

من إصدارات
المركز العلمي للترجمة



الوحدة الثالثة
الديناميكا الحرارية
Thermodynamics

الجزء العشرون

القانون الأول في الديناميكا الحرارية
The First Law of Thermodynamics



الدكتور حازم فلاح سكيك



www.trgma.com

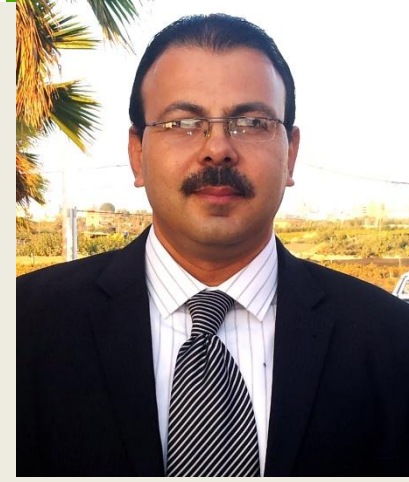


إهداء الى كل ابنائي
وظلابي
ومحبي الفيزياء

دكتور حازم فلاح سكيك

www.hazemsakeek.net





د. حازم فلاح سكيك

استاذ الفيزياء المشارك بجامعة الازهر-غزة
رئيس قسم الفيزياء بجامعة الازهر - غزة
في الفترة 1998-1993

مؤسس وعميد كلية الدراسات المتوسطة
بجامعة الازهر - غزة من الفترة 1996-
2005

عميد القبول والتسجيل بجامعة الازهر-غزة
في الفترتين 2000-1998 و2007-2008
مدير الحاسب الالى بجامعة الازهر - غزة
في الفترة من 1994-2000

رئيس وحدة تكنولوجيا المعلومات بجامعة
الازهر - غزة في الفترة من 2000-2005

مؤسس موقع الفيزياء التعليمي

واكاديمية الفيزياء للتعليم الالكتروني

ومركز الترجمة العلمي

وقناة الفيزياء التعليمي على اليوتيوب

ورئيس تحرير مجلة الفيزياء العصرية

www.hazemsakeek.net/

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته، انه لمن عظيم سعادتني ودواعي سروري لحظة انتهائي من ترجمة الجزء العشرون من كتاب الفيزياء الشهير للمؤلف سيروي لأقدمه لأبنائي الطلبة ليكون لهم عوناً في فهم ودراسة هذا الجزء الذي يتناول القانون الأول في الديناميكا الحرارية راجياً من الله العلي القدير ان يتقبله مني على ما تفضل به من نعم علي.

لقد راعيت اثناء صياغة الجمل ان تكون متسلسلة ومفهومة ومترابطة وواضحة وقريبة من حياتنا العملية بعيداً عن الترجمة الحرفية. عرضت المسائل وحلولها بطريقة شيقة كأنك تحضر محاضرة فعلية حيث أدرج تحليل لكل مسألة قبل الشروع في حلها وتوضيح القانون المستخدم لحلها والمعطيات والمجاهيل اللازمة لإيجاد المطلوب ليتمكن الطالب من التفكير بنفس الطريقة في حل المسائل المطلوبة في نهاية الجزء، هذا بالإضافة الى تحليل القيم الناتجة وافترض ماذا يحدث لو تغير أحد متغيرات المسألة وذلك حتى يتعود الطالب على التمعن في القيم التي يحصل عليها وان تكون قريبة من توقعاته.

يسعدني سماع تعليقاتكم وآرائكم حول الترجمة وان كان هناك أي أخطاء او احي فقرات او جمل بحاجة لإعادة صياغة الإشارة لها في رسالتكم مع خالص حبي وتقديري. يسعدني استقبال رسائلكم على بريدي skhazem@gmail.com

د. حازم فلاح سكيك

غزة 25 - 2 - 2013





توثيق

م	البند	البيان
1	المصدر	Physics for Scientists and Engineers By Raymond A. Serway & John W. Jewett 8th Edition
2	الموضوع	الوحدة الثالثة الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية
3	المترجم	د. حازم فلاح سكيك
4	المراجعة العلمية	د. حازم فلاح سكيك
5	المراجعة اللغوية	د. حازم فلاح سكيك
6	التصنيف	فيزياء
7	الفئة	كتاب
11	التاريخ	2013-2-25





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

حتى العام 1850، اعتبر علم الديناميكا الحرارية thermodynamics وعلم الميكانيكا mechanics فرعين مختلفين من أفرع العلوم، وأن قانون حفظ الطاقة يصف فقط أنظمة ميكانيكية محددة. ولكن في منتصف القرن التاسع عشر أثبتت التجربة التي أجراها العالم جيمس جول James Joule وآخرون إن هناك ارتباط قوي بين انتقال الطاقة بواسطة الحرارة في العمليات الحرارية وانتقال الطاقة بواسطة الشغل في العمليات الميكانيكية. اليوم نحن نعرف إن الطاقة الداخلية، والتي سوف نشرحها في هذا الجزء، يمكن ان تتحول الى طاقة ميكانيكية. وبمجرد ان اصبح مبدأ الطاقة معمما ليشمل الانظمة الميكانيكية والطاقة الداخلية، فان قانون حفظ الطاقة يظهر كقانون كوني في الطبيعة.

هذا الجزء يركز على مفهوم الطاقة الداخلية، والعمليات التي تنتقل الطاقة من خلالها، وكذلك على القانون الاول في الديناميكا الحرارية، وبعض التطبيقات الهامة للقانون الأول. يصف القانون الأول في الديناميكا الحرارية انظمة محددة يكون فيها التغير الوحيد في الطاقة هو التغير في الطاقة الداخلية وتنتقل الطاقة بواسطة الحرارة او الشغل. كما ان هناك فرق شاسع بين مفهوم الشغل في هذه الوحدة ومناقشتنا للشغل في وحدة الميكانيكا والاجزاء التابعة لها في هذا الكتاب وهو اننا سوف نتعامل مع الشغل المبذول على الانظمة القابلة للتشكيل deformable systems.

في هذه الصورة نشاهد بحيرة Mt. Baker بجوار بيلينجهام في واشنطن، ونرى في الصورة دليل واضح على ان الماء يوجد في حالاته الثلاث. نلاحظ الماء في وسط البحيرة والتلج يظهر على الأرض. والسحب في السماء تتكون من قطرات من الماء التي تكثفت من بخار الماء في الجو. التغير في المادة من طور لآخر ناتج عن انتقال الطاقة.





الوحدة الثالثة: الديناميكا الحرارية الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

20.1 Heat and Internal Energy	1.20 الحرارة والطاقة الداخلية
20.2 Specific Heat and Calorimetry	2.20 الحرارة النوعية والمسعر
20.3 Latent Heat	3.20 الحرارة الكامنة
20.4 Work and Heat in Thermodynamic Processes	4.20 الشغل والحرارة في العمليات التيرموديناميكية
20.5 The First Law of Thermodynamics	5.20 القانون الأول في الديناميكا الحرارية
20.6 Some Applications of the First Law of Thermodynamics	6.20 بعض التطبيقات على القانون الأول في التيرموديناميكا
20.7 Energy Transfer Mechanisms	7.20 عمليات الانتقال الحراري





1.20 الحرارة والطاقة الداخلية Heat and Internal Energy

في البداية، من المهم ان نفرق بين الطاقة الداخلية *internal energy* والحرارة *heat*، هذان المصطلحان في الأغلب يستخدمان بشكل متبادل وغير صحيح في معظم اللغات.

الطاقة الداخلية *internal energy* هي كل طاقة النظام المصاحبة لمكوناته المجهرية - الذرات والجزيئات - عندما ينظر لها من محاور اسناد ثابتة بالنسبة لمركز ثقل النظام.

الجزء الأخير من تلك الجملة يضمن ان أي طاقة حركية للنظام ناتجة عن حركته خلال الفراغ لا تدخل ضمن الطاقة الداخلية. الطاقة الداخلية تشمل طاقة الحركة للانتقال العشوائي، والدوراني، والاهتزازي لحركة الجزيئات، وطاقة الوضع الاهتزازية المصاحبة للقوى بين الجزيئات. ومن المفيد ان نربط الطاقة الداخلية مع درجة حرارة الجسم، ولكن هذه العلاقة محدودة. سوف نرى في الجزء 3.20 ان التغير في الطاقة الداخلية يمكن ان يحدث ايضا في غياب أي تغيرات في درجة الحرارة.

الحرارة *Heat* تعرف على انها انتقال الطاقة عبر حدود النظام نتيجة لاختلاف درجة الحرارة بين النظام ومحيطه.

عندما تقوم بتسخين مادة، فهذا يعني إنك تنقل لها طاقة بوضعها على اتصال بوسط له درجة حرارة أعلى من درجة حرارتها. هذا هو الحال عندما نضع وعاء به ماء بارد على الفرن. الفرن له درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الماء،

تجنب خطأ شائع 1.20

الطاقة الداخلية، والطاقة الحرارية، وطاقة الربط.

عندما نقرأ في كتب الفيزياء، سوف ترى بعض المصطلحات مثل الطاقة الحرارية وطاقة الربط. الطاقة الحرارية يمكن ان تفسر على انها جزء من الطاقة الداخلية المصاحبة للحركة العشوائية للجزيئات ولهذا فهي مرتبطة بدرجة الحرارة. طاقة الربط هي طاقة الوضع المتبادلة بين الجزيئات. ولهذا فإن،

الطاقة الداخلية = الطاقة الحرارية + طاقة الربط

بالرغم من ان هذا التفصيل مدرج هنا للتوضيح بغض النظر عن الكتب الأخرى، الا اننا لن نستخدم هذين المصطلحين لعدم الحاجة لهما.





وبالتالي فان الماء يكتسب طاقة بواسطة الحرارة (التسخين). كما اننا ايضا سوف نستخدم مصطلح حرارة للتعبير عن كمية الطاقة المنتقلة بهذه الطريقة.

معلومة من الوحدة الأولى الجزء 8.

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} = W + Q + T_{MW} + T_{MT} + T_{ET} + T_{ER} \quad (8.2)$$

يمثل الطرف الايسر من المعادلة (2.8) الطاقة الكلية للنظام وهي تشمل طاقة الحركة وطاقة الوضع والطاقة الداخلية في حين ان الطرف الأيسر من المعادلة يمثل كل الطرق الممكنة لانتقال الطاقة إلى النظام، والتي تشمل الشغل W والحرارة Q والامواج الميكانيكية T_{MT} وانتقال المادة T_{MT} والانتقال الكهربائي T_{ET} والاشعاع الكهرومغناطيسي T_{ER} .

