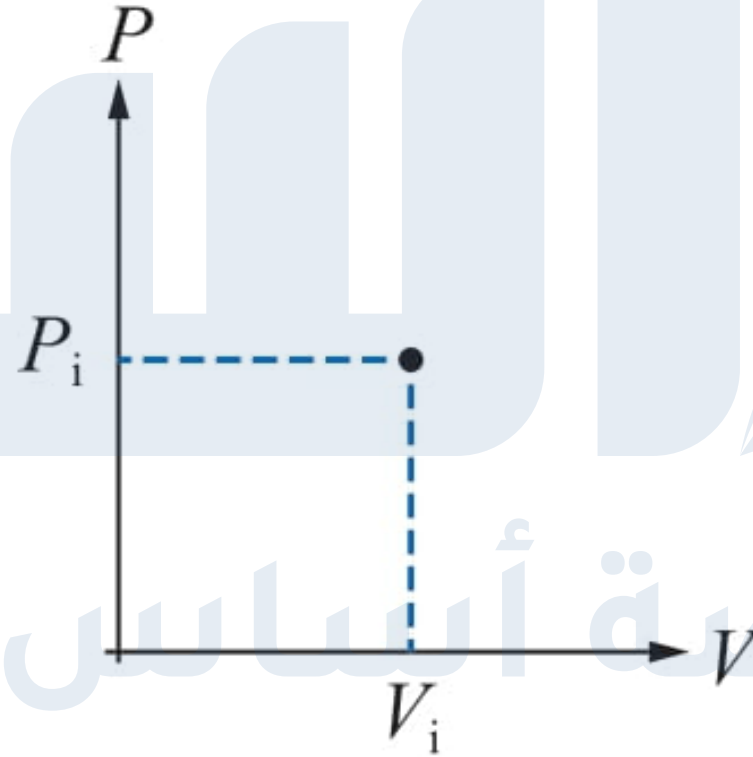
مقدمة أساسية

قوانين الديناميكا الحرارية

الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز

يُمكنني استخدام منحنى (الضغط - الحجم) لتحديد إذا كان الشغل يبذله الغاز أو يُبذل عليه.

يدفع الغاز المكبس إلى أعلى

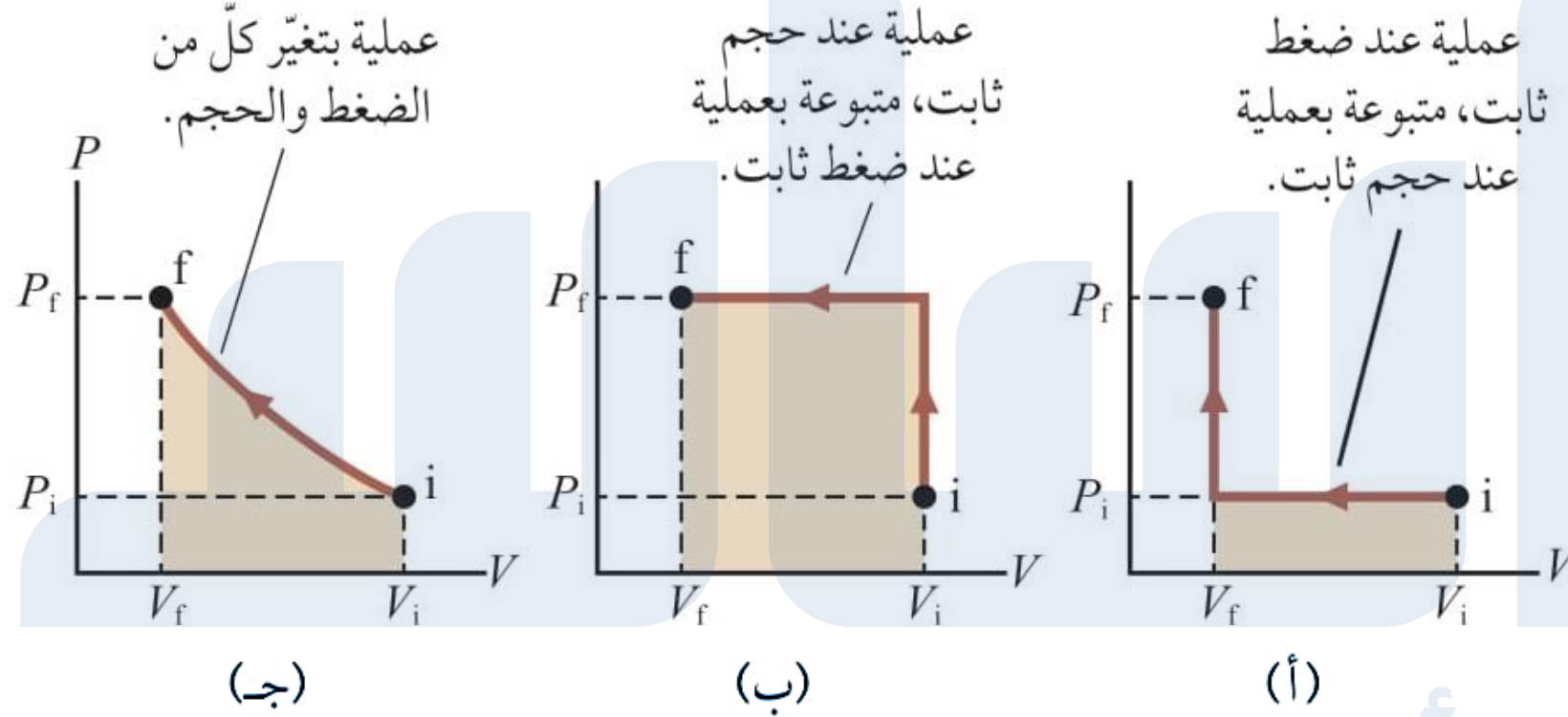


الشغل المبذول عند تغيير حجم الغاز

✓ **أتحقق:** ما معنى أن تكون إشارة الشغل المبذول على غاز موجبة؟ وما معنى أن تكون إشارته سالبة؟

عندما تكون إشارة الشغل المبذول على غاز موجبة فهذا يعني أن الغاز يكتسب طاقة. أما عندما تكون إشارة الشغل المبذول على غاز سالبة فهذا يعني أن الغاز يبذل شغلاً وبذلك فإنه يخسر طاقة نتيجة بذله لشغل.

الشغل المبذول عند ضغط غاز يعتمد على المسار



قوانين الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقق:** كيف يعتمد الشغل المبذول على غاز على المسار

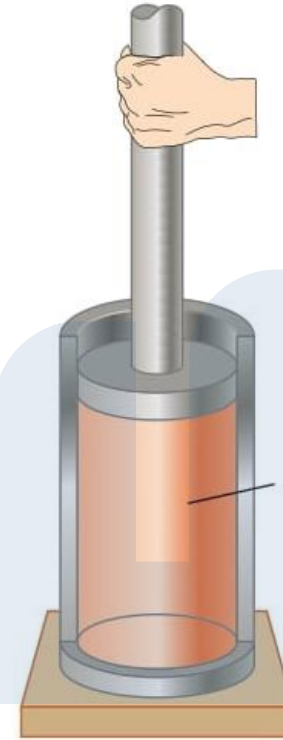
بين حالتيه: الابتدائية والنهائية؟

عند الانتقال بين الحالتين: الابتدائية والنهائية للغاز يوجد عدة مسارات للانتقال بينهما، والشغل المبذول يساوي عدديا المساحة تحت المنحنى في رسم $(P-V)$. المسارات المختلفة قد تؤدي الى مساحات مختلفة وبالتالي مقادير مختلفة من الشغل المبذول.

منصة أساس التعليمية

الطاقة المتبادلة مع نظام تعتمد على المسار

الشكل (24):
(أ) اتصال حراري بين
قاعدة الأسطوانة
ومستودع الطاقة.
(ب) يتمدد الغاز المحصور
ويزداد حجمه.

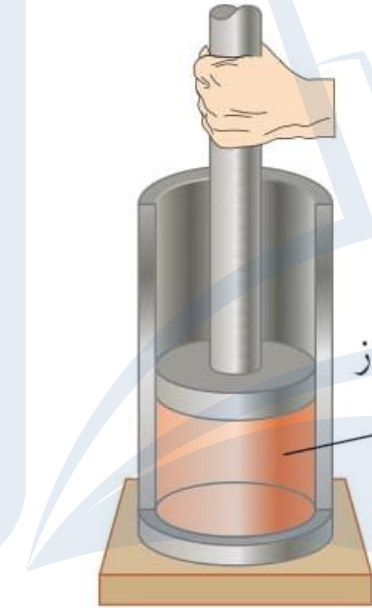


عند تقليل قوة دفع اليد
لأسفل، يتحرك المكبس
ببطء لأعلى. ويحافظ
مستودع الطاقة على درجة
حرارة الغاز ثابتة عند
 T_i

درجة حرارة مستودع الطاقة.

T_i

(ب)



درجة حرارة الغاز
الأبتدائية
 T_i

درجة حرارة مستودع الطاقة.

T_i

(أ)

الشكل (25):

(أ) درجة حرارة الغاز الابتدائية T_i ، ويفصله غشاء رقيق عن الفراغ الذي فوقه، والأسطوانة كاملة معزولة حراريًا.

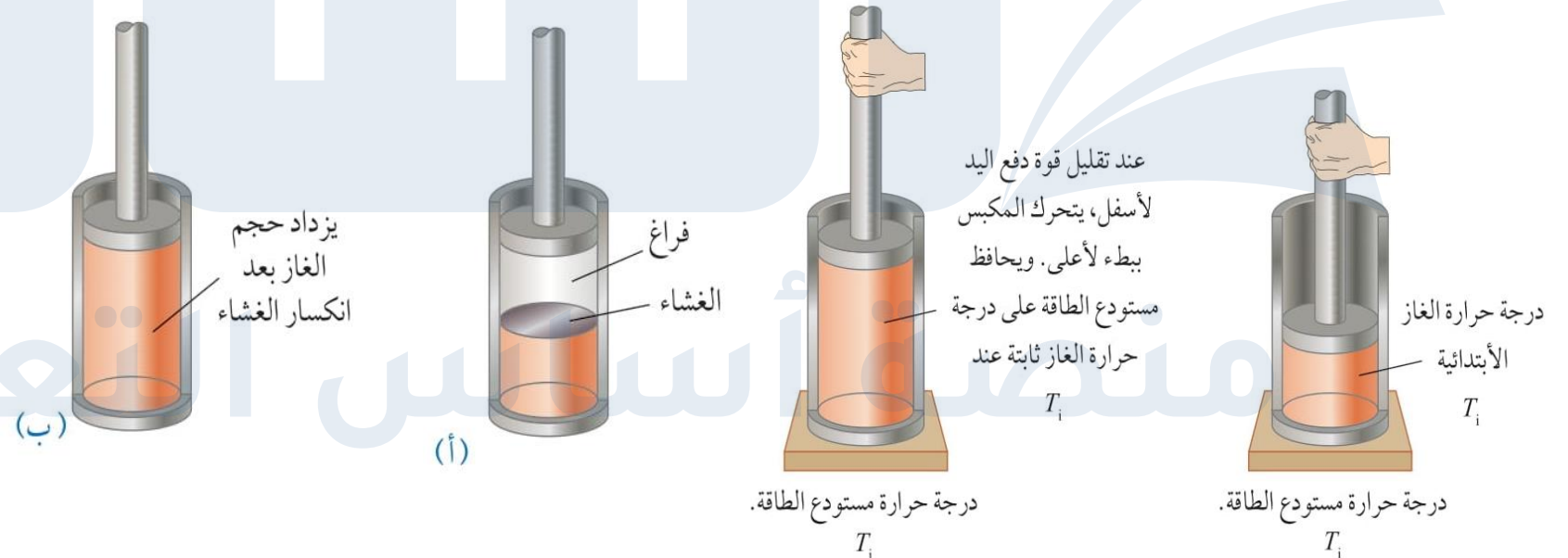
(ب) عند إزالة الغشاء يتمدد الغاز بحرية في منطقة الفراغ، ويزداد حجمه ولا تتغير درجة حرارته.



قوانين الديناميكا الحرارية

الطاقة المتبادلة مع نظام تعتمد على المسار

أستنتجُ ممّا سبق، أنّه لا تُحدّد الحرارة (الطاقة المنتقلة) أو الشغل المبذول عن طريق نقطتي بداية ونهاية العملية الديناميكية الحرارية؛ لأنّ كلّ منهما يعتمد على المسار المتّبع بين الحالتين الابتدائية والنهائية في منحنى (الضغط-الحجم).



الربط مع الحياة



يوضح الشكل (26) مضخة هواء تُستخدم لضخ الهواء في إطار دراجة هوائية. في أثناء استخدام مضخة الهواء، تُصبح نهايتها الأقرب إلى الإطار أكثر دفئًا؛ فعندما أدفع مكبس الأسطوانة بقوة إلى الداخل، فإنني أُطبّق ضغطًا على الهواء الموجود داخلها. وفي أثناء ذلك يتحرّك المكبس إزاحة معيّنة لتغيير حجم الهواء؛ لذا، فإنني أبذل شغلًا على الهواء. وبما أنّ بذل شغل على جسم هو إحدى طرائق زيادة طاقتها الداخلية؛ فإنّ الطاقة الداخلية للهواء المحصور ستزداد، وستزداد تبعًا لذلك الطاقة الحركية لجزيئاته، وهذا هو سبب ارتفاع درجة الحرارة للهواء والأسطوانة.



الشكل (26): أبذل شغلًا عندما أدفعُ مكبس مضخة الهواء الخاصّة بالدراجة.

قوانين الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقق:** كيف تعتمد الطاقة المتبادلة بين نظام ومحيطه الخارجي على المسار بين حالتي النظام: الابتدائية والنهائية؟

تعتمد الطاقة المتبادلة بين نظام ومحيطه الخارجي على المسار بين حالتي النظام: الابتدائية والنهائية؛ لأن نقل الطاقة على شكل حرارة يعتمد على عملية /عمليات الديناميكا الحرارية التي تحدث في النظام عبر كل مسار.

منصة أساس التعليمية

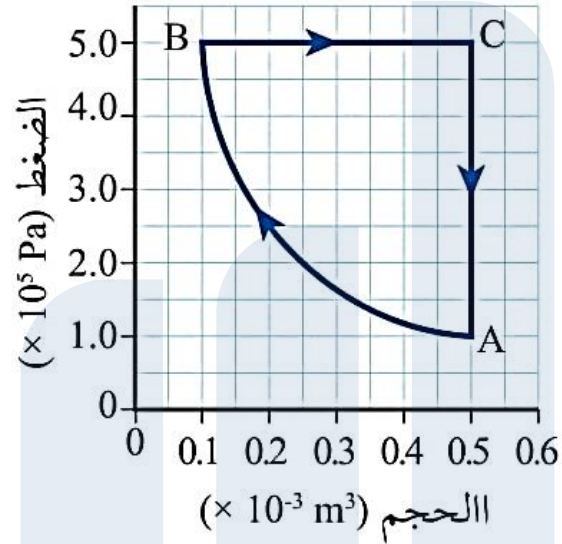
المثال 6

غاز محصور في أسطوانة حجمه $(1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$ ، وضغطه $(1.4 \times 10^6 \text{ Pa})$ ، ومكبس الأسطوانة مهمل الكتلة وحرّ الحركة. زوّد الغاز بطاقة فتمدّد تحت ضغط ثابت، ودُفع المكبس فأصبح حجمه النهائي $(1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$. أحسب مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي يبذله الغاز على المكبس في أثناء تمدّده.