اقرأ تعريف الحرارة (Q في المعادلة 2.8) بعناية كبيرة. بالأخص، لاحظ ما هو الخطأ في استخدام مصطلح حرارة في الجمل الشائعة التالية: (1) الحرارة ليست طاقة في المادة الساخنة. على سبيل المثال، "الماء الذي يغلي يمتلك الكثير من الحرارة" هذه الجملة غير صحيحة، الماء عندما يغلي يمتلك طاقة داخلية E_{int} . (2) الحرارة ليست اشعاع. على سبيل المثال، "لقد كان الجو حارا جدا لان رصيف المشاة كان يشع حرارة" هذه ايضا جملة غير صحيحة، رصيف المشاة يفقد طاقة بواسطة اشعاع كهرومغناطيسي، T_{ER} في المعادلة 2.8. (3) الحرارة ليست الدفء الذي نشعر به. على سبيل

تجنب خطأ شائع 2.20

الحرارة ودرجة الحرارة والطاقة الداخلية مختلفين

عندما تقرأ الجريدة او تسمع الى الراديو، كن حذر لاستخدام التعابير الغير صحيحة التي تشمل كلمة الحرارة وفكر في الكلمة المناسبة الي يجب ان تستخدم بدلا من حرارة. حيث كثير ما نسمع مثلا "عندما توقفت السيارة، فان كمية كبيرة من الحرارة تولدت بواسطة الاحتكاك" و"الحرارة في يوم صيف ساخن..."





المثال، "الحرارة في الهواء كانت مرهقة للغاية" هذه جملة غير صحيحة، الصحيح أنه في يوم حار، الهواء درجة حرارته مرتفعة.

وبالمثل للتمييز بين الحرارة والطاقة الداخلية، تذكر الفرق بين الشغل والطاقة الميكانيكية الذي نوقش في الجزء السابع من هذا الكتاب. الشغل المبذول على النظام يقيس مقدار الطاقة المنتقلة إلى النظام من محيطه، في حين ان الطاقة الميكانيكية (الطاقة الحركية وطاقة الوضع) للنظام هي نتيجة لحركة ووضع النظام. ولهذا، عندما يبذل شخص شغل على النظام، تنتقل الطاقة من الشخص إلى النظام. من غير المنطقي الحديث عن شغل النظام، يمكن فقط ان نشير الى الشغل المبذول على أو بواسطة النظام عند حدوث بعض العمليات التي تحدث ويكون فيها انتقال للطاقة من أو إلى النظام. وبالمثل ايضا فان الحديث عن حرارة النظام يعتبر بلا معنى، فنحن نستخدم الحرارة فقط عندما نشير إلى الحرارة عندما تنتقل الطاقة نتيجة لاختلاف درجات الحرارة. كلا من الحرارة والشغل هي طرق لتغيير الطاقة في النظام.

وحدة الحرارة Unit of Heat

الدراسات الأولية للحرارة ركزت على تأثيرها على زيادة درجة حرارة المادة، والتي كانت في الأغلب الماء. التصور الأولي للحرارة كان معتمدا على مائع وهمي يسمى كالوريك *caloric* الذي يتدفق من مادة إلى مادة ويحدث تغيرات في درجة الحرارة. وجد فيما بعد ان هذا المائع الوهمي هو وحدة طاقة ترتبط بالعمليات الحرارية، الكلوري (cal)، والذي يعرف على انه مقدار الطاقة اللازم لرفع درجة حرارة 1g من الماء من 14.5°C إلى 15.5°C . (الكلوري Calorie الذي يكتب





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

بحرف C كبيرة ويستخدم لوصف مقدار محتوى الطاقة في الأغذية، وهو في الواقع يعادل كيلو كلوري (kilocalorie). وحدة الطاقة في أمريكا هي وحدة الحرارة البريطانية والتي تسمى British thermal unit وتكتب اختصارا Btu، والتي تعرف على انها كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1lb من الماء من 63°F إلى 64°C.

بمجرد ان تصبح العلاقة بين الطاقة في العمليات الحرارية والميكانيكية واضحة، فانه لن يكون هناك حاجة لوحدة خاصة لوصف العمليات الحرارية. الجول *joule* تم تعريفه من قبل على انه وحدة الطاقة بالاعتماد على العمليات الميكانيكية. تخلى العلماء الان عن وحدة الكالوري ووحدة *Btu* ويستخدمون الجول عند وصف العمليات الحرارية. في هذا الكتاب الحرارة والشغل والطاقة الداخلية كلها مفاصة بوحدة الجول.

المكافئ الميكانيكي للحرارة The Equivalent of Heat

في الجزئين السابع والثامن، وجدنا انه عندما يكون هناك احتكاك في النظام الميكانيكي، فان الطاقة الميكانيكية في النظام تتناقص، بمعنى اخر، ان الطاقة الميكانيكية غير محفوظة في حالة وجود قوى غير محافظة. بينت العديد من التجارب ان هذه الطاقة الميكانيكية لا تختفي ولكن تتحول إلى طاقة داخلية. ويمكنك ان تقوم بمثل هذه التجربة في البيت عندما تقوم بدق مسمار في قطعة من الخشب. ماذا يحدث لكل الطاقة الحركية للمطرقة عندما تتوقف؟ بعض من هذه الطاقة الحركية تنتقل إلى المسمار كطاقة داخلية، كما يتضح من ملمس المسمار الذي أصبح دافئ. لاحظ انه لا يوجد انتقال للطاقة بواسطة التسخين في هذه العملية. بالنسبة للمسمار وقطعة الخشب كنظام غير معزول، المعادلة 2.8 تصبح



جيمس بريسكوت جول

James Prescott Joule

فيزيائي بريطاني (1818-1889)

تلقى جول تعليمه النظامي في الرياضيات والفلسفة والكيمياء في دالتون جون ولكنه اعتمد اكثر على التعليم الذاتي. ابحاث جول ادت إلى تأسيس مبدأ الحفاظ على الطاقة. دراسته للعلاقة بين التأثيرات الكهربائية والميكانيكية والكيميائية توجت بإعلانه في 1843 عن ان كمية الشغل اللازم لإنتاج وحدة طاقة عرفت باسم المكافئ الميكانيكي للحرارة.





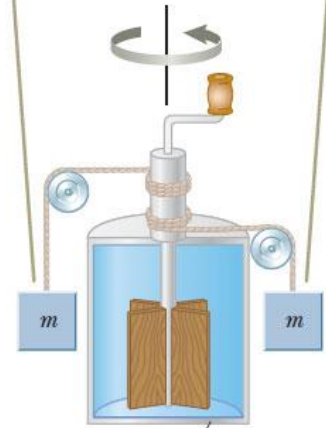
الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

حيث ان W هو الشغل المبذول بواسطة المطرقة على المسامير و T_{MW} هي الطاقة التي تترك النظام في صورة أمواج صوتية عندما يطرق المسامير بالمطرقة. بالرغم من هذا الترابط بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الداخلية قد اقترحه العالم بنجامين طومسون Benjamin Thompson، الا ان العالم جيمس جول James Joule هو من وجد المكافئ لتناقص الطاقة الميكانيكية وزيادة الطاقة الداخلية.

يوضح الشكل 1.20 مخططا للتجربة الشهيرة التي قام بها العالم جول. ويتكون النظام من قطعتين من الحجر تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية وماء في وعاء معزول حراريا. الشغل المبذول على الماء ناتج عن دوران عجلة المجداف والتي يتم تحريكها بواسطة الحجرين عند سقوطهما بسرعة ثابتة. فاذا كانت الطاقة المتحولة في التروس والطاقة المتسربة من جدران الوعاء مهملة، فان النقصان في طاقة الوضع للنظام عند سقوط الحجران يساوي الشغل المبذول بواسطة المجداف على الماء وبالتالي يعادل الزيادة في الطاقة الداخلية للماء. فاذا كان الحجرين يسقطان مسافة مقدارها h فان النقصان في طاقة الوضع يساوي $2mgh$ ، حيث ان m هي كتلة الحجر وهذه الطاقة هي المسؤولة عن ارتفاع درجة حرارة الماء. وبتغيير ظروف التجربة وجد العالم جول ان النقصان في الطاقة الميكانيكية يتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلة الماء في الوعاء والتغير في درجة حرارة الماء. وقد وجد ان ثابت التناسب يساوي تقريبا $4.18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$. وبالتالي فان 4.18 J هي مقدار الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1g من الماء بمقدار 1°C . وبإجراء المزيد من التجارب بدقة اكثر فقد وجد ان ثابت التناسب يساوي $4.186 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$ عندما ازدادت درجة حرارة الماء من 14.5°C إلى 15.5°C . مما يعني ان

الحجرين الساقطين يعملان على تحريك المجداف بشكل دروري، وهذا يسبب زيادة درجة حرارة الماء.



عازل حراري

الشكل 1.20 تجربة جول لتعيين المكافئ الميكانيكي للحرارة





$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J} \quad (20.1)$$

هذا التساوي -لأسباب تاريخية فقط- يعرف بالمكافئ الميكانيكي للحرارة *mechanical equivalent of heat*. والاسم الأكثر ملائمة هو التكافؤ بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الداخلية، ولكن الاسم التاريخي أصبح أكثر انتشاراً وتداولاً في الوسط العلمي، بالرغم من الاستخدام الخاطئ لكلمة حرارة *heat*.

مثال 1.20 فقدان الوزن بطريقة شاقة

تناول طالب وجبة عشاء تقدر بـ 2000 Calories. وهو يرغب في ان يذهب للنادي لبيدل شغل يكافئ مقدار ما تناوله من خلال رفع حديد كتلته 50.0-Kg. كم هي عدد المرات التي يجب ان يرفع فيها الحديد لبيدل شغلا يعادل مقدار الطاقة التي تناولها من طعام؟ افترض انه يرفع الحديد مسافة مقدارها 2.00 m في كل مرة وانه فقط يبذل الطاقة اثناء الرفع ولا يبذل أي طاقة عند ارجاع الحديد إلى الأرض.

الحل:

تصور للمسألة: تخيل ان الطالب يرفع الحديد. فهو إذا يبذل شغلا على الحديد ضد عجلة الجاذبية الأرضية، لذا فان جسمه يفقد طاقة. الشغل الكلي الذي يجب على الطالب ان يبذله هو 2000 Calories.

التصنيف: سوف نستخدم نموذج نظام غير معزول لنظام الحديد والأرض.