ب. قوّة ضغط الغاز المؤثّرة في المكبس في أثناء تمدّد الغاز، إذا تحرّك المكبس إزاحة مقدارها (4 cm) .

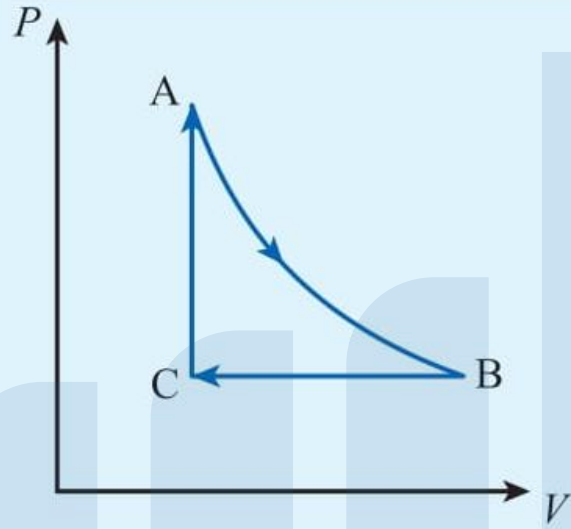
المثال 7



الشكل (27): تغيّر الضغط مع الحجم
لغاز محصور.

- يوضح الشكل (27) منحنى (الضغط-الحجم) لعينة من غاز محصور في أثناء مروره بدورة تغيّرات ABCA. أجب عما يأتي:
- أي العمليات يُبذل فيها شغل على الغاز؟
 - أي العمليات يتغيّر فيها ضغط الغاز، ولا يوجد شغل مبذول من الغاز أو عليه؟
 - هل يبذل الغاز شغلاً أم يُبذل عليه في العملية من B إلى C؟
 - أحسب الشغل المبذول على الغاز في العملية من B إلى C.

1. **أحسب:** كتلة ثابتة من غاز النيتروجين حجمها $(2.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3)$ ، تمددت تحت ضغط ثابت مقداره $(1.01 \times 10^5 \text{ Pa})$ بحيث أصبح حجمها $(2.8 \times 10^{-2} \text{ m}^3)$. أحسب مقدار ما يأتي:
- أ. الشغل الذي يبذله الغاز في أثناء تمدده.
- ب. قوة ضغط الغاز المؤثرة في المكبس في أثناء تمدد الغاز إذا تحرك المكبس إزاحة مقدارها (5.6 cm) .



الشكل (28): منحني (الضغط-الحجم)
لعينة من غاز محصور.

2. **أحلل:** يوضح الشكل (28) منحني (الضغط-الحجم) لعينة من غاز محصور في أسطوانة مغلقة في إحدى نهايتها بمكبس حر الحركة، في أثناء مرور الغاز بدورة تغيرات ABC. أجب عما يأتي:
- أي العمليات يُبدل فيها شغل على الغاز؟
 - أي العمليات يُبدل فيها الغاز شغلاً؟
 - أي العمليات لا يُبدل فيها الغاز شغلاً ولا يُبدل عليه شغلاً؟

حتّى نهاية القرن الثامن عشر، كان العلماء يعتقدون أنّ الحرارة مائع يُسمّى كالوريك Caloric، وأنّه موجود داخل الأجسام الساخنة، وكانوا يعتقدون أنّه يتدفّق من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الباردة. في عام 1798م، نشر عالم يُدعى رامفورد Rumford مقالاً يتعلّق بمصدر الحرارة الذي يولّده الاحتكاك، كتب فيه عن الآلات التي استُخدمت لحفر الثقوب في المدافع. إذ لاحظ أنّ الفلزّ المُستخدم في المدفع يمكن حفره بشكل متكرّر، وأنّ الاحتكاك سيولّد حرارة في كل مرة. فإذا كانت الحرارة مائع، فإنّ المائع سيتدفّق كاملاً من الفلزّ في النهاية، ما يعني أنّه لن يصبح ساخناً عند حفره.

اهتم العالم جول بعمل العالم رامفورد، حيث كان جول أول شخص بين أنه يمكن تحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة. فقد صمم جول التجارب وأجرى القياسات، واكتشف أن الشغل والطاقة متكافئان، وهذا سبب تسمية وحدتي قياسهما باسمه.

أظهرت تجارب جول أنّ الحرارة طاقة وليست مائعًا، وأنّ الشغل الميكانيكي يمكن تحويله إلى طاقة حرارية. أدّت هذه الاستنتاجات إلى فكرة أنّه يمكن زيادة الطاقة الداخلية لنظام عن طريق تسخينه أو بذل شغل ميكانيكي عليه. أدّى هذا إلى التوصل إلى القانون الأول في الديناميكا الحرارية **The first law of thermodynamics**، الذي ينصّ على أنّ: "التغيّر في الطاقة الداخلية لنظام يساوي الطاقة المتبادلة مع النظام مضافًا إليها الشغل المبذول".

$$\Delta U = Q + W$$

القانون الأول في الديناميكا الحرارية

"التغير في الطاقة الداخلية لنظام يساوي الطاقة المتبادلة مع النظام مضافاً إليها الشغل المبذول".

$$\Delta U = Q + W$$

هذا القانون نتاج تطبيق قانون حفظ الطاقة، وهو يربط بين التغير في الطاقة الداخلية للنظام، والطاقة المتبادلة معه على شكل حرارة وشغل ميكانيكي. وهو حالة خاصة من قانون حفظ الطاقة؛ إذ يصف العمليات التي تتغير فيها الطاقة الداخلية لنظام، وتكون فيها عمليات نقل الطاقة عن طريق الحرارة والشغل فقط.

تُسمّى المحرّكات التي تُحوّل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي المحرّكات الحرارية Heat engines. ومنها: محرّكات الاحتراق الداخلي في المركبات، والمحرّكات التوربينية في الطائرات، والمحرّكات التوربينية البخارية في محطّات الطاقة. تُزوّد هذه المحرّكات بالطاقة (حرارة) لتحويلها إلى شغل.

أمّا المضخّات الحرارية Heat pumps فيُبدل فيها شغل على نظام من أجل نقل الطاقة من منطقة أبرد إلى منطقة أسخن؛ أي نقلها بعكس اتّجاه انتقالها التلقائي. ومن أمثلتها الثلاّجات ومكيّفات الهواء. كلّ هذه الأنظمة تحقق القانون الأول في الديناميكا الحرارية.

منصة أساس التعليمية

قوانين الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقق:** علامَ ينص القانون الأول في الديناميكا الحرارية؟ وما الفرق بين المحركات الحرارية والمضخات الحرارية؟

ينص القانون الأول في الديناميكا الحرارية على أن: "التغير في الطاقة الداخلية لنظام يساوي الطاقة الحرارية المتبادلة مع النظام مضافاً إليها الشغل المبذول".

$$\Delta U = Q + W$$

حيث W هو الشغل المبذول على الغاز بواسطة قوة خارجية.

المحركات الحرارية محركات تحول الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي.

المضخات الحرارية يُبذل فيها شغل على نظام من أجل نقل الطاقة الحرارية من منطقة أبرد إلى منطقة أسخن؛ أي نقلها بعكس اتجاه انتقالها التلقائي.

عمليات الديناميكا الحرارية

يربط القانون الأول في الديناميكا الحرارية بين التغير في الطاقة الداخلية لنظام والشغل المبذول والحرارة، ولا يشترط حدوث تغير في هذه الكميات الفيزيائية الثلاث في كل عملية حرارية. فمثلاً، يمكن بذل شغل على نظام في إحدى العمليات الحرارية بحيث تتغير طاقته الداخلية من دون حدوث تبادل حراري مع المحيط الخارجي، أو قد تتغير الطاقة الداخلية لنظام في عملية ما عند حدوث تبادل حراري مع المحيط الخارجي من دون بذل شغل عليه. وفي معظم العمليات الحرارية يحدث التفاعل بين النظام ومحيطه الخارجي على شكل حرارة وشغل.

عمليات الديناميكا الحرارية

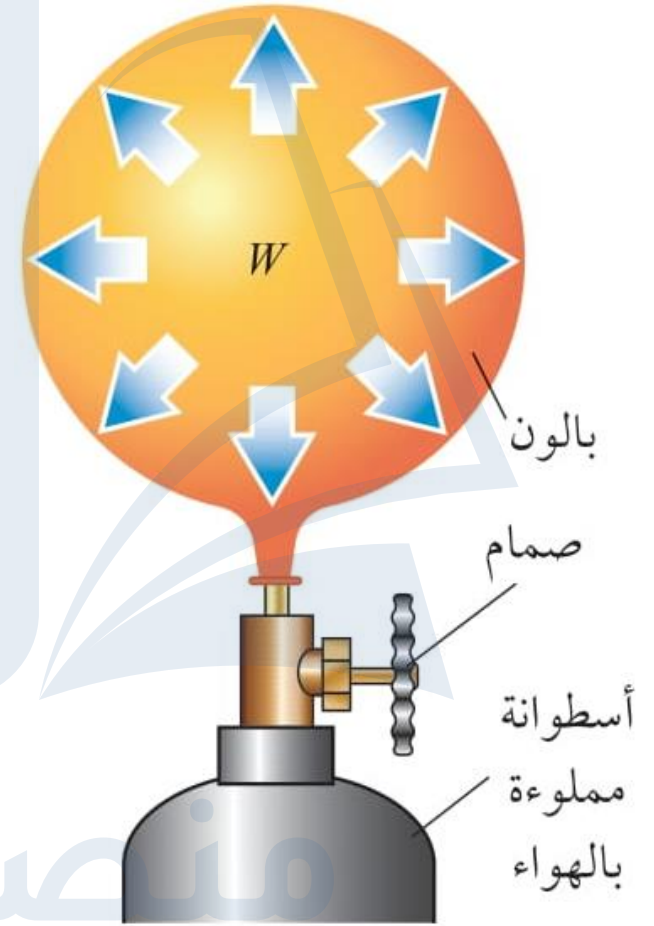
وإذا كان النظام معزولاً Isolated system؛ فإنه لا يتبادل طاقة مع المحيط الخارجي ($Q = 0$)، والشغل المبذول عليه يساوي صفرًا ($W = 0$)؛ لذا، لا تتغير الطاقة الداخلية للنظام؛ $U_i = U_f$. وقبل تطبيق القانون الأول في الديناميكا الحرارية على أنظمة محدّدة لا بدّ لي من تعرّف بعض العمليات الحرارية المثالية.

عمليات الديناميكا الحرارية

العملية الكاظمة Adiabatic process

العملية الكاظمة Adiabatic process هي عملية لا يحدث فيها تبادل للطاقة بين النظام ومحيطه على شكل حرارة؛ أي إن $Q = 0$. ويُمكن تحقيق هذه العملية باستخدام نظام معزول حراريًا، أو بتنفيذ العملية بسرعة بحيث لا يوجد وقت كافٍ لحدوث تبادل للطاقة على شكل حرارة مع المحيط الخارجي، وهذا ما لاحظته عند تنفيذ الخطوة (2) في التجربة السابقة. أُطبّق القانون الأول في الديناميكا الحرارية على عملية كاظمة لأحصل على المعادلة:

$$\Delta U = W$$

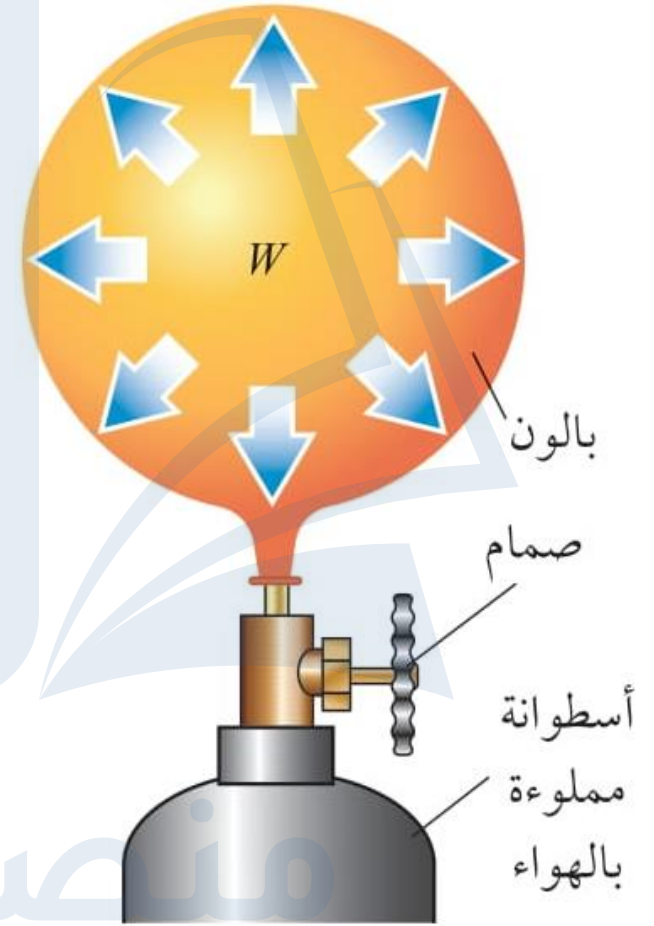


عمليات الديناميكا الحرارية

العملية الكاظمة Adiabatic process

توضح هذه النتيجة أنه إذا ضغطت غازًا في عملية حرارية كاظمة، يكون $W > 0$ ، و $\Delta U > 0$ ، فتزداد درجة حرارة الغاز. أمّا إذا تمدّد الغاز في عملية حرارية كاظمة فستنخفض درجة حرارته، ومثال ذلك النفخ السريع لبالون باستخدام أسطوانة مملوءة بالهواء أو غاز. أنظر إلى الشكل (29).

الشكل (29): تنخفض الطاقة الداخلية للهواء في البالون والأسطوانة مع تمدّده السريع؛ إذ يبذل الهواء شغلًا على المحيط الخارجي في أثناء تمدّد البالون.