التحليل: باستخدام معادلة الحفاظ على الطاقة 2.8 مع

$$(1) \quad \Delta U_{total} = W_{total}$$

بالتعويض عن التغير في طاقة الوضع بعد رفع الحديد





$$\Delta U_{total} = mgh$$

باعتبار مقدار الطاقة الكلية التي على الطالب ان يبذلها فانه عليه ان يقوم بعدد n رفعة للحديد على اعتبار انه لا يكتسب طاقة عند خفض الحديد.

$$(2) \quad \Delta U_{total} = nmgh$$

بالتعويض في المعادلة (1) من المعادلة (2)

$$nmgh = W_{total}$$

بإيجاد عدد الرفعات n نجد ان

$$n = \frac{W_{total}}{mgh}$$

$$n = \frac{(2000\text{Cal})}{(50.0\text{Kg})(9.80\text{m/s}^2)(2.00\text{m})} \left(\frac{1.00 \times 10^3 \text{cal}}{\text{Calorie}} \right) \left(\frac{4.186\text{J}}{1\text{cal}} \right)$$

$$n = 8.54 \times 10^3 \quad \text{times}$$

اللمسة الأخيرة: وإذا افترضنا ان الطالب يتمتع بلياقة بدنية عالية فان كل رفعة سوف تستغرق منه 5 s فان اتمام عدد الرفعات سوف يستغرق 12 ساعة. بالتأكيد سوف يكون أسهل على الطالب ان يفقد وزنه باتباع حمية غذائية. في الواقع ان كفاءة جسم الانسان لا تكون 100%. ولهذا ليست كل الطاقة المتحولة داخل جسم الانسان من الغذاء تفقد بواسطة جسم الانسان على شكل شغل في رفع الحديد مثلا. بعض هذه الطاقة يستخدم لضخ الدم في الجهاز الدوري والكثير من الوظائف العضوية التي تعمل في جسم الانسان تستفيد من هذه الطاقة. ولهذا فان الـ 2000 Calories تفقد في اقل من 12 ساعة عند اعتبار العمليات الاخرى.





2.20 الحرارة النوعية والمسعر الحراري Specific Heat and Calorimetry

عندما تضاف طاقة إلى النظام ولا يكون هناك تغير في الطاقة الحركية أو في طاقة الوضع للنظام، فإن درجة حرارة النظام في العادة تزداد. (مع استثناء لهذه الجملة في حالة تعرض النظام لتغير في الحالة - والتي تعرف باسم انتقال الطور - كما سيتم مناقشتها في الجزء القادم) إذا احتوى النظام على عينة من مادة، فإننا نجد ان كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة كتلة محددة من المادة تختلف عن مادة اخرى. على سبيل المثال، كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg من الماء بمقدار 1°C هي 4.186 J، ولكن كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 kg من النحاس تساوي 387 J فقط. في المناقشة التالية، سوف نستخدم الحرارة كمثال على انتقال الطاقة، ولكن عليك ان تتذكر ان درجة حرارة النظام يمكن ان تتغير باي طريقة لانتقال الطاقة. السعة الحرارية Heat Capacity والتي يرمز لها بالرمز C لعينة ما تعرف على انها كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة العينة بمقدار 1°C. من هذا التعريف، نلاحظ أنه إذا حدثت طاقة مقدارها Q تغير مقداره ΔT في درجة حرارة العينة، فإن

$$Q = C \Delta T \quad (20.2)$$

السعة الحرارية النوعية specific heat والتي يرمز لها بالرمز c للمادة هي السعة الحرارية لكل وحدة كتل. ولهذا إذا انتقلت طاقة مقدارها Q إلى عينة مادة كتلتها m وتغيرت درجة حرارتها بمقدار ΔT ، فإن الحرارة النوعية للعينة تكون

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (20.3) \quad \text{Specific heat}$$





جدول 1.20 الحرارة النوعية لبعض المواد عند درجة حرارة 25°C وعند الضغط الجوي

Substance	Specific Heat (J/kg · °C)	Substance	Specific Heat (J/kg · °C)
<i>Elemental solids</i>		<i>Other solids</i>	
Aluminum	900	Brass	380
Beryllium	1 830	Glass	837
Cadmium	230	Ice (-5°C)	2 090
Copper	387	Marble	860
Germanium	322	Wood	1 700
Gold	129	<i>Liquids</i>	
Iron	448	Alcohol (ethyl)	2 400
Lead	128	Mercury	140
Silicon	703	Water (15°C)	4 186
Silver	234	<i>Gas</i>	
		Steam (100°C)	2 010

ملاحظة: لتحويل القيم بوحدة cal/g.°C قسم على 4.186.

الحرارة النوعية أساسية لتحديد مدى الحساسية الحرارية لمادة عند إضافة الطاقة لها. فكلما زادت السعة الحرارية النوعية للمادة فإن طاقة أكثر يجب أن تضاف لكتلة محددة من المادة لتحديث تغيير معين في درجة الحرارة. الجدول 1.20 يوضح السعة الحرارية النوعية لبعض المواد.

ترجمة المصطلحات في الجدول	
Substance	المادة
Specific Heat	الحرارة النوعية





من هذا التعريف، فإنه يمكن ان نربط الطاقة المنتقلة Q بين عينة كتلتها m من المادة والوسط المحيط بها إلى تغير في درجة الحرارة ΔT على النحو التالي

$$Q = mc\Delta T \quad (20.4)$$

على سبيل المثال، الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 0.500 kg من الماء بمقدار 3.00°C هي

$$Q = (0.500 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(3.00^\circ\text{C}) = 6.28 \times 10^3 \text{ J}$$

لاحظ انه عندما تزداد درجة الحرارة، فإن كلا من Q و ΔT تكون موجبة وفي هذه الحالة تنتقل الطاقة إلى النظام. وعندما تنقص درجة الحرارة، فإن كلا من Q و ΔT تتكون سالبة والطاقة تنتقل من النظام.

يمكننا ان نعرف $mc\Delta T$ على انها التغير في الطاقة الداخلية للنظام إذا أهملنا التمدد الحراري او الانكماش للنظام. (التمدد الحراري او الانكماش يسبب مقدار قليل من الشغل يبذل على النظام بواسطة الهواء المحيط). وبالتالي، المعادلة 4.20 هي صورة مبسطة للمعادلة 2.8: $\Delta E_{\text{int}} = Q$. الطاقة الداخلية للنظام يمكن ان تتغير بانتقال الطاقة الى النظام بواسطة أي طريقة. على سبيل المثال، إذا كان النظام هو بطاطا تطهى في فرن ميكروويف، فإن المعادلة 2.8 تختصر إلى المعادلة 4.20 على النحو التالي: $\Delta E_{\text{int}} = T_{\text{ER}} = mc\Delta T$ ، حيث ان T_{ER} هي الطاقة المنتقلة إلى البطاطا من فرن الميكروويف بواسطة الاشعاع الكهرومغناطيسي. إذا كان النظام هو الهواء في منفاخ عجل دراجة والذي يصبح ساخنا عند عمل المنفاخ، فإن المعادلة 2.8 تختصر إلى المعادلة 4.20 على النحو التالي: $\Delta E_{\text{int}} = W = mc\Delta T$ ، حيث ان W هو

تجنب خطأ شائع 3.20

خيار غير موفق للمصطلح

مصطلح الحرارة النوعية هو مصطلح غير موفق ولازال يستخدم منذ ان كانت الديناميكا الحرارية والميكانيكا علمين طورا بشكل منفصل. والمصطلح الانسب هو ان نقول انتقال الطاقة النوعية specific energy transfer، ولكن المصطلح متداول بكثرة ويصعب استبداله.





الشغل المبذول على المنفاخ بواسطة المستخدم. وبتعريف $mc\Delta T$ على أنها ΔE_{int} ، فإننا بذلك نكون قد اتخذنا خطوة نحو فهم أفضل لدرجة الحرارة: درجة الحرارة المرتبطة بطاقة الجزيئات للنظام. سوف نتعلم تفاصيل أكثر عن هذه العلاقة في الجزء 21.

تتغير السعة النوعية مع درجة الحرارة. فإذا كانت فروق درجات الحرارة ليست كبيرة فإن التغير في درجة الحرارة يمكن ان يهمل ويمكن التعامل مع c على انها ثابتة. على سبيل المثال، الحرارة النوعية للماء تتغير حوالي 1% من 0°C إلى 100°C عند الضغط الجوي. ما لم يذكر غير ذلك، سوف نهمل مثل هذه التغيرات.

سؤال للتفكير 1.20

تخيل ان لديك ثلاثة قطع من النحاس والزجاج والماء وكل قطعة كتلتها 1 kg هذه القطع الثلاثة عند درجة حرارة 10°C . (a) رتب العينات من الاعلى درجة حرارة إلى الاقل بعد اضافة 100 J من الطاقة لكل عينة. (b) رتب العينات من الأعلى إلى الأدنى من حيث كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة العينة إلى 20°C .

لاحظ من الجدول 1.20 ان الماء يمتلك أعلى قيمة حرارة نوعية من بين باقي المواد. هذه الحرارة النوعية العالية هي أحد الاسباب المسؤولة عن استقرار الطقس بجوار المناطق التي تمتلك كمية كبيرة من الماء. حيث ان درجة حرارة الماء تنخفض خلال فصل الشتاء فان الطاقة تنتقل من الماء البارد إلى الهواء، حيث تزداد الطاقة الداخلية للهواء. ولان الحرارة النوعية للماء عالية، فان كمية كبيرة من الطاقة تنتقل إلى الهواء حتى عند تغير متوسط في درجة حرارة الماء. الرياح

تجنب خطأ شائع 4.20

الطاقة يمكن ان تنتقل باي طريقة

الرمز Q يمثل الطاقة المنتقلة، ولكن عليك ان تتذكر ان معادلة الطاقة 4.20 يمكن ان تكون أي طريقة من الطرق التي ادرجت في الجزء 8، فهي لا يجب ان تكون حرارة. على سبيل المثال عندما تقوم بثني قطعة بلاستيكية عدة مرات متتالية فان درجة حرارتها ترتفع عند نقطة الانثناء بواسطة الشغل المبذول.





الوحدة الأولى: الثالثة

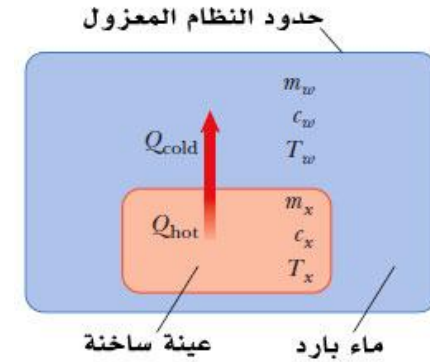
الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

السائدة في الساحل الغربي للولايات المتحدة تتجه إلى الأرض (شرقاً). وبالتالي، فإن الطاقة المتحررة من المحيط الهادي عندما تنخفض درجة حرارته يحافظ على المناطق الساحلية دافئة أكثر من المتوقع. ونتيجة لذلك فإن الساحل الغربي للولايات المتحدة تمتلك طقس شتوي مفضل أكثر من الساحل الشرقي للولايات المتحدة، حيث تكون الرياح السائدة لا تحمل طاقة في اتجاه الأرض.

المسعر الحراري Calorimetry

من أحد الطرق المستخدمة في قياس الحرارة النوعية هو تسخين العينة لدرجة حرارة معروفة ولنكن T_x ، وبوضع العينة في وعاء يحتوي على كمية معروفة الكتلة من الماء ودرجة الحرارة بحيث ان $T_w < T_x$ ، وقياس درجة الحرارة بعد ان يحدث الاتزان الحراري بين العينة والماء. تعرف هذه التقنية بالمسعر الحراري calorimetry، وهو الاجهزة التي يحدث فيها انتقال للحرارة تسمى المسعرات الحرارية calorimeters. الشكل 2.20 يوضح العينة الساخنة في الماء البارد والنتيجة انتقال الطاقة بواسطة الحرارة من الجزء الذي درجة حرارته مرتفعة في النظام إلى الجزء الذي درجة حرارته منخفضة. إذا كان النظام الذي يحتوي على العينة والماء معزولاً، فإن مبدأ الحفظ على الطاقة يتطلب ان كمية الطاقة Q_{hot} التي تغادر العينة (مجهولة الحرارة النوعية) تساوي كمية الطاقة Q_{cold} التي تنتقل إلى الماء. الحفظ على الطاقة يسمح لنا بان نكتب معادلة الطاقة على النحو التالي:

$$Q_{cold} = - Q_{hot} \quad (20.5)$$



الشكل 2.20 في تجربة المسعر الحراري، وضعت عينة ساخنة سعتهما الحرارية غير معلومة في ماء بارد في وعاء معزول.





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

افترض ان m_x هي كتلة عينة من مادة نرغب في تحديد حرارتها النوعية. لنفترض ان الحرارة النوعية للعينة هي c_x ودرجة حرارتها الابتدائية هي T_x كما هو موضح في الشكل 2.20. وبالمثل، لتكن m_w ، و c_w ، و T_w هي القيم المقابلة للماء. إذا كانت T_f هي درجة الحرارة النهائية بعد ان حدث الاتزان الحراري بين العينة والماء في الوعاء المعزول، فان المعادلة 4.20 تبين ان الطاقة المتحولة للماء هي $m_w c_w (T_f - T_w)$ ، والتي تكون موجبة لان $T_f > T_w$ ، والطاقة المتحولة من العينة المجهولة حرارتها النوعية هي $m_x c_x (T_f - T_x)$ ، وهي سالبة. بالتعويض عن هاتين القيمتين للطاقة في المعادلة 5.20 نحصل على

$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x)$$

وبالإمكان حل هذه المعادلة للحصول على قيمة الحرارة النوعية للعينة c_x المجهولة.

تجنب خطأ شائع 5.20

تذكر الإشارة السالبة

من المهم ان تستخدم الإشارة السالبة في المعادلة 5.20. فالإشارة السالبة في المعادلة ضرورية لسياق اصطلاح الإشارة لانتقال الطاقة. انتقال الطاقة Q_{hot} له إشارة سالبة لان في هذه الحالة الطاقة تفقد من العينة الساخنة. والإشارة السالبة في المعادلة تضمن ان الشق الايمن في المعادلة عدد موجب، متوافق مع الشق الايسر، والذي هو موجب لان الطاقة تكتسب بواسطة الماء البارد.

مثال 2.20 تبريد قطعة معدنية ساخنة

قطعة معدنية كتلتها 0.050-kg سخن لدرجة حرارة 200°C ومن ثم أسقط في مسعر حراري يحتوي على 0.400-kg من الماء درجة حرارته الابتدائية 20°C . درجة حرارة الاتزان الحراري النهائية للنظام اصبحت 22.4°C احسب الحرارة النوعية للمعدن.

الحل:

تصور للمسألة: تخيل ان العملية تحدث في نظام معزول كما في الشكل 2.20. تغادر الطاقة القطعة المعدنية الساخنة وتنتقل إلى الماء البارد، وبالتالي تبرد القطعة المعدنية ويسخن الماء. ومرة اخرى يصبح عند نفس درجة الحرارة وتتوقف عملية انتقال الطاقة.





التصنيف: سوف نستخدم المعادلة التي تم التوصل لها في هذا الجزء، وبالتالي فإننا نصنف هذا المثال كمسألة تعويض في المعادلة 20.4. وبالتالي باستخدام معادلة 4.20 لحساب كل طرف في المعادلة 5.20.

$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x)$$

بالحل بالنسبة لـ c_x

$$c_x = \frac{m_w c_w (T_f - T_w)}{m_x (T_x - T_f)}$$

بالتعويض عن القيم العددية في المعادلة نحصل على:

$$\begin{aligned} c_x &= \frac{(0.400 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg} \cdot \text{C})(22.4^\circ \text{C} - 20.0^\circ \text{C})}{(0.0500 \text{ kg})(200.0^\circ \text{C} - 22.4^\circ \text{C})} \\ &= 453 \text{ J/kg} \cdot \text{C} \end{aligned}$$

القطعة المعدنية في الأغلب هي حديد وذلك بمقارنة هذه النتيجة مع الجدول 1.20. درجة حرارة القطعة المعدنية في البداية كانت اعلى من نقطة التبخر للماء. وبالتالي لا بد وان بعض الماء قد تبخر عندما اسقطت القطعة المعدنية في الماء. نحن افترضنا ان النظام معزول وهذا البخار لا يمكن ان يتسرب للخارج. ولان درجة حرارة الاتزان النهائية اقل من نقطة تبخر الماء، فان البخار سوف يتكثف ويعود للماء.

ماذا لو؟ افترض إنك تقوم بتجربة في مختبر مستخدما نفس الطريقة لتعيين الحرارة النوعية لعينة وترغب في تقليل مقدار الشك في النتيجة النهائية لـ c_x . من البيانات المتوفرة في المثال، ما هو العامل الذي يكون تغييره هو الاكثر فعالية في تقليل مقدار الشك؟





الإجابة: أكبر نسبة شك في التجربة مرتبطا بالفرق الصغير في درجة الحرارة الماء المساوي لـ 2.4°C . على سبيل المثال باستخدام قواعد تحديد نسبة الشك الموضحة في الملحق B.8، فإن مقدار شك يعادل 0.1°C في كل من T_w و T_f يؤدي إلى 8% شك في الفرق بين درجتي الحرارة. ولكي يكون فرق درجات الحرارة كبيرا علينا ان نقلل مقدار كمية الماء المستخدمة في التجربة.

مثال 3.20 وقت ممتع مع رجل الكاويوي

أطلق رجل كاويوي رصاصة من الفضة من بندقيّة بسرعة 200 m/s على جدار من خشب الصنوبر. افترض ان كل الطاقة الداخلية التي تولدت بالتصادم بقيت مع الرصاصة. ما هو مقدار التغير في درجة حرارة الرصاصة؟

الحل:

تصور للمسألة: تخيل من خبرة مشابهة انه يمكن ان تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة داخلية عندما يتوقف جسم متحرك. على سبيل المثال، كما سبق وان ذكر في الجزء 1.20 عندما يصبح المسمار ساخنا بعد طرقه عدة مرات بواسطة مطرقة.

التصنيف: سنعتبر الرصاصة نظام معزولا. لا يوجد أي شغل مبذول على النظام لان القوة المؤثرة على الجدار الخشبي لا تؤدي الى ازاحة له. وكذلك لا يوجد أي شغل يبذل بواسطة الجدار على الرصاصة، والطاقة الحركية تتحول إلى طاقة داخلية.

التحليل: باستخدام معادلة حفظ الطاقة المعادلة 2.8 ووضعها في الصورة المناسبة لحالة الرصاصة فان

$$(1) \quad \Delta K + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

التغير في الطاقة الداخلية للرصاصة مرتبط بالتغير في درجة الحرارة

$$(2) \quad \Delta E_{\text{int}} = mc\Delta T$$





بالتعويض في المعادلة (1) من المعادلة (2)

$$(0 + \frac{1}{2} mv^2 + mc\Delta T = 0$$

بحل المعادلة بالنسبة لـ ΔT والتعويض عن الحرارة النوعية للفضة بـ $c=234 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$ (انظر الجدول 1.20) نحصل على:

$$\Delta T = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{mc} = \frac{v^2}{2c} = \frac{(200\text{m/s})^2}{2(234\text{J/kg.}^\circ\text{C})} = 85.5^\circ\text{C}$$

(3)

لاحظ ان النتيجة لا تعتمد على كتلة الرصاصة.

ماذا لو؟ افترض ان رجل الكاوبوي لم يعد يمتلك رصاصات الفضة واستبدالها برصاصات من الرصاص وأطلقها على الجدار بنفس السرعة. هل التغير في درجة حرارة الرصاصات سوف يكون أكبر او أصغر؟

الإجابة: من الجدول 1.20 يتضح لنا ان الحرارة النوعية للرصاص هي $128 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$ ، أي اصغر من الحرارة النوعية للفضة. ولهذا فان مقدار الطاقة المتحولة سوف ترفع درجة حرارة الرصاص لدرجة حرارة اعلى من الفضة وستكون درجة حرارة الرصاص أكبر من الفضة. في المعادلة (3) عوض بالقيمة الجديدة للحرارة النوعية.

$$\Delta T = \frac{v^2}{2c} = \frac{(200\text{m/s})^2}{2(128\text{J/kg.}^\circ\text{C})} = 156^\circ\text{C}$$

لا يوجد داعي لان تكون كتلة رصاصات الفضة ورصاصات الرصاص متساويتين لتعيين التغير في درجة الحرارة. المطلوب الوحيد هو ان يكون لهما نفس السرعة.





3.20 الحرارة الكامنة Latent Heat

من الأجزاء السابقة لاحظنا ان المادة تتعرض لتغير في درجة الحرارة عندما تنتقل إليها طاقة من المحيط. ولكن في بعض الحالات فان انتقال الطاقة لا يؤدي إلى تغير في درجة الحرارة. هذه الحالة تحدث عندما يكون هناك تغير في الخواص الفيزيائية للمادة من حالة إلى أخرى والتي تعرف بتغير طور المادة. التغيرين في الطور الاكثر شيوعا هما تغير المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (الذوبان) ومن الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (الغليان) والتغير الثاني يتضمن التغير في التركيب البلوري للحالة الصلبة. في كل هذه الحالات من تغير طور المادة يكون التغير الطاقة الداخلية للنظام ولا يطرأ تغير في درجة الحرارة. الزيادة في الطاقة الداخلية في حالة الغليان على سبيل المثال تتمثل في تكسير الروابط بين الجزيئات وفي الحالة السائلة يسمح تكسر الروابط للجزيئات ان تتحرك بعيدا عن بعضها البعض وتتحول إلى الحالة الغازية، مع زيادة في مقدار طاقة وضع الجزيئات.