عمليات الديناميكا الحرارية

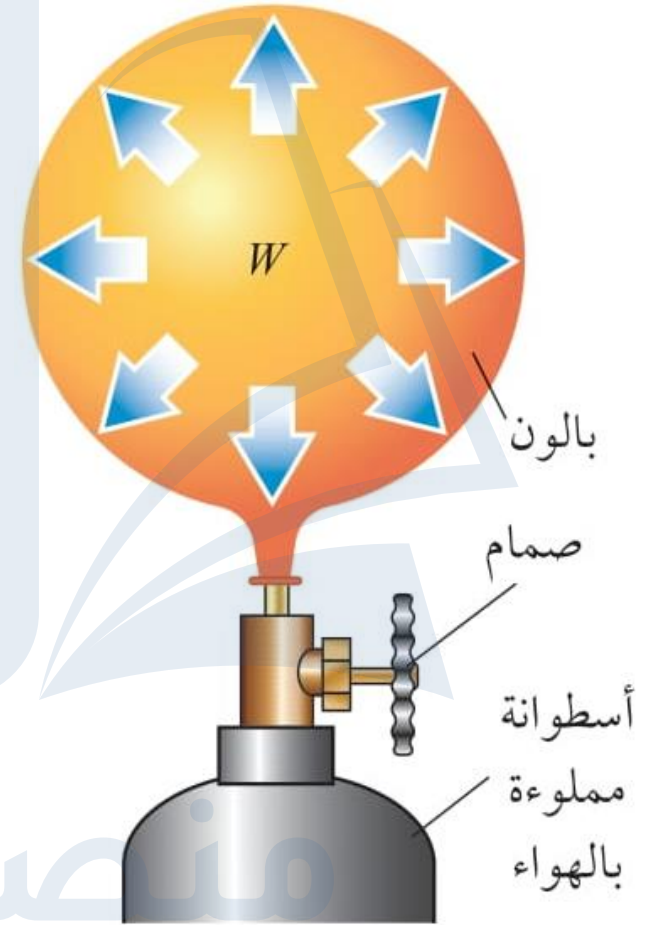
العملية الكاظمة Adiabatic process

للمعمليات الحرارية الكاظمة أهمية كبيرة في التطبيقات الهندسية، ومنها: تمدد الغازات الساخنة في محرك الاحتراق الداخلي، وتسييل الغازات (تحويلها إلى الحالة السائلة) في نظام التبريد، وشوط ضغط الوقود في محرك الديزل.

منصة أساس التعليمية

عمليات الديناميكا الحرارية

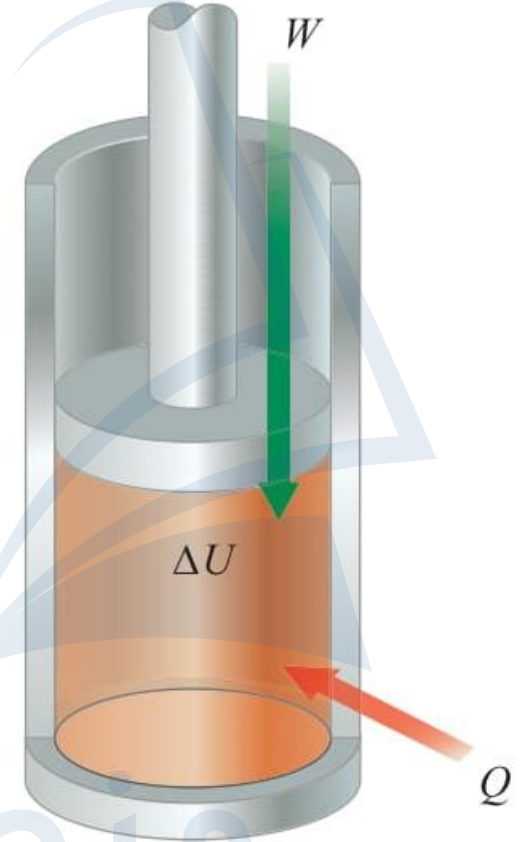
العملية الكاظمة Adiabatic process



منصة أساس التعليم

العملية عند ضغط ثابت Isobaric process

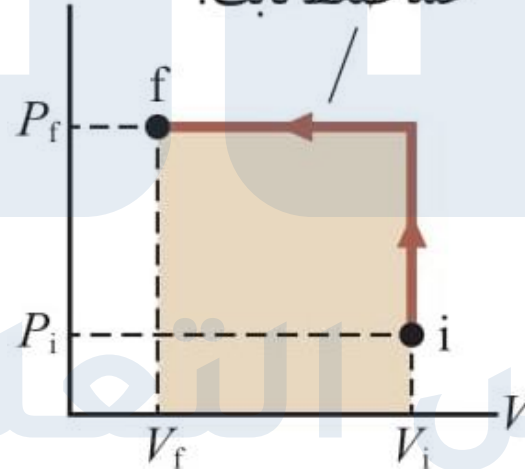
العملية عند ضغط ثابت Isobaric process هي عملية حرارية تحدث عند ثبات الضغط. وهذا ما لاحظته عند تنفيذ الخطوة (4) من التجربة السابقة. ويمكن تحقيق شروط العملية الحرارية عند ضغط ثابت في العملية الموضحة في الشكل (30) بجعل المكبس حر الحركة، بحيث يكون دائماً في حالة اتزان؛ أي إن قوة ضغط الغاز المؤثرة في المكبس إلى أعلى تساوي وزن المكبس وقوة ضغط الهواء الجوي المؤثرة فيه إلى أسفل.



العملية عند ضغط ثابت Isobaric process

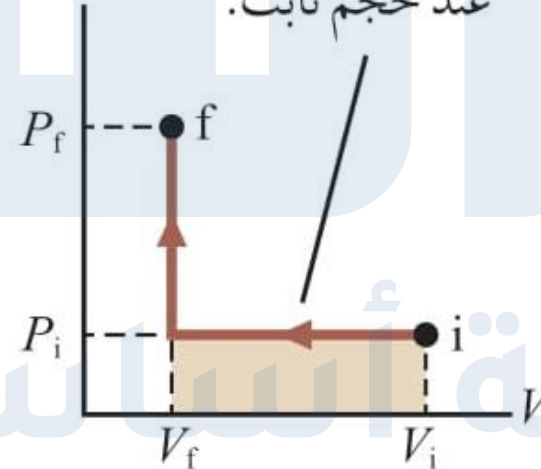
ومن الأمثلة على العمليات الحرارية عند ضغط ثابت العملية الأولى في الشكل (23/أ)، والعملية الثانية في الشكل (23/ب).

عملية عند حجم ثابت، متبوعة بعملية عند ضغط ثابت.

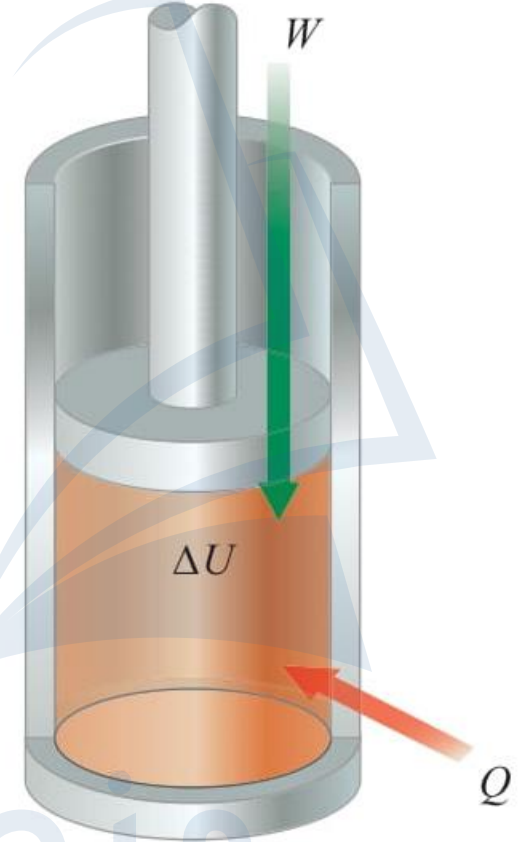


(ب)

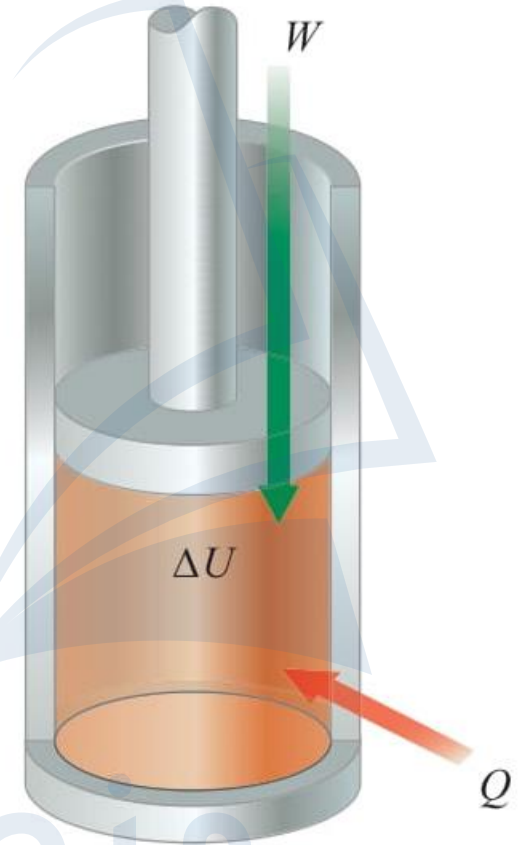
عملية عند ضغط ثابت، متبوعة بعملية عند حجم ثابت.



(أ)



العملية عند ضغط ثابت Isobaric process

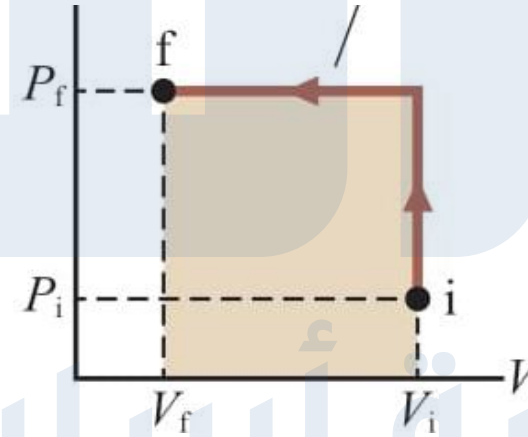
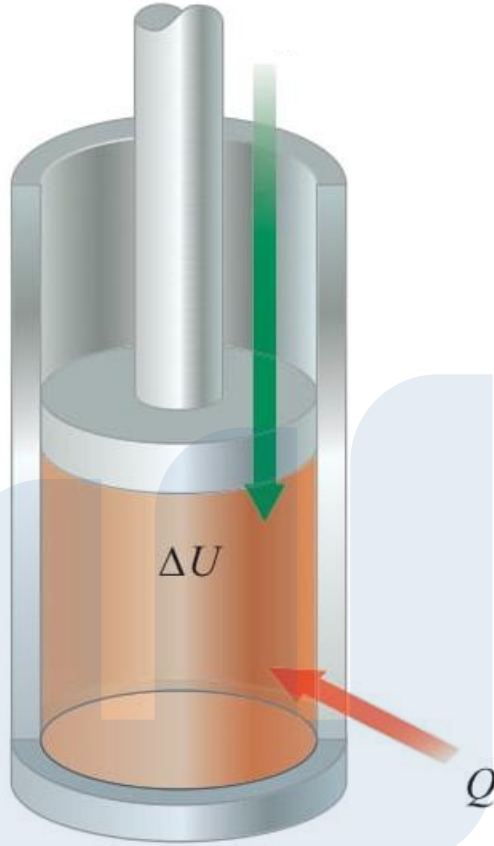


قوانين الديناميكا الحرارية

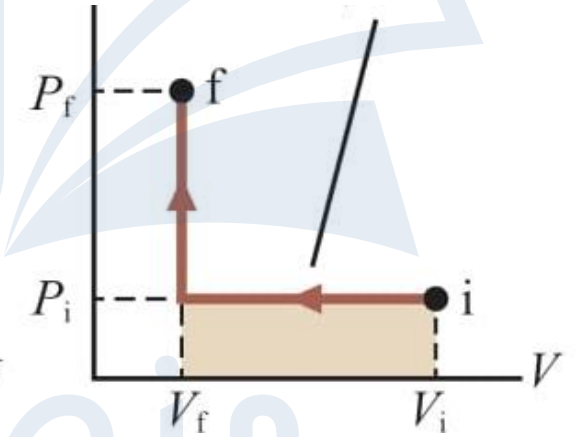
عمليات الديناميكا الحرارية

العملية عند حجم ثابت

العملية عند حجم ثابت Isovolumetric process هي عملية حرارية تحدث عند ثبات الحجم. إن تثبيت المكبس عند موقع معين في الشكل (30)، يضمن حدوث هذه العملية. ومن الأمثلة على العمليات عند حجم ثابت العملية الثانية في الشكل (23/أ)، والعملية الأولى في الشكل (23/ب).



(ب)



(أ)

عمليات الديناميكا الحرارية العملية عند حجم ثابت

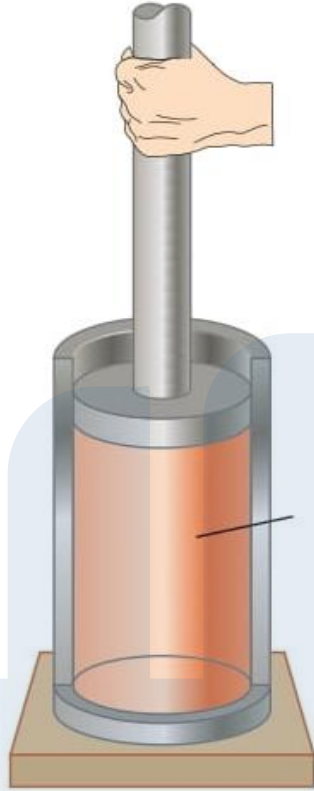
تُبيّن هذه العلاقة أنّه إذا أضفت طاقة إلى نظام ذي حجم ثابت، فإنّ كلّ الطاقة المنتقلة تبقى في النظام على شكل زيادة في طاقته الداخلية.

منصة أساس التعليمية

عمليات الديناميكا الحرارية

العملية عند درجة حرارة ثابتة

العملية عند درجة حرارة ثابتة Isothermal process هي عملية حرارية تحدث عند ثبات درجة الحرارة. ويمكن تنفيذ هذه العملية عن طريق غمر الأسطوانة الموضحة في الشكل (30) في حمام ماء وجليد، أو عن طريق وضع الأسطوانة في حالة اتصال حراري مع مستودع طاقة ذي درجة حرارة ثابتة.



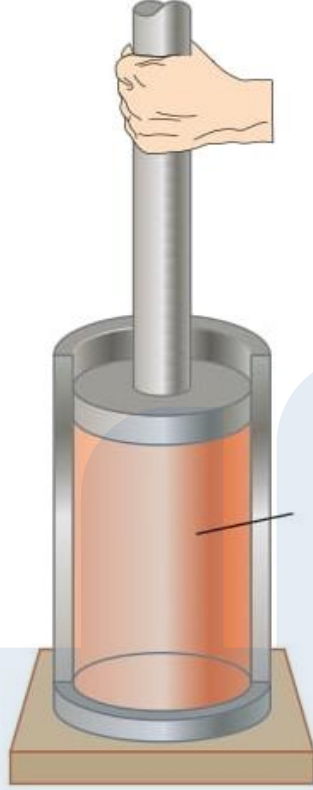
درجة حرارة مستودع الطاقة.

T_i

عمليات الديناميكا الحرارية

العملية عند درجة حرارة ثابتة

وتعتمد الطاقة الداخلية للغاز المثالي على درجة الحرارة فقط، ونظرًا إلى أنَّ درجة الحرارة لا تتغير في العملية عند درجة حرارة ثابتة لغاز مثالي؛ فإنَّ $\Delta U = 0$. وأُستنتج من القانون الأول في الديناميكا الحرارية أنَّ الطاقة المنتقلة (Q) يجب أن تُساوي سالب الشغل المبذول على الغاز في العملية عند درجة حرارة ثابتة؛ أي إنَّ $Q = -W$. إذ إنَّ أيَّ طاقة تدخل إلى النظام على شكل حرارة تنتقل إلى خارج النظام على شكل شغل؛ لذا، لا تتغير الطاقة الداخلية للنظام في هذه العملية.



درجة حرارة مستودع الطاقة.

T_i

عمليات الديناميكا الحرارية

أفكر: لماذا يجب ألا أترك ملطّفات الجو وعلب العطور المضغوطة (Spray) داخل السيارة في الأيام الحارة؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصّل إلى إجابة عن السؤال.

لأن الطاقة الحرارية تنتقل إلى النظام (الغاز أو العطر المضغوط الموجود في العلبة) على شكل حرارة عبر جدران العلبة، فتزداد درجة الحرارة الغاز، وبالتالي يزداد ضغطه، ممّا يؤدي إلى انفجار العلبة.

أفكر: إذا لم تتغير درجة حرارة نظام، فهل يعني ذلك عدم انتقال الطاقة على شكل حرارة من النظام أو إليه؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصل إلى إجابة عن السؤال.

لا يُمكنني استنتاج ذلك؛ لأن سبب تغير درجة حرارة نظام يمكن أن يكون انتقال الطاقة أو بذل شغل عليه، فمثلاً قد تبقى درجة حرارة النظام ثابتة حتى لو اكتسب طاقة عن طريق الحرارة، وهذا ما يمكن أن يحدث فقط إذا فقد النظام الطاقة التي اكتسبها عن طريق الحرارة على شكل شغل.

قوانين الديناميكا الحرارية

عمليات الديناميكا الحرارية

✓ **أتحقق:** أقارن بين عمليات الديناميكا الحرارية السابقة من حيث شروط حدوثها، وأحدد إشارة كل من الشغل والحرارة إن كانت موجبة أم سالبة لكل عملية.

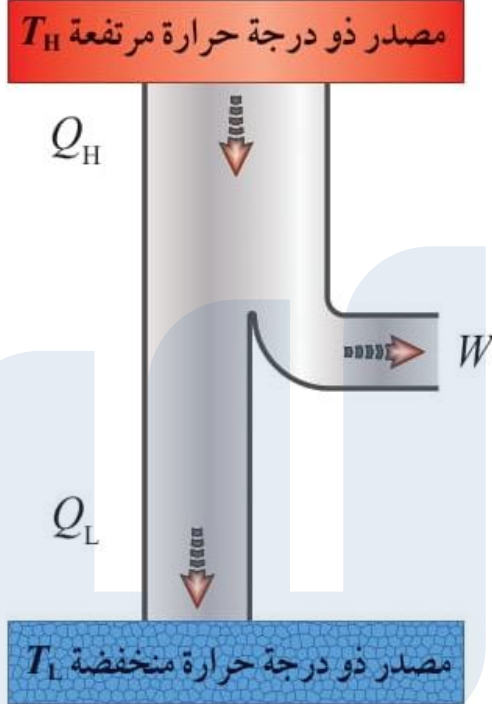
اسم العملية	شروط حدوثها	الشغل	الحرارة
عند حجم ثابت	لا يُبذل شغل.	0	\pm
عند درجة حرارة ثابتة	لا تغيير في درجة الحرارة والطاقة الداخلية.	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$	$\begin{matrix} - \\ + \end{matrix}$
كاظمة	لا يوجد تبادل للطاقة على شكل حرارة.	\pm	0
عند ضغط ثابت	يبقى الضغط ثابتاً.	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$	$\begin{matrix} - \\ + \end{matrix}$

تطبيق: محرك الاحتراق الداخلي

يُعدّ محرك الاحتراق الداخلي Internal combustion engine الموجود في معظم المركبات مثالاً على الآلات الحرارية؛ إذ يعمل على تحويل الحرارة إلى شغل ميكانيكي. كما يُعدّ أيضاً مثالاً على العمليات الدورية Cyclic process؛ وهي العملية التي يعود فيها النظام في مرحلته النهائية إلى الحالة الابتدائية نفسها عند بدء العملية من دون تغيير الطاقة الداخلية للنظام؛ أي إنّ $\Delta U = 0$ في العملية الدورية.

تطبيق: محرك الاحتراق الداخلي

Heat engine
محرك حراري



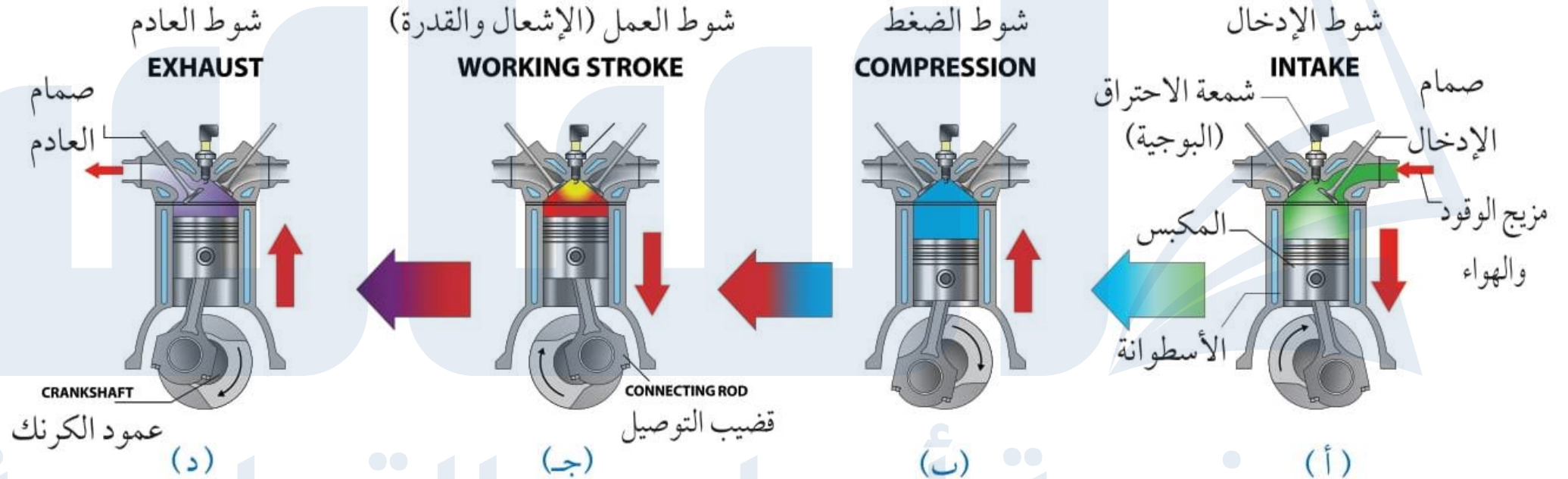
اكتساب الحرارة (Q_H) من مصدر حراري ذي درجة حرارة مرتفعة (T_H)، وتحوّل جزء منها إلى شغل ميكانيكي مفيد، وتُصرف جزء منها (Q_L) إلى مستودع حراري ذي درجة حرارة منخفضة (T_L). أنظر إلى الشكل (31) الذي يوضح رسمًا تخطيطيًا لمحرك حراري، ويكون مقدار مجموع الشغل المبذول مساويًا الفرق بين الطاقة المكتسبة من المصدر الحراري والطاقة المُصرّفة إلى المستودع الحراري؛ أي إنَّ ($W = Q_H - Q_L$).

الشكل (31): محرك حراري.

تطبيق: محرك الاحتراق الداخلي

محرك الاحتراق الداخلي ذو الأربعة مراحل (أشواط)

FOUR-STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE



الشكل (32): مراحل (أشواط) دورة كاملة لمحرك بنزين.

المثال 8

يبدل غاز في ثلاجة شغلًا مقداره (140 J) في أثناء تمدّده، فتتخفّض طاقته الداخلية بمقدار (115 J).
أحسب مقدار الطاقة التي جرى تبادلها مع الغاز على شكل حرارة.

المثال 9

أُدخل مزيج من البنزين والهواء إلى أسطوانة محرك احتراق داخلي. إذا حُرِّك مكبس الأسطوانة إلى الداخل ببطء للمحافظة على ثبات ضغط الغاز خلال هذه العملية عند مقدار $(7 \times 10^5 \text{ Pa})$ ، ونقص حجم المزيج بمقدار $(1 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$ ، وارتفعت طاقته الداخلية بمقدار (60 J) ، فأحسب مقدار الطاقة التي جرى تبادلها مع الغاز على شكل حرارة.

كتلة ثابتة من غاز محصور في أسطوانة معزولة حراريًا ومغلقة بمكبس حر الحركة. ازداد حجم الغاز من $(2.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$ إلى $(2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$ عند ضغط ثابت مقداره $(1.38 \times 10^5 \text{ Pa})$. أحسب مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي بذله الغاز في أثناء تمدده.

ب. التغير في الطاقة الداخلية للغاز.

1. تنخفض الطاقة الداخلية لغاز في إحدى أسطوانات محرك احتراق داخلي بمقدار (200 J)، عند بذله شغلًا مقداره (50 J). أجب عما يأتي:
- أ. **أحسب** مقدار الطاقة التي جرى تبادلها مع الغاز على شكل حرارة.
- ب. **أحلل**: هل زُود الغاز بهذه الطاقة أم فقدتها؟

2. أسطوانة مملوءة بغاز حجمه (3 L)، ومغمورة في حمام مائي فيه ماء وجليد بدرجة (0°C). سحبت هدى مكبس الأسطوانة للخارج ببطءٍ بحيث أصبح حجم الغاز (10 L) وضغطه ($2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$)، وبذل الغاز شغلًا مقداره ($2.7 \times 10^3 \text{ J}$). أجب عما يأتي:
- أ. ما العملية الديناميكية الحرارية المثالية التي تمثل ما حدث؟
- ب. ما مقدار الطاقة التي جرى تبادلها مع الغاز على شكل حرارة؟
- ج. إذا ضغطت هدى مكبس الأسطوانة إلى الداخل ببطءٍ لإرجاع الغاز إلى حجمه الابتدائي بعملية عند ضغط ثابت ($2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$)؛ فما مقدار الشغل المبذول على الغاز؟

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** ما المقصود بالطاقة الداخلية لنظام؟ علام ينص القانون الأول في الديناميكا الحرارية؟

الطاقة الداخلية تساوي مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة لجميع جسيمات النظام، وهي ترتبط بمكونات النظام المجهرية (الذرات والجزيئات)، رمزها U ، وتُقاس بوحدة الجول (J) بحسب النظام الدولي للوحدات.

ينص القانون الأول في الديناميكا الحرارية على أن: "التغير في الطاقة الداخلية لنظام مغلق

يساوي الطاقة الحرارية المتبادلة مع النظام مضافاً لها الشغل المبذول".

$$\Delta U = Q + W$$

منصة أساسيات التعليم

مراجعة الدرس

2. **أحلّ:** أملأ الجدول أدناه بالرمز المناسب (+، -، 0) لكل من: Q ، و W ، و ΔU في الأعمدة الثلاثة الأخيرة منه.

الحالة	النظام	Q	W	ΔU
نفخ إطار دراجة هوائية بمضخة هواء بسرعة.	الهواء في مضخة.			
وعاء به ماء بدرجة حرارة الغرفة، وضع على مصدر حرارة ساخن.	الماء في الوعاء.			
تسرّب هواء بسرعة من بالون.	الهواء الموجود في بالون.			

مراجعة الدرس

3. **أفسر:** صندوقان من الحديد (A) و (B)، لهما درجة الحرارة نفسها، وكتلة (A) تساوي m ، وكتلة (B) تساوي $2m$. ما العلاقة بين الطاقة الداخلية لكلا الصندوقين؟

مراجعة الدرس

4. **أفسّر:** يتمدد غاز في أسطوانة ويدفع مكبسها؛ إذ يبذل الغاز شغلاً. أجب عما يأتي:

أ. أوضّح المقصود بجملة: "يبذل الغاز شغلاً".

الشغل الذي يبذله الغاز (W_{gas}) يساوي سالب الشغل المبذول عليه (W). فعند تمدد الغاز عند ضغط ثابت فإن يؤثر بقوة ضغط ($F = PA$) في المكبس فيحركه إزاحة (Δx) معينة في الاتجاه نفسه لقوة ضغط الغاز، حيث $W_{\text{gas}} = F_{\text{gas}} \Delta x = PA \Delta x$.

ب. عند تطبيق القانون الأول في الديناميكا الحرارية على الغاز، يجري التعامل مع الغاز والأسطوانة والمكبس بوصفها نظاماً مغلقاً. أوضّح المقصود بالنظام المغلق.

النظام المغلق هو النظام الذي تكون كتلته ثابتة.

مراجعة الدرس

5. **أستخدم الأرقام:** يزداد حجم غاز محصور في منطاد مغلق من (15.5 m^3) إلى (16.2 m^3) عند ضغط جوي معياري مقداره ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$). أحسب مقدار الشغل الذي يبذله الغاز في أثناء هذا التمدد.

منصة أساسس التعليمية

مراجعة الدرس

6. تنخفض الطاقة الداخلية لغاز في إحدى أسطوانات محرك احتراق داخلي بمقدار (200 J)، عند بذله شغلاً مقداره (50 J). أجب عما يأتي:

أ. **أحسب** مقدار الطاقة التي جرى تبادلها مع الغاز على شكل حرارة.

ب. **أحلل**: هل زوّد الغاز بهذه الطاقة أم فقدتها؟



قد لا يكون لديك القدرة
لإجبار الناس **على محبتك**
ولكن لديك القدرة
لإجبارهم **على احترامك**



منصة أساسيات تعليمية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الديناميكا
الحرارية

التهدد
الحراري

منصة أساس التعليم

التمدد الحراري للمواد الصلبة والسائلة والغازية

درستُ أنه عندما يحدث تبادل حراري بين جسم ومحيطه الخارجي؛ فإنَّ حالته الفيزيائية قد تتغير، وإذا لم تتغير حالته الفيزيائية؛ فإنَّ تبادل الطاقة هذا يؤدي إلى تغير درجة حرارة الجسم، ما يؤدي إلى تمدده (أو تقلصه) طولياً أو سطحياً أو حجمياً.