كما هو متوقع فان المواد المختلفة تستجيب بشكل مختلف عند اكتساب او فقد طاقة من حيث تغير الطور لها لان ترتيب الجزيئات الداخلية مختلف. كذلك مقدار الطاقة المنتقلة خلال طور التحول يعتمد على كمية المادة المستخدمة. (اذبة مكعب من الثلج يتطلب طاقة أقل بالمقارنة مع اذابة بركة من الثلج). عندما نناقش طورين للمادة، سوف نستخدم مصطلح الطور الأعلى للمادة لنشير بذلك إلى المادة التي تمتلك درجة حرارة اعلى. على سبيل المثال، اذا ناقشنا طوري الماء والثلج، فان الماء مادة الطور الاعلى، في حين ان البخار هو المادة ذات الطور الأعلى في مناقشة البخار والماء. افترض





نظام يحتوي على مادة في طورين في حالة اتزان حراري مثل الماء والتلج. الكمية الابتدائية للطور الاعلى هي الماء في النظام ونرمز لها بـ m_i . الان تخيل ان طاقة مقدارها Q تدخل إلى النظام. ونتيجة لذلك، فان درجة كمية الماء النهائية سوف تكون m_f نتيجة لذوبان بعض التلج. لهذا فان مقدار التلج المذاب سوف يساوي المقدار الجديد للماء، $\Delta m = m_f - m_i$. ونعرف الحرارة الكامنة *latent heat* لهذا التغير في الطور على انه

$$L \equiv \frac{Q}{\Delta m} \quad (20.6)$$

هذا المعامل يسمى الحرارة الكامنة *latent heat* (او بمعنى اخر الحرارة المختبئة *hidden heat*) لان هذه الاضافة او الازالة للطاقة لا تعمل على تغيير درجة حرارة النظام. قيمة L للمادة تعتمد على طبيعة التغير في الطور كذلك ايضا على خواص المادة. اذا كانت كل كمية الطور الاقل للمادة تتعرض لتغير في الطور، فان التغير في الكتلة للطور الأعلى Δm يساوي الكتلة الابتدائية للطور الادني. على سبيل المثال، اذا كانت كتلة مكعب من التلج على صفيحة هي m تذوب بالكامل، فان التغير في كتلة الماء هي $m_f - 0 = m$ ، وهي كتلة الماء الجديدة وكذلك تساوي الكتلة الابتدائية لمكعب التلج.

تجنب خطأ شائع 6.20

الاشارات حرجة

الاطفاء في الاشارة شاعة هنا عندما يقوم الطالب بتطبيق معادلة المسعر الحراري. للتغير في الطور تذكر ان Δm في المعادلة 7.20 هي دائما التغير في كتلة المادة ذات الطور الأعلى. في المعادلة 4.20، كن متأكد ان ΔT هي دائما الدرجة النهائية ناقص الدرجة الابتدائية. علاوة على ذلك، عليك ان تشمل الاشارة السالبة على الجانب الأيمن في المعادلة 5.20.





الجدول 2.20 الحرارة الكامنة للانصهار والتبخير

Substance	Melting Point (°C)	Latent Heat of Fusion (J/kg)	Boiling Point (°C)	Latent Heat of Vaporization (J/kg)
Helium	-269.65	5.23×10^3	-268.93	2.09×10^4
Oxygen	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Nitrogen	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Ethyl alcohol	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Water	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Sulfur	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Lead	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminum	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Silver	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Gold	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Copper	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

ترجمة المصطلحات في الجدول

Substance	المادة
Melting point	نقطة الانصهار
Latent heat of fusion	الحرارة الكامنة للانصهار
Boiling point	نقطة الغليان
Latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة للتبخير

من تعريف الحرارة الكامنة latent heat، ومرة اخرى باختيار الحرارة على انها عملية تحول للطاقة. فان الطاقة اللازمة

لتغيير طور المادة النقية يعطى على النحو التالي:

$$Q = L\Delta m \quad (20.7)$$

الطاقة المتحولة للمادة خلال عملية تغيير الطور

حيث أن Δm هي التغيير في كتلة المادة ذات الطور الأعلى.



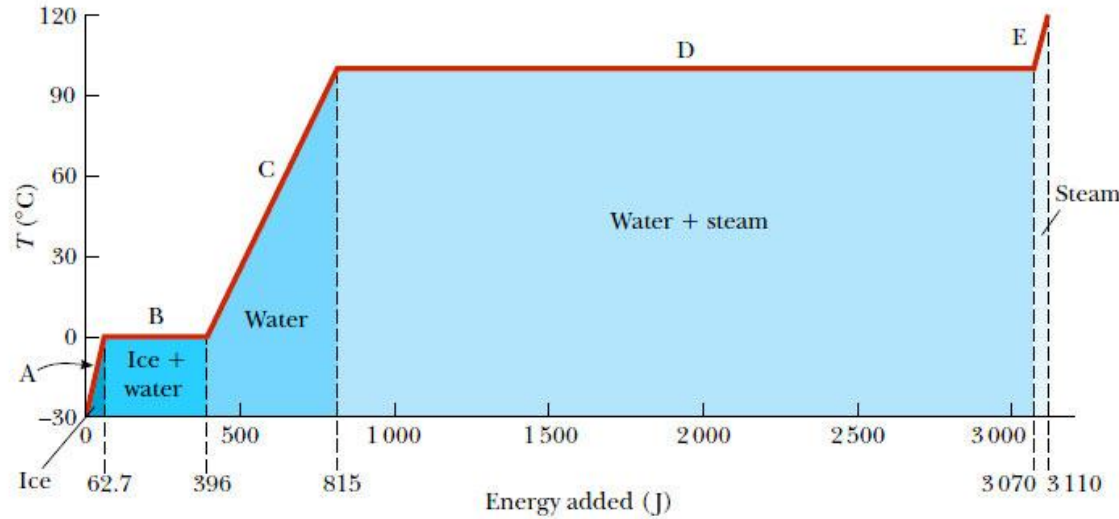


الحرارة الكامنة للانصهار *latent heat of fusion* ويرمز لها بـ L_f هي مصطلح يستخدم في حالة تغير الطور من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (وهي تشير إلى عملية الذوبان)، والحرارة الكامنة للتبخير *Latent heat of vaporization* والتي يرمز لها بـ L_v هي مصطلح يستخدم في حالة تغير الطور من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (حيث ان السائل يتبخر). الحرارة الكامنة لمختلف المواد تتغير بشكل كبير كما هو موضح في الجدول 2.20. عندما تدخل طاقة إلى النظام يحدث ذوبان او تبخر، كمية المادة في حالة الطور الأعلى تزداد، وبالتالي فان Δm تكون موجبة وكذلك Q موجبة، وهذا متفق مع اصطلاح الاشارة المستخدم. عندما تفقد المادة طاقة يحدث تجمد او تكثف فان كمية المادة في حالة الطور الاعلى سوف تقل، وبالتالي فان Δm سوف تكون سالبة وكذلك Q ايضا سالبة، وهذا مرة اخرى متفق مع اصطلاح الاشارة. تذكر ان Δm في المعادلة 7.20 دائما تشير إلى التغير في كتلة المادة ذات الطور الأعلى.

لفهم دور الحرارة الكامنة في تغيرات الطور، افترض الطاقة اللازمة لتحويل مكعب من الثلج كتلته 1.00-g عند درجة حرارة -30.0°C إلى بخار عند درجة حرارة 120.0°C . الشكل 3.20 يوضح النتائج العملية التي تم الحصول عليها عند اضافة الطاقة بشكل تدريجي للثلج. النتائج هنا موضحة في مخطط بياني يربط العلاقة بين درجة حرارة الثلج مع الطاقة المضافة للنظام. لنقوم الان بفحص كل جزء من المنحنى الاحمر والمقسم إلى اجزاء من A إلى E.

الجزء A. على هذا المقطع من المنحنى، درجة حرارة الثلج تتغير من -30.0°C إلى 0.0°C . المعادلة 4.20 تشير إلى ان درجة الحرارة تتغير خطيا مع الطاقة المضافة، لذا فان النتائج العملية ظهرت على شكل خط مستقيم على المنحنى. ولان





الشكل 3.20 مخطط يوضح علاقة درجة الحرارة مع الطاقة المضافة لإذابة 1.00 g من الثلج عند درجة حرارة -30.0°C وتحويلها إلى بخار عند درجة حرارة 120°C .

الحرارة النوعية للثلج تساوي $2090 \text{ J.kg.}^{\circ}\text{C}$ ، يمكن حساب مقدار الطاقة المضافة باستخدام المعادلة 4.20:

$$Q = m_i c_i \Delta T = (1.00 \times 10^{-3} \text{ kg})(2090 \text{ J/kg.}^{\circ}\text{C})(30.0^{\circ}\text{C}) = 62.7 \text{ J}$$





الجزء B. عندما تصل درجة حرارة الثلج إلى 0.0°C ، يبقى خليط الماء والثلج عند هذه الدرجة حتى اثناء اضافة المزيد من الطاقة حتى يذوب كل الثلج. الطاقة اللازمة لاذابة 1.00 g من الثلج عند درجة حرارة 0.0°C تحسب من المعادلة 7.20.

$$Q = L_f \Delta m_w = (3.33 \times 10^5 \text{ J/kg})(1.00 \times 10^{-3} \text{ kg}) = 333 \text{ J}$$

عند هذه النقطة انتقلنا إلى الطاقة 396 J وهي حاصل جمع كلا من $333 \text{ J} + 62.7 \text{ J}$ والموضحة على المنحنى في الشكل 3.20.

الجزء C. بين درجتى الحرارة 0.0°C و 100.0°C لا يحدث شيء غريب هنا فلا يوجد تغير في الطور وبالتالي فان كل الطاقة المضافة للماء تستخدم في زيادة درجة حرارته. كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة الحرارة من 0.0°C إلى 100.0°C هي

$$Q = m_w c_w \Delta T = (1.00 \times 10^{-3} \text{ kg})(4.19 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(100.0^{\circ}\text{C}) = 419 \text{ J}$$

الجزء D. عند درجة حرارة 100°C يحدث تغير في الطور ويتحول الماء عند 100°C إلى بخار عند 100°C . وكما في خليط الماء والثلج في الجزء B، فان خليط الماء والبخار يبقى عند درجة حرارة 100.0°C حتى مع زيادة طاقة للنظام





ويستمر هذا حتى يتحول كل الماء إلى بخار. الطاقة اللازمة لتحويل 1.00 g من الماء إلى بخار عند درجة حرارة 100°C هي

$$Q = L_v \Delta m_s = L_v m_s = (2.26 \times 10^6 \text{ J/kg})(1.00 \times 10^{-3} \text{ kg}) = 2.26 \times 10^3 \text{ J}$$

الجزء E. على هذا المقطع من المنحنى، كما في الجزئين A و C، لا يحدث تغير في الطور ولهذا فان كل الطاقة المضافة تستخدم لزيادة درجة حرارة البخار. الطاقة التي يجب ان تضاف لرفع درجة حرارة البخار من 100.0°C إلى 120.0°C هي

$$Q = m_s c_s \Delta T = (1.00 \times 10^{-3} \text{ kg})(2.01 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(20.0^\circ\text{C}) = 40.2 \text{ J}$$

مقدار الطاقة الكلية التي يجب ان تضاف إلى 1 g من الثلج عند درجة حرارة 30.0°C لتحوله إلى بخار عند درجة حرارة 120.0°C هي عبارة عن حاصل جمع كل النتائج التي حصلنا عليها من الاجزاء الخمسة على المنحنى، والتي تساوي 3.11 × 10³ J من الطاقة.