وفقاً لنموذج الحركة الجزيئية - الذي درسته سابقاً - تتحرك جسيمات المواد الصلبة والسائلة حركة اهتزازية مستمرة، إضافة إلى وجود حركة انتقالية لجسيمات السوائل. وعند ارتفاع درجة حرارة هذه المواد يزداد مقدار سرعة جسيماتها، فتتباعدها قليلاً وتتمدد. ويكون التمدد الحراري للمواد السائلة أكبر منه للمواد الصلبة. أمّا الغازات التي تكون أصلاً المسافات بين جسيماتها كبيرة؛ فيكون تمددها هو الأكبر.

✓ أتحقق: لماذا تتمدد المواد عند ارتفاع درجة حرارتها؟

عند ارتفاع درجة حرارة هذه المواد يزداد مقدار سرعة جسيماتها كما تزداد سعة ذبذباتها، فيتباعد بعضها عن بعض قليلاً، فتتمدد هذه المواد.



التمدد الحراري

التمدد الحراري الطولي Thermal Linear Expansion

لظاهرة التمدد الحراري دور مهم في العديد من التطبيقات الهندسية؛ إذ يحرص المهندسون على ترك فراغات أو وضع فاصل تمدد حراري في المباني والطرق الخرسانية ومسارات السكك الحديدية والجسور وغيرها... للسماح لها بالتمدد والتقلص بحرية عند تغير درجة الحرارة، من دون أن يؤدي ذلك إلى تلفها أو انهيارها، أنظر إلى الشكل (34). تُسمى الزيادة في طول سلك فلزي رفيع عند رفع درجة حرارته التمدد الطولي

منصة أساس التعليمية

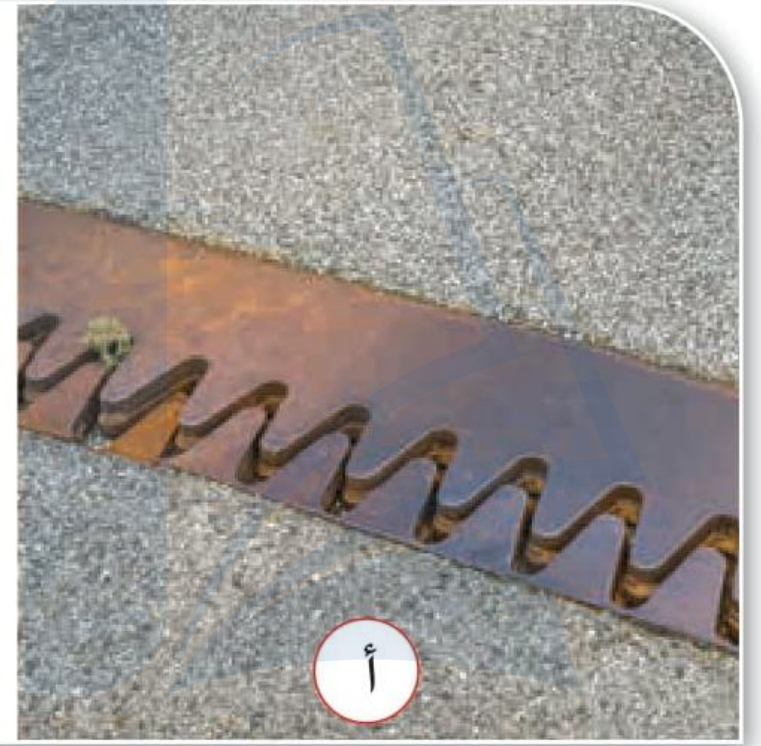
الشكل (34):

أ. يسمح فاصل التمدد (الفراغ أو المادة اللينة) في الجسر لمادة الجسر ووسطح الطريق، بالتمدد في الأيام الشديدة الحرارة، والتقلص في الأيام شديدة البرودة بحرية من دون تقوس الجسر أو انهياره أو تشققه.

ب. يُملأ فاصل التمدد الرأسي بين قطع الطوب في البناء بمادة لينة (مرنة) تسمح للطوب بالتمدد والتقلص بتغير درجة حرارته.



ب



أ

$$\Delta l = \alpha l_i \Delta T$$

معامل التمدد الطولي لمادة السلك (α)

مقدار الزيادة في طول (1 m) من المادة عند رفع درجة حرارتها بمقدار (1°C).

يختلف من مادة إلى أخرى، ووحدة قياسه ($^\circ\text{C}^{-1}$) أو (K^{-1}).

التمدد الحراري الطولي Thermal Linear Expansion

الجدول 3: معامل التمدد الطولي لمواد مختلفة عند درجة حرارة الغرفة (20 °C).

المادة	معامل التمدد الطولي α (°C ⁻¹)
الألمنيوم	24×10^{-6}
النحاس	17×10^{-6}
الخرسانة	12×10^{-6}
الفولاذ / الحديد	11×10^{-6}
الزجاج العادي	9×10^{-6}
زجاج البيركس	3.2×10^{-6}

مقدار معامل التمدد الطولي للفلزات يكون أكبر من مقداره للمواد الأخرى

✓ **أتحقق:** ما العوامل التي يعتمد عليها التمدد الطولي للمواد الصلبة؟

يعتمد على : طول الموصل (الساق أو السلك الرفيع)
التغير في درجة حرارته (ΔT)
نوع المادة

المثال ١١

- يبلغ طول أحد قضبان سكة حديد (30 m) عند درجة حرارة (0°C). إذا علمت أن القضيب مصنوع من الفولاذ Steel، وبلاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، فأحسب مقدار ما يأتي:
- أ. طول القضيب الفولاذي عندما تصبح درجة حرارته (50°C).
- ب. النقصان في طول القضيب الفولاذي عندما تصبح درجة حرارته (-50°C).

لقرئه

أحسب: مسطرة طولها (30 cm) مصنوعة من الفولاذ، تكون أكثر دقة عند استخدامها عند درجة حرارة (20°C). بالاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، أحسب مقدار طول المسطرة عند استخدامها عند درجة حرارة (35°C).

تطبيقات على التمدد الطولي

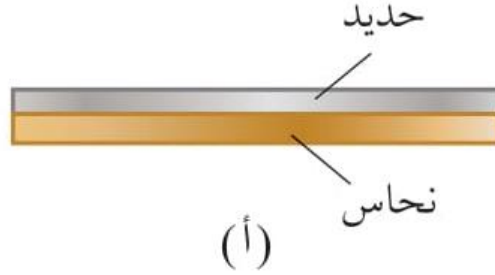
ألاحظ من الجدول (3)، أن معامل التمدد الطولي يختلف من مادة إلى أخرى؛ إذ تتمدد الأطوال المتساوية من هذه المواد وتقلص بمقادير مختلفة
الجدول 3: معامل التمدد الطولي لمواد مختلفة عند درجة حرارة الغرفة (20 °C).

المادة	معامل التمدد الطولي α (°C ⁻¹)
الألمنيوم	24×10^{-6}
النحاس	17×10^{-6}
الخرسانة	12×10^{-6}
الفولاذ / الحديد	11×10^{-6}
الزجاج العادي	9×10^{-6}
زجاج البايروكس	3.2×10^{-6}

تطبيقات على التمدد الطولي

الجدول 3: معامل التمدد الطولي لمواد مختلفة عند درجة حرارة الغرفة (20 °C).

المادة	معامل التمدد الطولي α (°C ⁻¹)
الألمنيوم	24×10^{-6}
النحاس	17×10^{-6}
الخرسانة	12×10^{-6}
الفولاذ / الحديد	11×10^{-6}
الزجاج العادي	9×10^{-6}
زجاج البايروكس	3.2×10^{-6}



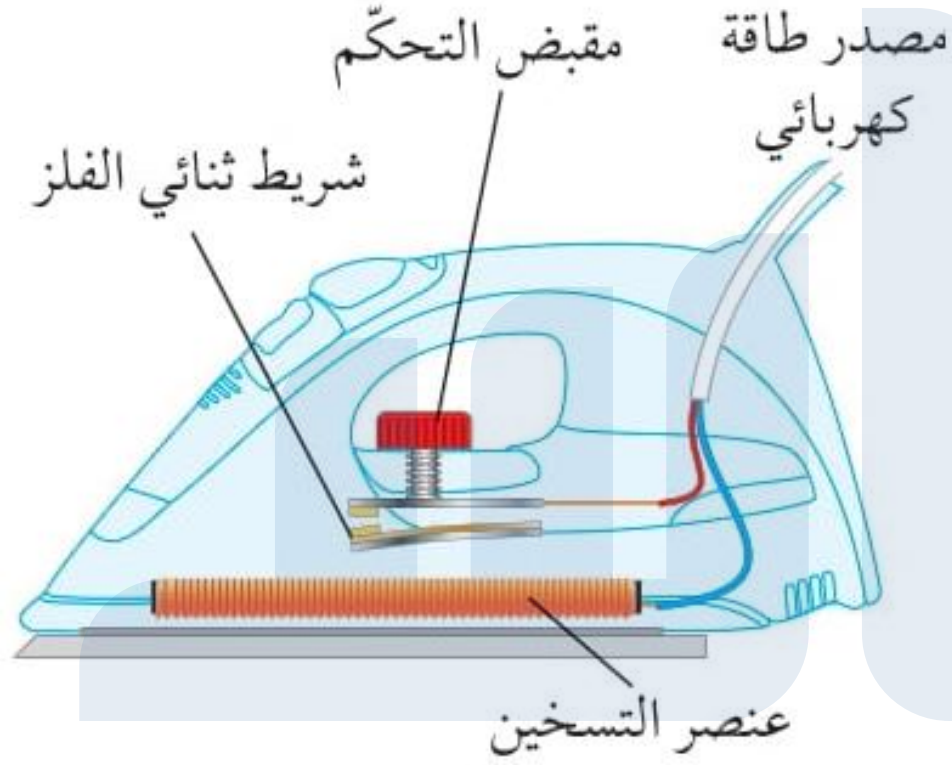
(أ)



(ب)

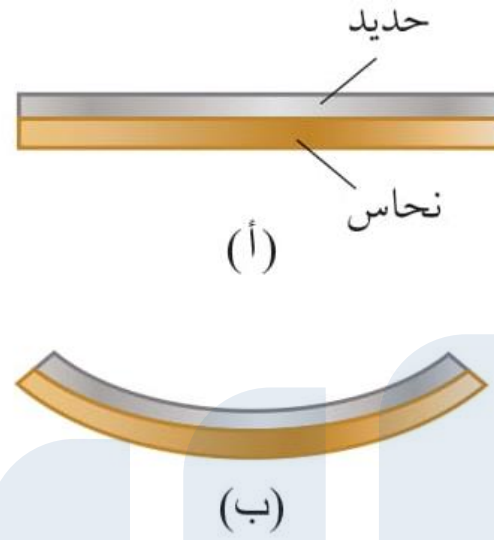
أ. شريط ثنائي الفلز من الحديد والنحاس بدرجة حرارة الغرفة.
ب. ينحني الشريط نحو الحديد عند تسخينه.

تطبيقات على التمدد الطولي



يُحافظ منظم الحرارة على ثبات درجة حرارة الغرفة أو الجهاز الكهربائي المستخدم فيه. ويوضح الشكل (36) منظم حرارة يستخدم شريطاً ثنائي الفلز في دائرة التسخين الكهربائي لمكواة كهربائية. فعندما تصل درجة حرارة عنصر التسخين إلى درجة الحرارة المطلوبة، ينحني الشريط بعيداً عن نقطة التوصل الكهربائي، فتفصل الدائرة الكهربائية في المكواة، ولا يمر فيها تيار كهربائي. وعندما يبرد الشريط الثنائي الفلز فإنه يعود إلى وضعه الابتدائي (مستقيماً)، فيلامس نقطة التوصل الكهربائي ويُغلق الدائرة الكهربائية، وتعمل المكواة مرة أخرى. وإذا دُور مقبض التحكم بحيث ينزل إلى أسفل قليلاً، فيجب أن ينحني الشريط الثنائي الفلز بمقدار أكبر لفتح الدائرة الكهربائية، وهذا يتطلب ارتفاع درجة حرارة الشريط بمقدار أكبر.

التمدد الحراري

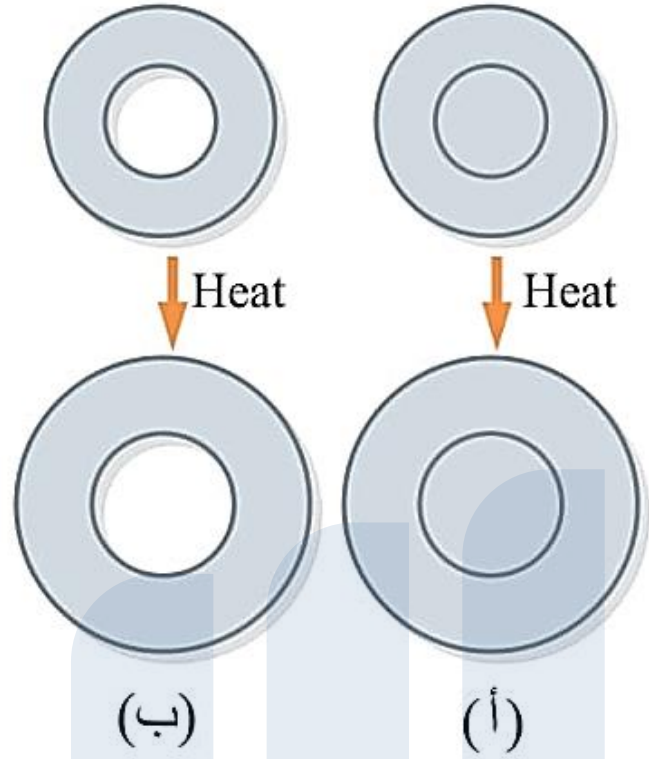


أفكر: في أي اتجاه ينحني الشريط الثنائي الفلز عند تبريده؟ أناقش أفراد مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصل إلى إجابة عن السؤال.

بما أن الشريطين مثبتين معًا فإن الشريط ثنائي الفلز ينحني نحو الفلز الأكبر معامل تمدد طولي عند تبريده، لأن مقدار التغير في طوله (نقصان عند تبريده) يكون أكبر من الفلز الآخر.

منصة أساس التعليمية

التمدد الحراري السطحي Thermal Surface Expansion



الشكل (37):

أ. يزداد نصف قطره القرص الفلزي عند رفع درجة حرارته.

ب. يزداد نصف قطر التجويف عند رفع درجة حرارته.

عند رفع درجة حرارة صفيحة رقيقة من مادة صلبة فإنها تتمدد، إذ يتغير مقدار كل من طولها وعرضها فتزداد مساحتها. وإذا احتوت الصفيحة على تجويف يزداد نصف قطره (نتيجة تمدد مادة الصفيحة المحيطة به) كما لو كان ممتلئاً بمادة الصفيحة نفسها. أنظر إلى الشكل (37/أ)، الذي يُبين تمدد قرص فلزي وازدياد نصف قطره عند رفع درجة حرارته بمقدار (ΔT) ، بينما يُبين الشكل (37/ب) ازدياد نصف قطر التجويف بالمقدار نفسه، كما لو كان ممتلئاً بمادة القرص نفسها عند رفع درجة حرارته بالمقدار (ΔT) نفسه.