لاحظ من الشكل 3.20 ان كمية الطاقة اللازمة لتبخير الماء وتحويله إلى بخار كبيرة نسبيا. تخيل العملية العكسية، مع تحول كمية كبيرة من الطاقة وتحررها عند تكثف البخار وتحوله لماء. ولهذا السبب عندما يتعرض الجلد لبخار ماء عند درجة حرارة 100°C يحدث حرق ضرره اكبر بكثير من تعرض الجلد لماء عند درجة حرارة 100°C. كمية كبيرة من





الطاقة تدخل إلى الجلد من البخار ويبقى البخار عند درجة حرارة 100°C ، اما الماء فان درجة حرارته على الفور تبدأ في النقصان كلما تسربت الطاقة من الماء إلى الجلد.

تماما في اذا تم الاحتفاظ بالماء مستقرا وعاء نظيف جدا فانه من الممكن ان تتخفف درجة حرارته لاقبل من 0°C بدون ان يتجمد إلى ثلج. هذه الظاهرة تعرف باسم التبريد الفائق supercooling لان الماء يحتاج لحدوث اضطراب حتى تتحرك جزيئاته بعيدا عن بعضها البعض وتبدأ بتشكيل تراكيب ثلج كبيرة تجعل كثافة الثلج اقل من كثافة الماء كما تم مناقشته في الجزء 4.19. واذا حدث اضطراب للماء فائق البرودة فانه يتجمد فجأة. حيث يصبح النظام في وضع ترابط لجزيئات الثلج يكون منخفض الطاقة وتحرر الطاقة يسبب ارتفاع في درجة الحرارة مرة اخرى إلى 0°C .

تتكون قفازات التدفئة من محلول استينيات الصوديوم في حاوية بلاستيكية مغلقة. المحلول في الحاوية في حالة استقرار فائق البرودة. عند الضغط على القرص في الحاوية البلاستيكية يتجمد السائل وترتفع درجة الحرارة، مثل الماء فائق البرودة. في هذه الحالة نقطة تجمد السائل اعلى من درجة حرارة الجسم، وبالتالي يكون ملمس الحاوية البلاستيكية دافئ. ولإعادة استخدام قفازات التدفئة فانه يجب تسخين الحاوية البلاستيكية لإسالة المادة الصلبة. وعندما تبرد، فانها تصبح اقل من نقطة التجمد في حالة البرودة الفائقة.

كذلك من الممكن ايضا ان نوجد تسخين فائق superheating. على سبيل المثال الماء النظيف في وعاء نظيف جدا موضوع في فرن ميكروويف يمكن ان ترتفع درجة حرارته لاكثر من 100°C بدون ان يغلي لان تكون فقاعات البخار في





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

الماء تتطلب وجود خدوش في الوعاء او بعض الشوائب في الماء لتكون بمثابة مواقع تكون هذه الفقاعات. عندما نخرج الوعاء من فرن الميكروويف يكون الماء فائق الحرارة ويمكن هنا ان تحدث فقاعات انفجارية ويخرج الماء من الوعاء بقوة.

سؤال للتفكير 2.20

افتراض ان نفس عملية اضافة الطاقة لمكعب الثلج اجريت كما تم مناقشتها اعلاه، ولكن قمنا برسم العلاقة بين الطاقة الداخلية للنظام كدالة في الطاقة المضافة للنظام. كيف سيكون شكل المنحنى؟

مثال 4.20 تبريد البخار

ما هي كتلة بخار درجة حرارته الابتدائية 130°C اللازمة لتدفئة 200 g من الماء في وعاء من الزجاج كتلته 100-g من 20.0°C إلى 50.0°C ؟

الحل:

تصور للمسألة: تخيل اننا وضعنا الماء والبخار مع بعضهما البعض في وعاء معزول. النظام سوف يصل لحالة مستقرة من الماء عند درجة حرارة نهائية تساوي 50.0°C .

التصنيف: بالاعتماد على المفاهيم المعروفة لمثل هذه الحالة، فإننا نصنف هذه المسألة على انها مسألة مسعر حراري يتضمن تغير في حالة المادة.

التحليل: بكتابة المعادلة 5.20 لوصف عملية المسعر الحراري:





$$(1) \quad Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

يتعرض البخار إلى ثلاثة عمليات: العملية الأولى انخفاض درجة حرارته إلى 100°C ومن ثم يتكثف ليتحول إلى ماء سائل، وبعدها تنخفض درجة حرارة الماء لتصل إلى 50.0°C . قم بحساب الطاقة المتحولة في العملية الأولى باستخدام كتلة مجهولة m_s للبخار.

$$Q_1 = m_s c_s \Delta T_s$$

وبإيجاد مقدار الطاقة المتحولة في العملية الثانية:

$$Q_2 = L_v \Delta m_s = L_v (0 - m_s) = -m_s L_v$$

وبإيجاد مقدار الطاقة المتحولة في العملية الثالثة:

$$Q_3 = m_s c_w \Delta T_{\text{hot water}}$$

بجمع الطاقة المتحولة في العمليات الثلاثة:

$$(2) \quad Q_{\text{hot}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_s (c_s \Delta T_s - L_v + c_w \Delta T_{\text{hot water}})$$

الماء والزجاج عند درجة حرارة ابتدائية 20.0°C يتعرضا فقط لعملية واحدة وهي زيادة درجة الحرارة إلى 50.0°C . وبإيجاد مقدار الطاقة المتحولة في هذه العملية:

$$(3) \quad Q_{\text{cold}} = m_w c_w \Delta T_{\text{cold water}} + m_g c_g \Delta T_{\text{glass}}$$

بالتعويض في المعادلة (1) من المعادلتين (2) و(3):

$$m_w c_w \Delta T_{\text{cold water}} + m_g c_g \Delta T_{\text{glass}} = -m_s (c_s \Delta T_s - L_v + c_w \Delta T_{\text{hot water}})$$

بحل هذه المعادلة لإيجاد قيمة m_s :





$$m_s = \frac{m_w c_w \Delta T_{coldwater} + m_g c_g \Delta T_{glass}}{c_s \Delta T_s - L_v + c_w \Delta T_{hotwater}}$$

$$m_s = \frac{(0.200 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C})(50.0^\circ \text{C} - 20.0^\circ \text{C}) + (0.100 \text{ kg})(837 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C})(50.0^\circ \text{C} - 20.0^\circ \text{C})}{(2010 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C})(100.0^\circ \text{C} - 130.0^\circ \text{C}) - (2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}) + (4186 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C})(50.0^\circ \text{C} - 100.0^\circ \text{C})}$$

$$m_s = 1.09 \times 10^{-2} \text{ kg} = 10.9 \text{ g}$$

ماذا لو؟ ماذا إذا كانت الحالة النهائية للنظام هي ماء عند درجة حرارة 100°C ؟ هل يتطلب ذلك كمية أكبر أو أقل من البخار؟ ما هي التغيرات التي سوف تطرأ على الحل اعلاه؟

الإجابة: سوف يتطلب ذلك بخار أكثر لرفع درجة حرارة الماء والزجاج إلى 100°C بدلاً من 50.0°C . وسيكون هناك تغييرين أساسيين في الحل اعلاه. التغير الأول، لن يكون هناك الحد Q_3 للبخار لأن الماء الذي سيتكثف من البخار لن يبرد لدرجة حرارة أقل من 100°C . التغير الثاني في Q_{cold} فإن درجة الحرارة سوف تكون 80.0°C بدلاً من 30.0°C . وكثيرين قم بإثبات ان كمية البخار اللازمة هي 31.8 g .

4.20 الشغل والحرارة في عمليات الديناميكا الحرارية

Work and Heat in Thermodynamic Processes

في الديناميكا الحرارية وصفنا حالة النظام باستخدام متغيرات مثل الضغط والحجم ودرجة الحرارة والطاقة الداخلية. ونتيجة لذلك فإن هذه الكميات تنتمي لفئة تعرف باسم متغيرات الحالة state variables. ولاي نظام معطى يمكننا ان نعرف قيم متغيرات الحالة. (لنظام ميكانيكي، فان متغيرات الحالة هي الطاقة الحركية K وطاقة الوضع U). حالة النظام يمكن ان





تحدد فقط اذا كان النظام في حالة اتزان حراري داخلي. في حالة وجود غاز في وعاء، فان الاتزان الحراري الداخلي يتطلب ان يكون كل جزء من الغاز عند نفس الضغط ودرجة الحرارة.

فئة ثانية من المتغيرات في حالات تشمل طاقة تكون متغيرات التحول. هذه المتغيرات هي تلك التي تظهر على الجانب الايمن من معادلة تحول الطاقة، المعادلة 2.8. مثل هذه المتغيرات تمتلك قيم غير الصفر اذا كانت عملية انتقال الطاقة تحدث عبر حدود النظام. قد تكون متغيرات التحول موجبة او سالبة وهذا يعتمد على اذا ما كانت الطاقة تدخل إلى النظام او تخرج من النظام. لان انتقال الطاقة عبر الحدود يمثل التغير في النظام، فإن متغيرات التحول لا ترتبط مع حالة النظام، ولكنها ترتبط مع التغير في حالة النظام.