✓ **أتحقق:** ما الذي يحدث لأبعاد صفيحة فلزية رقيقة عند رفع درجة

حرارتها؟

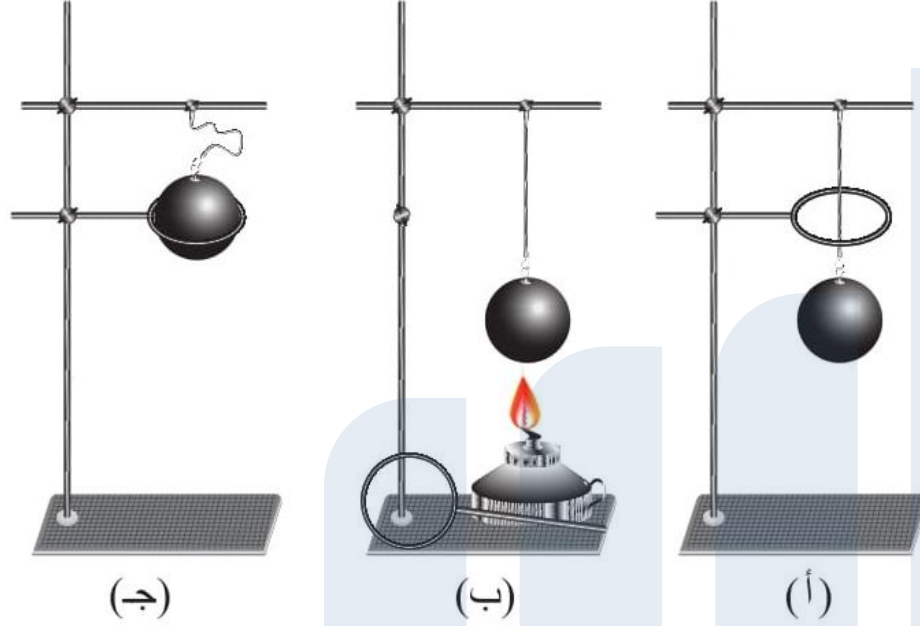
عند رفع درجة حرارة صفيحة رقيقة من مادة صلبة فإنها تتمدد، إذ يتغير مقدار كل من طولها وعرضها، فتزداد مساحتها.

منصة أساس التعليمية

التمدد الحراري الحجمي Thermal Volume Expansion

التمدد الحراري الحجمي للمواد الصلبة

تتمدد المواد الصلبة حجمياً عند رفع درجة حرارتها، إذ يزداد كلٌّ من طولها وعرضها وارتفاعها؛ فيزداد حجمها. وإذا احتوى الجسم الصلب على فجوات فإنّها تتمدد بالكيفية نفسها كما لو كانت ممتلئة بمادّة الجسم الصلب نفسها. ويوضح الشكل (38) تجربة الحلقة والكرة؛ فعند درجة حرارة الغرفة أستطيع إدخال الكرة الفلزية من الحلقة الفلزية بسهولة. أمّا عند تسخين الكرة فإنّه يصعب إدخالها من الحلقة؛ فقد ازداد نصف قطر الكرة ومن ثمّ ازداد حجمها، وأصبح نصف قطرها أكبر من نصف قطر الحلقة.



التمدد الحراري الحجمي للسوائل

تتمدد السوائل تمددًا حجميًا عند ارتفاع درجة حرارتها؛ إذ تأخذ السوائل شكل الوعاء الذي توضع فيه. ويكون تمدد السوائل عادة أكبر من تمدد المواد الصلبة للارتفاع نفسه في درجات الحرارة؛ لأنّ حرية حركة جزيئات السائل أكبر منها لجزيئات المادة الصلبة.

وعند تسخين أغلب السوائل يزداد حجمها وتقلّ كثافتها، حيث $(\rho = \frac{m}{V})$ ، وعند تبريدها يقلّ حجمها فتزداد كثافتها. ويشذ عن هذا السلوك الماء بين درجتَي الحرارة (0°C) و (4°C) .



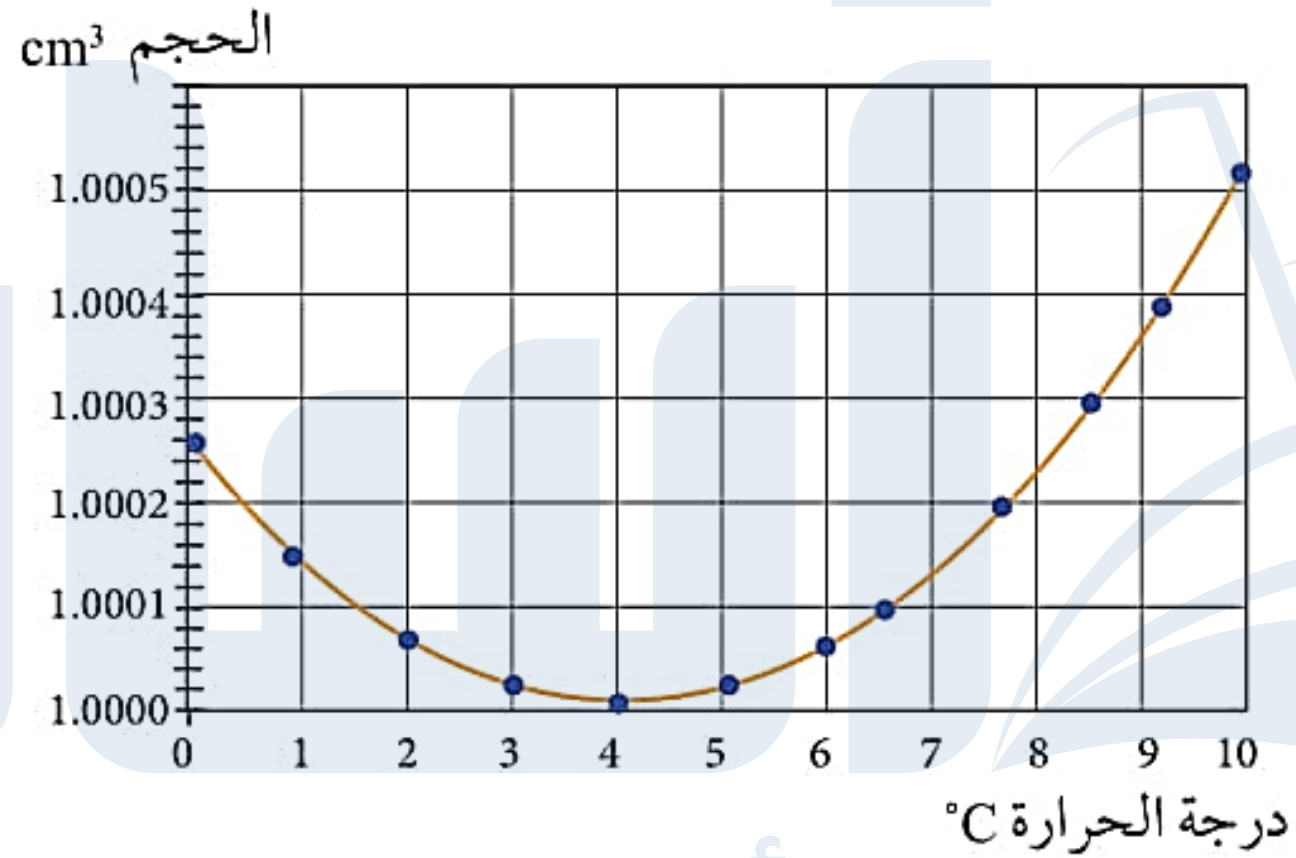
يُفسّر التمدّد غير المعتاد للماء بين (4°C) و (0°C) سبب بقاء الأسماك وأشكال الحياة البحرية الأخرى على قيد الحياة، في البحار والمحيطات والبحيرات في فصل الشتاء. إذ يبرد الماء الموجود في الجزء العلوي منها أولاً، فيقلّ حجمه ويغوص إلى قاعها؛ لأنّه أكبر كثافة حاملاً معه الأكسجين

اللازم لتنفس الكائنات البحرية، ثم يرتفع الماء الأكثر دفئاً والأقلّ كثافة إلى السطح (حاملاً معه ثاني أكسيد الكربون)، فتتخفض درجة حرارته نتيجة ملامسته الهواء البارد، ثمّ يغوص إلى

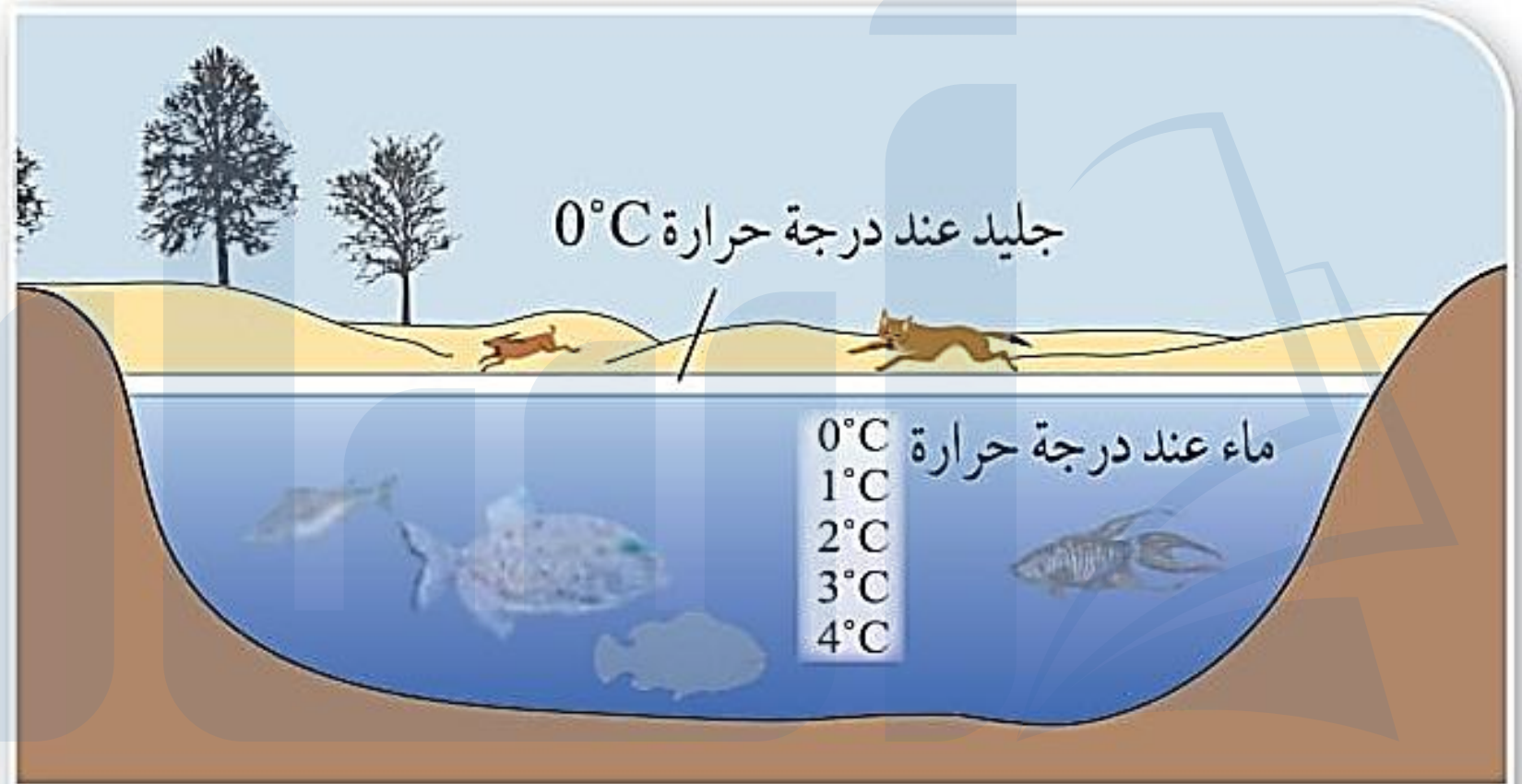
شدوذ الماء

عند تبريد الماء إلى (4°C) فإنه يتقلص، مشابهاً بذلك في سلوكه بقيّة السوائل. ولكن في أثناء تبريده من 4°C إلى 0°C فإنه يتمدد، مخالفاً بهذا السلوك سلوك بقيّة السوائل التي يقلّ حجمها باستمرار تبريدها حتّى تجمدها. إذ يكون أقل حجم لكمية من الماء (أكبر كثافة) عند (4°C). أنظر إلى الشكل (39). ويُطلق على سلوك الماء هذا بين درجتَي حرارة (4°C) و (0°C) شدوذ الماء **Anomalous behavior of water**.

عندما يتجمّد الماء عند درجة حرارة (0°C) يحدث تمدّد في حجمه، ويصبح حجم كلّ (100 cm^3) من الماء مساوياً (109 cm^3) من الجليد. وهذا يُفسّر سبب انفجار أنابيب المياه المكشوفة في الطقس الشديد البرودة، كما يُفسّر حقيقة أنّ كثافة الجليد أقلّ من كثافة الماء البارد؛ لذا، فهو يطفو على سطح الماء.



الشكل (39): عند تبريد الماء إلى ما دون (4°C) يزداد حجمه.



الشكل (40): نتيجة شذوذ الماء؛ يتجمّد ماء البحيرة من أعلى إلى أسفل.

✓ **أتحقق:** ما سبب بقاء الأسماك وأشكال الحياة البحرية المختلفة

على قيد الحياة، في البحيرات المتجمّدة؟

بسبب ظاهرة شذوذ الماء؛ وهو التمدد غير المعتاد للماء بين (4°C) و (0°C) ؛ إذ أنه عندما يبرد الماء الموجود في الجزء العلوي من البحيرة يقل حجمه ويغوص إلى قاعها؛ لأنه أكبر كثافة فينقل معه غاز الأكسجين الذي تحتاجه الكائنات الحية في أعماق البحيرة. ثم يرتفع الماء الأكثر دفئًا والأقل كثافة إلى السطح (ناقلًا معه غاز ثاني أكسيد الكربون)، فتتخفض حرارته نتيجة ملامسته للهواء البارد، ثم يغوص إلى أسفل، وهكذا. وعندما تنخفض درجة حرارة الماء على السطح إلى ما دون (4°C) ، فإنها تصبح أقل كثافة وتبقى في الأعلى، وتشكل في النهاية طبقة من الجليد عند درجة حرارة (0°C) وتتجمد مياه بحيرة مثلًا بداية من السطح مع بقاء الماء تحت الطبقة الجليدية سائلًا مما يسمح للكائنات البحرية للبقاء على قيد الحياة.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: لماذا تتمدد المواد الصلبة عند تسخينها؟ هل للتمدّد الحراري تأثير في حياتنا؟

وفقًا لنموذج الحركة الجزيئية، تتحرك جسيمات المواد الصلبة والسائلة حركة اهتزازية مستمرة، إضافة إلى وجود حركة انتقالية لجسيمات السوائل. وعند ارتفاع درجة حرارة هذه المواد يزداد مقدار سرعة جسيماتها كما تزداد سعة ذبذباتها، فيتباعد بعضها عن بعض قليلًا، وتتمدّد هذه المواد. للتمدّد الحراري فوائد وتطبيقات كثيرة في حياتنا، وقد يؤدي إهمال تمدد الأجسام إلى حدوث أضرار كبيرة، فمثلاً، يحرص المهندسون على ترك فراغات أو وضع فاصل تمدد حراري في المباني، والطرق الخرسانية، ومسارات السكك الحديدية، والجسور وغيرها.