في الجزء السابق، قمنا بمناقشة الحرارة على انها متغير تحول. في هذا الجزء، سوف ندرس متغير تحول اخر مهم في انظمة الديناميكا الحرارية، وهو الشغل work. تم دراسة الشغل المبذول على الجزيئات بشكل مفصل في الجزء 7، وهنا سوف ندرس الشغل المبذول على الانظمة التي يتغير شكلها مثل الغازات. افترض غاز محصور في اسطوانة مثبت بها مكبس متحرك (الشكل 4.20). عند الاتزان الحراري، فان الغاز يشغل حيز حجمه V وبيدل ضغط منتظم مقداره P على جدران الاسطوانة وعلى المكبس. اذا كانت مساحة مقطع المكبس A ، فان القوة المبذولة بواسطة الغاز على المكبس هي $F = PA$. الان لنفترض اننا قمنا بدفع المكبس لداخل الاسطوانة وانضغط الغاز بشكل ستاتيكي أي ان عملية دفع المكبس تمت ببطء شديد جدا، بحيث تسمح للنظام ان يبقى فيحالة اتزان حراري داخلي طوال الوقت. حيث ان المكبس قد





تحرك للأسفل تحت تأثير قوة $\vec{F} = -F \hat{j}$ خلال إزاحة قدرها $d\vec{r} = dy \hat{j}$ (الشكل 4b.20)، الشغل المبذول على الغاز طبقا لتعريفنا للشغل في الجزء 7 هو،

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = -F \hat{j} \cdot dy \hat{j} = -Fdy = -PA dy$$

حيث ان مقدار القوة الخارجية F يساوي PA لان المكبس دائما في حالة اتزان حراريين القوة الخارجية والقوة الناتجة من الغاز. تم افتراض ان كتلة المكبس مهملة في هذه المناقشة. ولان $A dy$ هي مقدار التغير في حجم الغاز dV ، فانه يمكن التعبير عن الشغل المبذول على الغاز على النحو التالي:

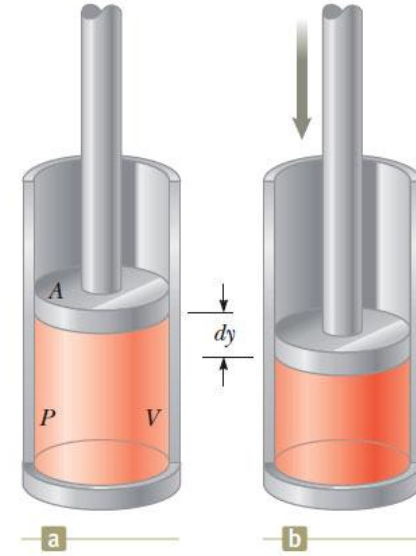
$$dW = -PdV \quad (20.8)$$

اذا انضغط الغاز، تكون التغير في الحجم dV سالبا ويكون الشغل المبذول على الغاز موجبا. اما اذا تمدد الغاز فان dV تكون موجبة والشغل المبذول على الغاز يكون سالبا. اما اذا بقي حجم الغاز ثابتا فان الشغل المبذول على الغاز يساوي صفر. الشغل الكلي المبذول على الغاز عندما يتغير الحجم من V_i إلى V_f يعطى بالمعادلة 8.20:

$$W = -\int_{V_i}^{V_f} PdV \quad (20.9)$$

الشغل المبذول على الغاز

ولايجاد هذا التكامل، يجب ان نعرف كيف يتغير الضغط مع الحجم خلال العملية.



الشكل 4.20 الشغل المبذول على الغاز المحصور في اسطوانة على ضغط P عند دفع المكبس للأسفل حيث ينضغط الغاز.





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

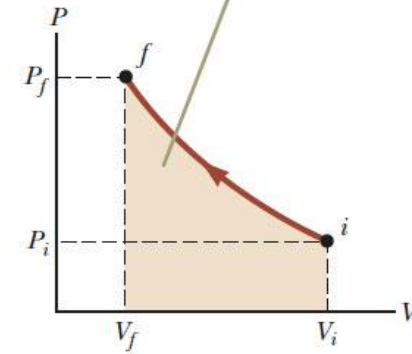
بصفة عامة، الضغط لا يكون ثابتا خلال العملية ولكنه يعتمد على الحجم ودرجة الحرارة. اذا كان الضغط والحجم معلومين في كل مرحلة من مراحل العملية، فإن حالة الغاز في كل مرحلة يمكن ان تمثل بيانيا على منحنى يعرف باسم مخطط الضغط والحجم PV diagram كما في الشكل 5.20. هذا النوع من المنحنيات يسمح لنا بتخيل العملية خلال انضغاط الغاز. المنحنى على مخطط الحجم والضغط يعرف باسم المسار الذي يسلكه الغاز بين الحالتين الابتدائية والنهائية.

لاحظ ان التكامل في المعادلة 9.20 يساوي المساحة تحت المنحنى على مخطط الحجم والضغط. ومن هنا يتضح اهمية مخطط الحجم والضغط.

الشغل المبذول على الغاز في عملية شبه ساكنة $quasi-static$ تأخذ الغاز من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية هو سالب المساحة تحت المنحنى على مخطط الحجم والضغط، ويحسب بين الحالتين الابتدائية والنهائية.

في عملية ضغط الغاز في اسطوانة، فان الشغل المبذول يعتمد على المسار الذي يسلكه الغاز من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية كما هو موضح في الشكل 5.20. لتوضيح هذه النقطة الهامة، افترض ان هناك عدة مسارات تصل بين الحالة الابتدائية i والحالة النهائية f (الشكل 6.20). في العملية الموضحة في الشكل 6.20a، يقل حجم الغاز في البداية من V_i إلى V_f عند ضغط ثابت P_i ويزداد ضغط الغاز بعد ذلك من P_i إلى P_f بتسخين الغاز عند حجم ثابت V_f . الشغل المبذول على امتداد هذا المسار هو $-P_i(V_f - V_i)$. وفي الشكل 6.20b، يزداد ضغط الغاز من P_i إلى P_f عند ثبوت

الشغل المبذول على الغاز يساوي سالب المساحة تحت المنحنى PV . المساحة سالبة هنا لان الحجم يتناقص. وهذا ينتج عنه شغلا موجبا.



الشكل 5.20 ينضغط الغاز بشكل شبه ساكن (أي ببطء شديد) من الحالة i إلى الحالة f . وهنا قوة خارجية يجب ان تبذل شغل موجبا على الغاز لتضغطه.





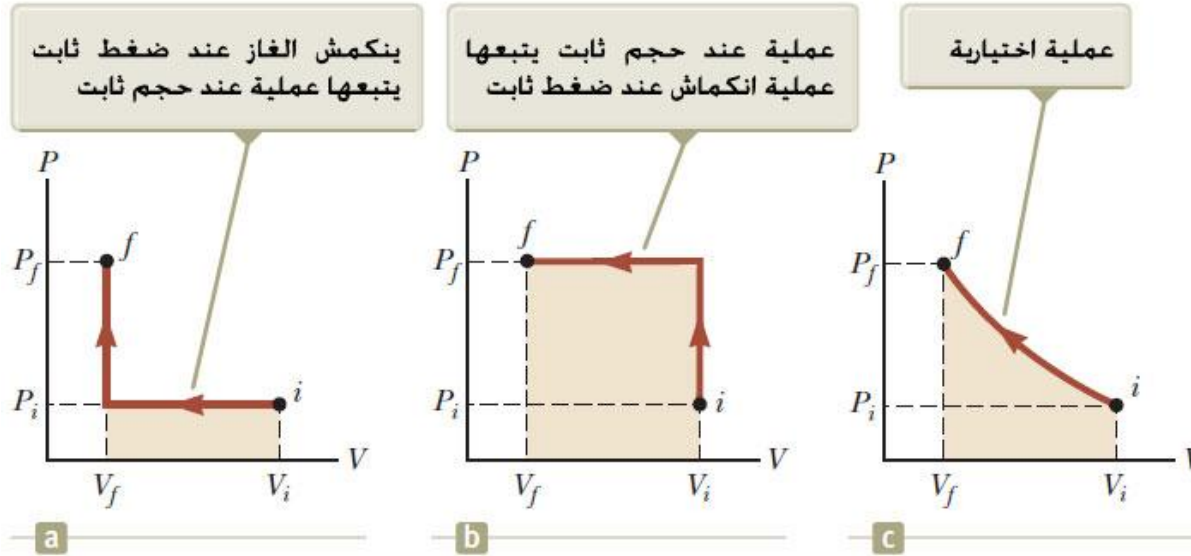
الحجم V_i ومن ثم يقل الحجم من V_i إلى V_f عند ثبوت الضغط P_f . الشغل المبذول على الغاز على هذا المسار هو $-P_f(V_f - V_i)$. قيمة الشغل في هذه الحالة اكبر من الشغل المبذول على الغاز في حالة المسار الموضح في الشكل a6.20 لان المكبس يتحرك نفس الازاحة ولكن بقوة اكبر. واخيرا، العملية الموضحة في الشكل c6.20، حيث كلا من P و V يتغيران بشكل مستمر فان الشغل المبذول على الغاز له قيمة تقع بين قيمة الشغل في العملية الاولى والعملية الثانية. ولحساب قيمة الشغل في هذا الحالة، فان الدالة $P(V)$ يجب ان تكون معلومة حتى يمكن ايجاد التكامل في المعادلة 9.20.

انتقال الطاقة Q إلى النظام او التي تخرج من النظام عن طريق الحرارة تعتمد على العملية. افترض الحالة الموضحة في الشكل 7.20. في كل حالة، يمتلك الغاز نفس الحجم الابتدائي ونفس درجة الحرارة ونفس الضغط وهذا الغاز يفترض انه غاز مثالي. في الشكل a7.20، الغاز معزول حراريا عن المحيط الخارجي ما عدا المنطقة التي تقع في الجزء السفلي، حيث انه على اتصال حراري مع مستودع حراري. المستودع الحراري heat reservoir هو مصدر طاقة كبير ومهما فقد حرارة او اكتسب حرارة لا تتغير درجة حرارته. المكبس مثبت عن موضعه الابتدائي بواسطة قوة خارجية باليد مثلا. عندما تقل القوة الممسكة بالمكبس بشكل قليل جدا، فان المكبس يتحرك ببطء للاعلى ليصل إلى الموضع النهائي الموضح في الشكل b7.20. ولان المكبس يتحرك للاعلى، فان الغاز يبذل شغلا على المكبس. خلال هذا التمدد يصبح الحجم النهائي





هو V_f ، وهنا تنتقل كمية قليلة من الطاقة من المستودع الحراري إلى الغاز لتحافظ على بقاء درجة حرارة الغاز ثابتة عند T_i .



الشكل 20.6 الشغل المبذول على الغاز عند تحوله من الحالة الابتدائية i إلى الحالة النهائية f يعتمد على المسار بين هاتين الحالتين.





الشكل 7.20 غاز في اسطوانة. (a) الغاز في حالة اتصال حراري مع مستودع حراري. جدران الاسطوانة عازلة تماما، ولكن القاعدة متصلة حراريا مع المستودع الحراري. (b) يتمدد الغاز ببطء لحجم اكبر. (c) يحصر غشاء رقيق الغاز في نصف حجم الاسطوانة، والنصف الاخر مفرغ من الهواء. الاسطوانة هنا معزولة بالكامل. (d) يتمدد الغاز بحرية في كل حجم الاسطوانة.





افترض الان ان النظام معزول حراريا بالكامل كما في الشكل c7.20. عندما ينكسر الغشاء، فان الغاز يتمدد بسرعة كبيرة في الجزء المفرغ من الهواء في الاسطوانة حتى يشغل الحيز V_f ويكون عندها عند ضغط P_f . الحالة النهائية للغاز موضحة في الشكل d7.20. في هذه الحالة، الغاز لا يبذل شغلا لانه هنا لا تطبق قوة، ولا يتطلب قوة ليتمدد الغاز في الجزء المفرغ من الهواء. علاوة على ذلك لا تنتقل أي طاقة بواسطة الحرارة من خلال الجدار العازل.