منصة أساس التعليمية

مراجعة الدرس

2. أفسّر سبب تقوس الشريط الثنائي الفلز عند تسخينه.

لأن معامل التمدد الطولي لأحد الفلزين يكون أكبر منه للفلز الآخر، فيتقوس الشريط نحو الفلز الذي معامل تمدده أقل.

مراجعة الدرس

3. **أستخدم المتغيرات:** أراد صقر دراسة التمدد الطولي لفلزّين مختلفين، فأحضر سلكين رقيقين (A) و (B) من الفلزّين، لهما الطول نفسه ودرجة الحرارة الابتدائية نفسها، ثم سخّنها بحيث ارتفعت درجتا حرارتهما بالمقدار نفسه. لاحظ صقر أنّ مقدار الزيادة في طول السلك (B) أكبر منها للسلك (A). أجب عمّا يأتي:

أ. لماذا ضبطنا التغيّر في درجة الحرارة للفلزّين؟

لدراسة تأثير اختلاف نوع مادة الفلز في مقدار تمدده.

مراجعة الدرس

3. **أستخدم المتغيرات:** أراد صقر دراسة التمدد الطولي لفلزين مختلفين، فأحضر سلكين رفيعين (A) و (B) من الفلزين، لهما الطول نفسه ودرجة الحرارة الابتدائية نفسها، ثم سخّنها بحيث ارتفعت درجتا حرارتهما بالمقدار نفسه. لاحظ صقر أن مقدار الزيادة في طول السلك (B) أكبر منها للسلك (A). أجب عما يأتي:

ب. يتناسب مقدار التمدد الطولي لجسم طرديًا مع طوله. هل يُمكن لصقر أن يستنتج ذلك من تجربته هذه؟

لا يمكن لصقر أن يتوصل لهذا الاستنتاج بناءً على تجربته، إذ استخدم سلكين من فلزين مختلفين لهما الطول نفسه، وللتوصل إلى استنتاج صحيح يجب عليه استخدام سلكين مختلفين في الطول من الفلز نفسه.

مراجعة الدرس

3. **أستخدم المتغيرات:** أراد صقر دراسة التمدد الطولي لفلزين مختلفين، فأحضر سلكين رفيعين (A) و (B) من الفلزين، لهما الطول نفسه ودرجة الحرارة الابتدائية نفسها، ثم سخّنها بحيث ارتفعت درجتا حرارتيهما بالمقدار نفسه. لاحظ صقر أن مقدار الزيادة في طول السلك (B) أكبر منها للسلك (A). أجب عما يأتي:

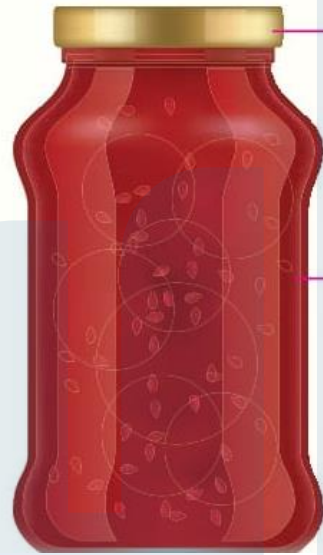
جـ. استنتج صقر أن: "معامل التمدد الطولي لمادة السلك (B) أكبر منه لمادة السلك (A)".
أصدر حكمًا على صحة استنتاجه بناءً على تجربته.

استنتاجه صحيح؛ إذ استخدم سلكين من فلزين مختلفين ولهما الطول نفسه ورفع درجتي حرارتيهما

بالمقدار نفسه.

منصة أساس التعليمية

مراجعة الدرس



غطاء فلزي

إناء زجاجي

4. **التفكير الناقد:** يُبيّن الشكل أدناه إناء زجاجيًا مغلقًا بغطاء فلزي. حاولت هدى فتح الغطاء الفلزي لكنها وجدت صعوبة في ذلك. بناءً على ما تعلمته في هذا الدرس اقترح طريقة على هدى تمكّنها من فتح الغطاء الفلزي بسهولة. أفسّر إجابتي.

باستخدام التمدد الحراري؛ حيث معامل تمدد الفلزات أكبر من معامل تمدد الزجاج، لذا فإن وضع الغطاء

الفلزي أسفل تيار ماء ساخن فترة زمنية قصيرة يجعله يتمدد وبالتالي يسهل فتحه.

مراجعة الدرس

5. **أصدرُ حُكمًا:** في أثناء دراستي وزميلتي باسمة هذا الدرس، قالت: "يجب أن يكون معامل تمدد مادة حشو الأسنان أكبر من معامل تمدد مينا الأسنان؛ كي تثبت الحشوة في السن ولا تسقط".
أناقش صحة قول باسمة.

قول باسمة غير صحيح؛ لأنه يجب أن يكون لمينا الأسنان ومادة حشو الأسنان معامل التمدد نفسه؛ فإذا كان معامل تمدد مادة الحشو أقل من معامل تمدد مينا الأسنان فإنها قد تسقط من السن عند تناول مشروبات ساخنة أو قد تتسبب في كسره عند تناول مشروبات باردة، وإذا كان معامل تمدد مادة الحشو أكبر من معامل تمدد مادة المينا فإنها قد تسبب كسر السن عند تمددها (تناول مشروبات ساخنة) أو سقوطها من السن عند تناول مشروبات باردة.

منصة أساس التعليمية

من وصايا الرسول الكريم صلى الله عليه وسلم:

(اغتَنِمْ خَمْسًا قَبْلَ خَمْسٍ:

حَيَاتِكَ قَبْلَ مَوْتِكَ،

وَصِحَّتِكَ قَبْلَ سَقَمِكَ،

وَفَرَاغِكَ قَبْلَ شُغْلِكَ،

وَشَبَابِكَ قَبْلَ هَرَمِكَ،

وَعَنَاكَ قَبْلَ فَقْرِكَ)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الديناميكا
الحرارية

أسئلة
الوحدة

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. وحدة قياس الحرارة حسب النظام الدولي للوحدات، هي:
- أ. السعر.
 - ب. الكلفن.
 - ج. السلسيوس.
 - د. الجول.

منصة أساسس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

2. ما السعة الحرارية النوعية بوحدة (J/kg) لفلز كتلته (620 g) إذا لزم (15000 J) لرفع درجة حرارته من (20°C) إلى (85°C)؟

أ. 3.72 ب. 231

ج. 15000 د. 372

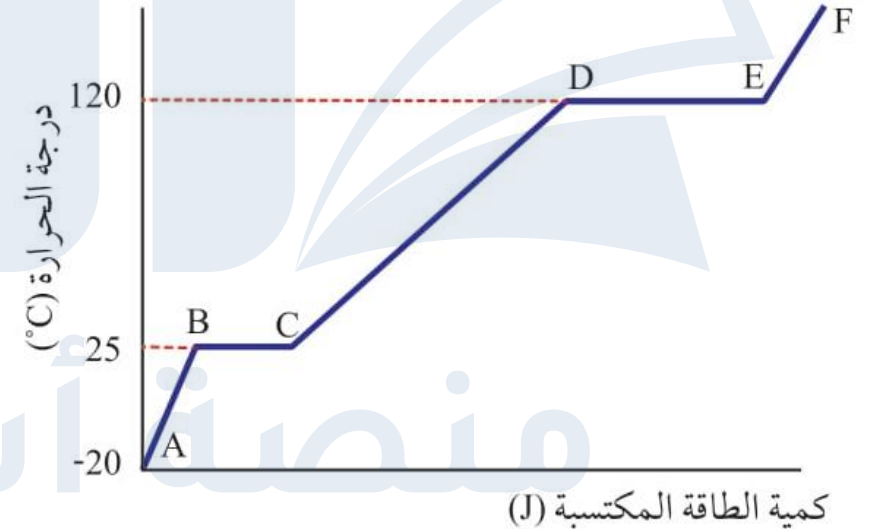
منصة أساسس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

يوضح الشكل أدناه منحنى (درجة الحرارة – الطاقة المكتسبة) لكتلة محددة من مادة ما في أثناء تزويدها بالطاقة. أستعين بهذا الشكل للإجابة عن الأسئلة (3 – 6):

3. أيّ أجزاء المنحنى البياني يُشير إلى زيادة في متوسط الطاقة الحركية لجسيمات المادة؟
- أ. الأجزاء: AB، CD، EF.
- ب. الأجزاء: AB، BC، CD.
- ج. الجزءان: BC، DE.
- د. الجزءان: AB، BC.



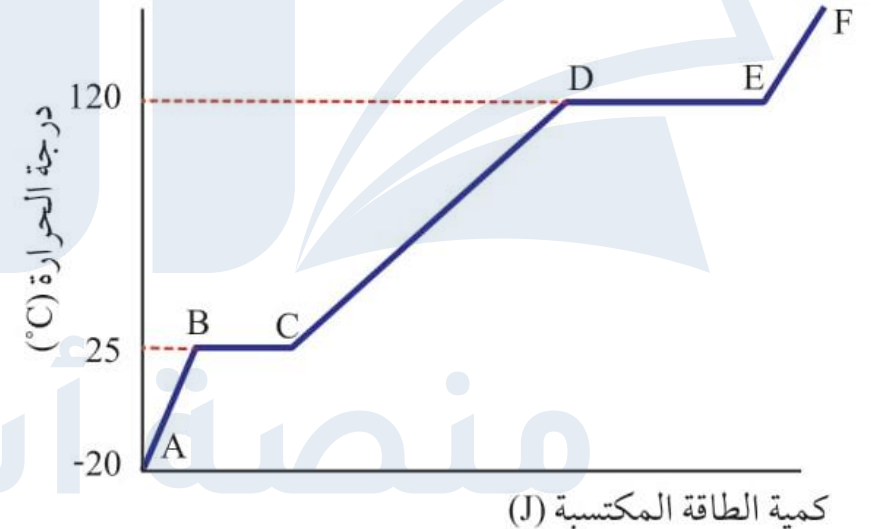
منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة

ممّا يأتي:

يوضح الشكل أدناه منحنى (درجة الحرارة – الطاقة المكتسبة) لكتلة محدّدة من مادة ما في أثناء تزويدها بالطاقة. أستعين بهذا الشكل للإجابة عن الأسئلة (3 – 6):



4. أيّ أجزاء المنحنى البياني يُشير إلى زيادة فقط، في مقدار الطاقة الكامنة لجسيمات المادّة؟

- أ. الأجزاء: AB، CD، EF.
- ب. الأجزاء: AB، BC، CD.
- ج. الجزآن: BC، DE.
- د. الجزآن: AB، CD.

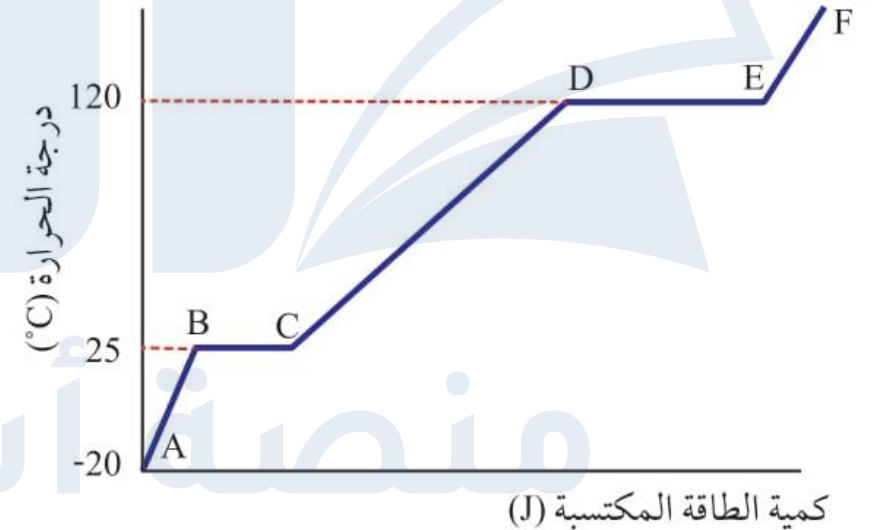
منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة

ممّا يأتي:

يوضح الشكل أدناه منحنى (درجة الحرارة – الطاقة المكتسبة) لكتلة محدّدة من مادة ما في أثناء تزويدها بالطاقة. أستعين بهذا الشكل للإجابة عن الأسئلة (3 – 6):



5. ماذا تُسمّى كمّية الطاقة المكتسبة اللازمة للانتقال

من النقطة (B) إلى النقطة (C)؟

أ. السعة الحرارية النوعية.

ب. الحرارة النوعية الكامنة للانصهار.

ج. الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد.

د. متوسط الطاقة الحركية لجسيمات المادّة.

6. ما مقدار درجة غليان المادّة؟

أ. -20°C

ب. 25°C

ج. 120°C

د. 0°C

منصة أساتذات التعليم

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

7. تسمى درجة الحرارة التي تُستخدم عندها الطاقة المكتسبة جميعها لتحويل مادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة:
- أ. درجة الانصهار.
 - ب. الحرارة النوعية الكامنة للانصهار.
 - ج. درجة الغليان.
 - د. الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

8. ما العلاقة بين كمية الطاقة التي يكتسبها (1 kg) ماء بدرجة حرارة (100°C) ليتحول إلى بخار عند درجة الحرارة نفسها، وكمية الطاقة التي تفقدها الكتلة نفسها عندما تتحول من بخار بدرجة حرارة (100°C) إلى ماء سائل عند درجة الحرارة نفسها؟

- أ. الطاقة التي يكتسبها الماء، أكبر من الطاقة التي يفقدها البخار.
- ب. الطاقة التي يكتسبها الماء، أصغر من الطاقة التي يفقدها البخار.
- ج. الطاقة التي يكتسبها الماء، تساوي الطاقة التي يفقدها البخار.
- د. لا يوجد فقد أو كسب للطاقة؛ لأن درجة الحرارة لم تتغير.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

9. ما الذي يحدث لطاقة جسيمات مادة في أثناء تغيير حالتها الفيزيائية من: السائلة إلى الغازية؟
- أ. تزداد طاقتها الحركية فقط.
 - ب. تزداد طاقتها الكامنة فقط.
 - ج. تزداد طاقتها الحركية وطاقاتها الكامنة.
 - د. لا تتغير طاقتها الحركية ولا الكامنة؛ لأن درجة الحرارة لم تتغير.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

10. جسمان: A و B، حدث اتّصال حراري بينهما ولم تتغيّر درجتا حرارتيهما. أستنتج أنّ الجسمين:
- أ. مختلفان في الكتلة.
 - ب. لهما السعة الحرارية النوعية نفسها.
 - ج. لهما الكتلة نفسها.
 - د. متّزان حراريًا.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

11. تُسمّى الطاقة التي تنتقل تلقائيًا من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأدنى درجة حرارة:

- أ. الطاقة الحركية.
- ب. الطاقة الكامنة.
- ج. درجة الحرارة.
- د. الحرارة.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

12. كمية فيزيائية تُعدّ مقياساً لمتوسط الطاقة

الحركية لجسيمات المادة، هي:

أ. الطاقة الحركية. ب. الطاقة الكامنة.

ج. درجة الحرارة. د. الحرارة.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

13. يُبذل شغل في المضخّات الحرارية على نظام؛
من أجل:

- أ. نقل الطاقة في اتجاه انتقالها التلقائي نفسه.
- ب. نقل الطاقة بعكس اتجاه انتقالها التلقائي.
- ج. نقل الطاقة من المناطق الأعلى درجة حرارة إلى المناطق الأدنى درجة حرارة.
- د. وصوله إلى حالة الاتزان الحراري مع المحيط الخارجي.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

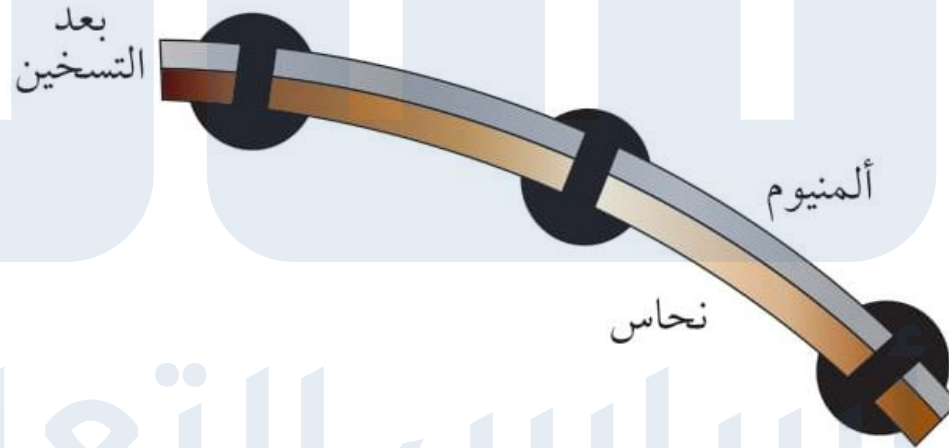
14. أيّ عمليات الديناميكا الحرارية الآتية تحدث لغاز وتبقى طاقته الداخلية ثابتة، على الرغم من حدوث تبادل للطاقة مع الغاز وبذل شغل؟
- أ. الكاظمة .
 - ب. عند حجم ثابت.
 - ج. عند ضغط ثابت.
 - د. عند درجة حرارة ثابتة.

منصة أساسس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

15. يوضّح الشكل أدناه شريطًا ثنائي الفلزّ بعد تسخينه إلى درجة حرارة أكبر من درجة حرارة الغرفة. عند تبريد الشريط إلى ما دون درجة حرارة الغرفة بكثير فإنّه:
- أ. يصبح مستقيمًا.
 - ب. يزداد انحناءه نحو النحاس.
 - ج. ينحني نحو الألمنيوم.
 - د. لا يتغيّر انحناءه؛ إذ يبقى ثابتًا.



أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

2. أفسّر ما يأتي:

أ. الحرق الناتج عن تعرّض شخص لكتلة معيّنة من بخار ماء بدرجة حرارة (100°C) ، أشدّ من الحرق الناتج عن تعرّضه لكتلة مساوية من الماء بدرجة حرارة (100°C) .

لأن مقدار الطاقة الحرارية في البخار أكبر منه في كتلة مساوية من الماء السائل على الرغم من أن لهما درجة الحرارة نفسها، حيث تكون الطاقة الحرارية للبخار أكبر منها للماء السائل بمقدار الطاقة اللازمة لتسعيده.

منصة أساسس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

2. أفسّر ما يأتي:

ب. الكأس الزجاجية السمكية أكثر عرضة للكسر من الكأس الزجاجية غير السمكية، عند سكب شاي ساخن فيها.

عند سكب شاي ساخن في كأس زجاجية سمكية يتمدد الزجاج من الداخل، أما الزجاج من الخارج فيحتاج إلى وقت أطول ليتمدد؛ لأنه موصل غير جيد للحرارة. ومرونة الزجاج منخفضة؛ لذا فإن الزجاج السميك يكون أكثر عرضة للكسر.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

3. **أقارن:** كوبا ماء متماثلان، يحتوي الكوب الأول

على (150 g) ماء بدرجة حرارة (40°C)، ويحتوي

الكوب الثاني على (300 g) ماء بدرجة الحرارة

نفسها. أجب عما يأتي:

أ. أقرن بين الطاقة الحرارية للماء في الكوبين.

الطاقة الحرارية للماء في الكوب الثاني أكبر؛ لأن عدد جزيئات الماء فيه أكبر.

ب. أقرن بين متوسط الطاقة الحركية لجزيئات

الماء في الكوبين.

متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الماء في الكأسين متساوية؛ لأنها درجة حرارة الكوبين متساوية.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

4. **أُحْلَل:** هل المواد التي ترتفع درجة حرارتها بسرعة وتبرد بسرعة، لها سعة حرارية نوعية كبيرة أم صغيرة؟

لها سعة حرارية نوعية صغيرة، حيث يلزم مقدار قليل من الطاقة لتغيير درجة حرارتها.

منصة أساسس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

5. **أتوقع:** يثني أحمد بسرعة سلك نحاس طويلاً أسطواناني الشكل بزاوية (90°) ، فيلاحظ ارتفاع درجة حرارة السلك عند موقع الثني. أتوقع سبب ارتفاع درجة حرارة السلك عند هذا الموقع.

يبذل أحمد شغلاً على سلك النحاس عند ثنيه، ويعمل هذا الشغل على زيادة الطاقة الداخلية لجسيمات النحاس في موقع الثني مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

6. **أُحْلَل:** في كل حالة ممّا يأتي، أوضّح إذا كان يُبذل شغل أم لا، وفي حالة بذل الشغل أ حدّد هل بذله الغاز أم بذل عليه.

أ. ضغط الهواء في مضخة تعمل بضغط القدم؛
عن طريق التأثير بقوة في مكبسها.

يبذل شغل على الغاز؛ حيث تؤثر قوة في الغاز فيقل حجمه.

ب. إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون من طفاية
حريق في الغلاف الجوي.

**الغاز يبذل شغلاً؛ حيث يتمدد الغاز في الغلاف الجوي، فيزداد حجمه من خلال بذله شغلاً على
الجسيمات الموجودة في الهواء.**

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

6. **أُحْلَل:** في كل حالة ممّا يأتي، أوضّح إذا كان يُبذل شغل أم لا، وفي حالة بذل الشغل أ حدّد هل بذله الغاز أم يُذل عليه.

ج. زيادة ضغط غاز في أسطوانة من دون تغيير حجمه.

لا يُبذل شغل؛ حيث يبذل الغاز شغلاً أو يبذل عليه عندما يتغير حجمه.

د. التمدّد السريع لمزيج الوقود والهواء المحترق في أسطوانة محرك سيارة، ما يدفع مكبسها إلى الخارج.

يُبذل الغاز شغلاً؛ حيث يتمدد الغاز، فيزداد حجمه من خلال بذله شغلاً على المكبس.

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

7. **أحلّ:** مصدر حراري يعمل بالوقود. إذا كانت كمية الوقود المتوافرة فيه تولّد طاقة مقدارها (1.25 MJ) عند حرقها، فأحسب كتلة الماء التي يُمكن تسخينها من درجة حرارة (8°C) إلى درجة حرارة (100°C) بافتراض اكتساب الماء كامل الطاقة المتولّدة، والسعة الحرارية النوعية للماء تقريبًا. ($c_w = 4200 \text{ J/kg.K}$)

منصة أساس التعليمية

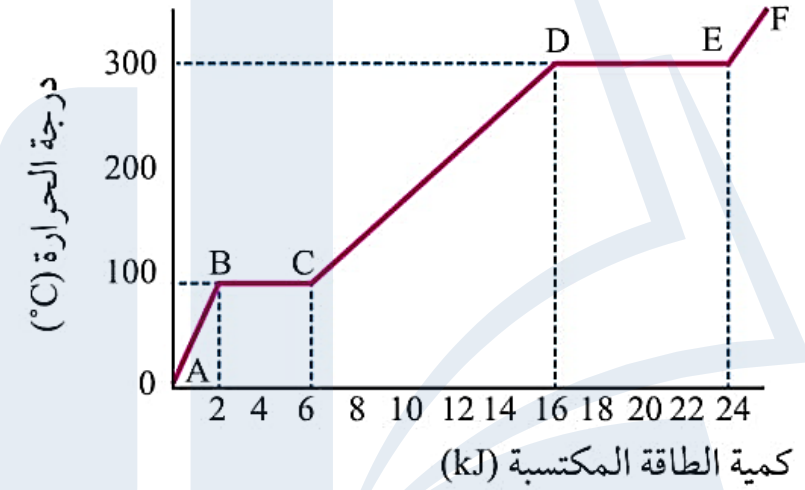
أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

8. **أحسب:** كرة الألمنيوم كتلتها (0.05 kg)، وُضعت في مسعر حراري يحتوي على ماء كتلته (0.15 kg) ودرجة حرارته (20°C)، فكانت درجة الحرارة النهائية للنظام عند الاتزان الحراري (24°C). إذا علمتُ أن النظام مغلق ومعزول، وبإهمال الطاقة التي تكتسبها مادة المسعر، فأحسب مقدار ما يأتي:
- أ. التغير في الطاقة الحرارية للماء.
- ب. درجة حرارة كرة الألمنيوم الابتدائية.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

9. أفسّر البيانات: سُخِّنَت عَيَّةٌ من مادّة ما كتلتها (10 g)، فتغيّرت درجة حرارتها كما هو موضح في الشكل. أجب عمّا يأتي:



أ. ما درجة انصهار هذه المادّة؟

ب. ما الحالة الفيزيائية للمادّة بين النقطتين (B) و(C)؟

ج. أحسب الحرارة النوعية الكامنة للتصعيد لهذه المادّة.

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

10. **أحسب:** محرك حراري يكتسب طاقة مقدارها

(300 kJ) من مستودع الطاقة (Q_H)، ويطرد طاقة

مقدارها (30 kJ) إلى مستودع الطاقة (Q_L).

أحسب مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي يبذله المحرك الحراري.

ب. كفاءة المحرك الحراري.

محذوف يا جماعة 😊

منصة أساس التعليمية

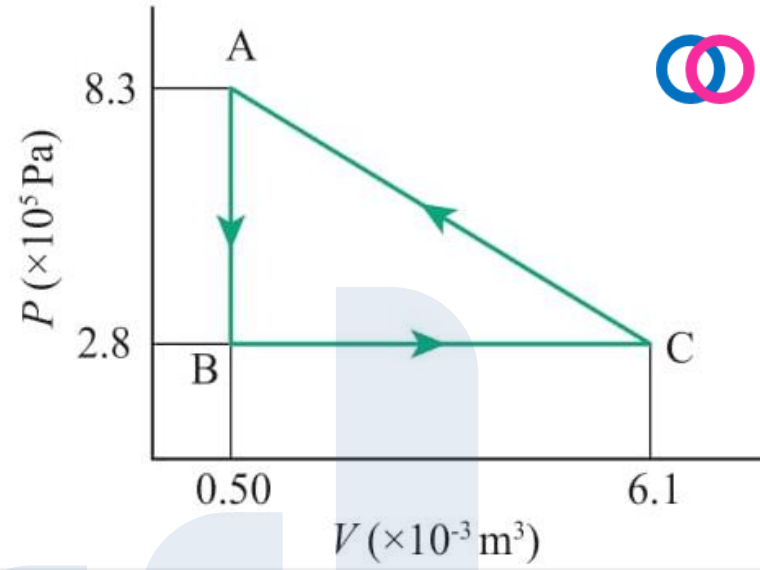
أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

11. يُستخدم في الثلاجات سائل تبريد لنقل الطاقة على شكل حرارة من داخلها إلى المحيط الخارجي، ويتحول سائل التبريد إلى الحالة الغازية نتيجة امتصاصه الطاقة من الثلاجة. إذا دخل هذا الغاز إلى المكبس في أثناء دورته في الثلاجة، فبذل عليه شغلًا مقداره (150 J) في أثناء ضغطه، وارتفعت طاقته الداخلية بمقدار (120 J)، فأجيب عما يأتي:

أ. ما مقدار الطاقة التي جرى تبادلها مع الغاز على شكل حرارة؟

ب. هل زُود الغاز بهذه الطاقة أم فقدتها؟

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية



12. **أفسّر البيانات:** يوضح الشكل أدناه منحنى (الضغط – الحجم) لنظام يتكوّن من عيّنة من غاز محصور تمرّ بعدّة عمليّات ديناميكا حرارية خلال دورة (ABCA) في نظام مغلق. افترض أنّه لا يوجد طاقة متبادلة على شكل حرارة مع النظام في أثناء التغير (العملية الحرارية) من B إلى C. أجب عما يأتي:

- أحدّد عملية تحدث عند حجم ثابت.
- أحسب التغير في الطاقة الداخلية للنظام في أثناء العملية BC.

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

13. **أستخدم المتغيرات:** عينة من غاز الأرجون

محصورة في أسطوانة مزودة بمكبس. اكتسب

الغاز طاقة مقدارها $(1.75 \times 10^5 \text{ J})$ على شكل

حرارة، فازداد حجمه من (0.16 m^3) إلى (0.3 m^3)

عند ضغط ثابت مقداره $(2 \times 10^5 \text{ Pa})$. أحسب

مقدار ما يأتي:

أ. الشغل الذي بذله الغاز.

ب. التغير في الطاقة الداخلية لغاز الأرجون.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

14. **أحلّ:** أكتب القانون الأول في الديناميكا الحرارية
لغاز مثالي لكل عملية من العمليات الحرارية
الآتية:

- أ. العملية عند درجة حرارة ثابتة.
- ب. العملية عند حجم ثابت.
- ج. العملية الكاظمة.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

15. **التفكير الناقد:** تقول هناء إنه يمكنها تبريد المطبخ في يوم حارّ عن طريق فتح باب الثلاجة فيه. أناقش صحّة قول هناء.

إن الطاقة التي تطردها الثلاجة إلى المحيط الخارجي أثناء عملها تُضاف إلى الهواء المُبرّد نتيجة فتح باب الثلاجة، لذا يبقى متوسط درجة حرارة المطبخ ثابتاً.

منصة أساس التعليمية

أسئلة الوحدة – الديناميكا الحرارية

16. **أحسب:** يُستخدم سلك نحاس طوله (2 m) في مدفأة كهربائية. بالاستعانة بالبيانات الواردة في الجدول (3)، أحسب مقدار طول السلك عندما ترتفع درجة حرارته بمقدار (100°C).

منصة أساس التعليمية