كما تم مناقشته في الجزء 5.20، توضح التجارب ان درجة حرارة الغاز لا تتغير في العملية الموضحة في الشكل c7.20 وd7.20. ولهذا فان الحالة الابتدائية والحالة النهائية للغاز المثالي في الشكل a7.20 والشكل b7.20 مماثلة تمام للحالتين الابتدائية والنهائية للشكلين c7.20 وd7.20، ولكن المسارات مختلفة. في الحالة الاولى، الغاز لا يبذل شغلا على المكبس والطاقة تتحول ببطء إلى الغاز بواسطة الحرارة. في الحالة الثانية، لا تنتقل طاقة بواسطة الحرارة وقيمة الشغل المبذول تساوي صفر. ولهذا فان الطاقة المنتقلة بواسطة الحرارة مثلها مثل الشغل المبذول، تعتمد على الحالة الابتدائية والنهائية والمتوسطة للنظام، بتعبير اخر لان الحرارة والشغل كلاهما يعتمدان على المسار، ولا يمكن ان يحدد مقدار أي منهما بدقة من خلال نقاط بدأ المرحلة وانتهائها في عملية ديناميكا حرارية.





5.20 القانون الأول للديناميكا الحرارية The First Law of Thermodynamics

عندما درسنا قانون تحول الطاقة في الجزء 8، ذكرنا ان التغير في طاقة النظام تساوي مجموع كل الطاقات المنتقلة عبر حدود النظام. القانون الأول للديناميكا الحرارية هو حالة خاصة من قانون تحول الطاقة الذي يصف العمليات التي تشمل فقط التغيرات في الطاقة الداخلية والطاقة المتحولة بواسطة الحرارة والشغل فقط:

$$\Delta E_{\text{int}} = Q + W \quad (20.10) \quad \text{القانون الأول للديناميكا الحرارية}$$

نتيجة مهمة للقانون الأول للديناميكا الحرارية هو انه يوجد كمية تعرف باسم الطاقة الداخلية تحدد قيمتها بواسطة حالة النظام. ولهذا فان الطاقة الداخلية هي حالة متغيرة مثلها مثل الضغط، والحجم، ودرجة الحرارة.

لنقم الان بدراسة حالة خاصة بحيث يكون القانون الأول مطبقا عليها. بداية، افترض نظاما معزولا، والذي لا يكون فيه تفاعل بين النظام والمحيط. في هذه الحالة، لا تنتقل الطاقة بواسطة الحرارة والشغل المبذول على النظام يكون صفرا، وعليه فان الطاقة الداخلية تبقى ثابتة. وذلك بسبب ان $Q = W = 0$ ، وهذا يؤدي إلى ان $\Delta E_{\text{int}} = 0$ ، وبهذا فان $E_{\text{int},i} = E_{\text{int},f}$. نستنتج من ذلك ان الطاقة الداخلية E_{int} للنظام المعزول تبقى ثابتة.

7.20 تجنب خطأ شائع

اصطلاح الاشارة الثاني

بعض كتب الفيزياء والهندسة تمثل القانون الأول بـ $\Delta E_{\text{int}} = Q - W$ حيث ان الاشارة السالبة بين الحرارة والشغل. السبب هو ان الشغل هنا هو شغل يبذل بواسطة النظام وليس شغلا يبذل على النظام.

المعادلة المكافئة 9.20 تعرف الشغل

$$W = -\int_{V_i}^{V_f} PdV$$

على انه $W = -\int_{V_i}^{V_f} PdV$. وعليه فان اذا كان شغل موجب بذل بواسطة الغاز، فان طاقة تخرج من النظام، مما يؤدي إلى الاشارة السالبة في القانون الأول.

في دراستك لمقررات كيمياء او هندسة او من خلال قراءتك لكتب اخرى تأكد من اصطلاح الاشارة المستخدم للقانون الأول.





ثانياً، نفترض حالة نظام يمكن ان يتبادل الطاقة مع المحيط من خلال عملية ذات مسار دائري، أي ان العملية تبدأ وتنتهي عند نفس الحالة. في هذه الحالة، التغير في الطاقة الداخلية يجب ان يساوي صفراً لان E_{int} حالة متغيرة ولهذا فان الطاقة Q المضافة للنظام يجب ان تساوي الشغل السالب W المبذول على النظام خلال الدورة. وبهذا فان أي عملية تتم على مسار دائري يكون فيها

$$\Delta E_{int} = 0 \text{ \& } Q = -W \quad (\text{عملية على مسار دائري})$$

على منحنى الضغط والحجم PV diagram، تظهر العملية على المسار الدائري كمنحنى مغلق. (العمليات الموضحة في الشكل 6.20 هي عمليات ممثلة بمنحنيات مفتوحة لان المرحلة الابتدائية والمرحلة النهائية مختلفتان). ويمكن اثبات ان الشغلا لمبذول على نظام في عملية على مسار مغلق تساوي المساحة المحصورة في داخل المسار المغلق التي تمثل العملية على منحنى الضغط والحجم.

تجنب خطأ شائع 8.20

القانون الأول

من خلال اسلوب تعاملنا مع الطاقة في هذا الكتاب، فان القانون الاول للديناميكا الحرارية هو حالة خاصة للمعادلة 2.8. بعض الفيزيائيين يناقشون ان القانون الاول يكافئ المعادلة 2.8. في هذا الاسلوب فان تطبيق القانون الاول على نظام معزول (لا يوجد انتقال للمادة)، فان الحرارة تفسر بحيث تشمل الاشعاع الكهرومغناطيسي، والشغل يفسر ليشمل الانتقال الكهربائي (الشغل الكهربائي) والامواج الميكانيكية (الشغل الجزيئي). تذكر هذا عندما تقرأ عن القانون الأول في كتب اخرى.





6.20 بعض التطبيقات على القانون الأول للديناميكا الحرارية

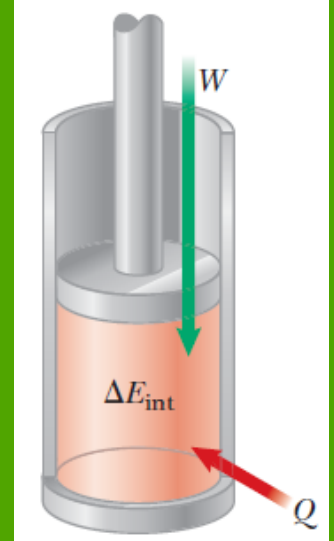
Some Application of the First Law of Thermodynamics

في هذا الجزء، سوف نتعامل مع تطبيقات على القانون الأول تشمل عمليات يتعرض لها غاز. كنموذج لنفترض أن هناك عينة من الغاز محصورة في مكبس اسطواني كما في الشكل 8.20. يوضح هذا الشكل الشغل المبذول على الغاز والطاقة المتحولة بواسطة الحرارة، وبالتالي فإن الطاقة الداخلية للغاز ترتفع. في المناقشة التالية للعمليات المختلفة، سوف نشير لهذا الشكل وعليك ان تتخيل كيف تغير اتجاه انتقال الطاقة ليعكس ما يحدث في العملية.

قبل ان نطبق القانون الأول للديناميكا الحرارية لنظام محدد، فانه من المفيد اولاً ان نعرف بعض العمليات الديناميكية الحرارية المثالية. العملية الاديباتيكية *adiabatic process* هي العملية التي لا يتم خلالها لا يتم فيه دخول او خروج الحرارة من النظام، أي ان $Q = 0$. العملية الاديباتيكية يمكن ان تحدث اما من خلال العزل الحراري لجدار النظام او من خلال اجراء عملية سريعة جدا في زمن قصير جدا لا يسمح للطاقة لان تتحول إلى حرارة. بتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية على عملية اديباتيكية نحصل على:

$$\Delta E_{int} = W \quad (\text{عملية اديباتيكية}) \quad (20.11)$$

هذه النتيجة توضح انه اذا ضغط الغاز في عملية اديباتيكية بحيث ان الشغل W موجبا، فان ΔE_{int} موجبة وتزداد هنا درجة الحرارة. وبالمقابل، عندما يتمدد الغاز في عملية اديباتيكية تقل درجة حرارة النظام.



الشكل 8.20 القانون الأول للديناميكا الحرارية يساوي التغيير في الطاقة الداخلية E_{int} في النظام لتحول الطاقة للنظام بواسطة الحرارة Q والشغل W . في الحالة الموضحة هنا، الطاقة الداخلية للغاز تزداد.





العمليات الادياباتيكية مهمة جدا في التطبيقات الهندسية. بعض الامثلة الشائعة هو تمدد الغاز الساخن في محرك الاحتراق الداخلي، وتسييل الغازات في نظام تبريد، وشوط الانضغاط في محرك الديزل.

العملية الموضحة في الشكل 7.20 c و 7.20 d تعرف باسم التمدد الحر الادياباتيكي *adiabatic free expansion*. العملية اديباتيكية لانها تنفذ في وعاء معزول. لان الغاز يتمدد في الفراغ، فانها لا تبذل شغلا على المكبس كما في حالة الغاز في العملية الموضحة في الشكلين 7.20 a و 7.20 b، لذا لا يكون هناك شغلا مبدولا على او بواسطة الغاز. لهذا في هذه العملية الادياباتيكية، كلا من $Q = 0$ و $W = 0$. ونتيجة لذلك فان $\Delta E_{int} = 0$ لهذه العملية كما نراها من القانون الأول. بهذا فان الطاقات الابتدائية والنهائية للغاز متساوية في التمدد الادياباتيكي الحر. كما سوف نرى في الجزء 21، فان الطاقة الداخلية للغاز المثالي تعتمد فقط على درجة حرارته. ولهذا نتوقع ان لا يكون هناك تغير في درجة الحرارة خلال التمدد الادياباتيكي الحر. هذا التوقع يتوافق مع النتائج العملية التي اجريت عند ضغط منخفض. (التجارب التي اجريت عند ضغط مرتفع للغازات الحقيقية اظهرت تغيرات طفيفة في درجة الحرارة بعد التمدد نظرا لتفاعلات الجزيئات فيما بينها، والتي تمثل انحراف عن الغاز المثالي).

العملية التي تحدث عند ثبوت الضغط تعرف باسم العملية الازوباريك *isobaric process*. في الشكل 8.20، العملية الازوباريك يمكن ان تجرى من خلال السماح للمكبس بالحركة بحرية بحيث يكون هناك توازن دائم بين القوة الكلية





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

المبدولة بواسطة الغاز المتجهة للأعلى ووزن المكبس الذي يسبب قوة متجهة للأسفل بالإضافة إلى الضغط الجوي والمتجه للأسفل أيضا. العملية الأولى في الشكل a6.20 والعملية الثانية في الشكل b6.20 هما عمليتان ازوباريك.

في هذه العملية، فإن قيمة الحرارة والشغل عادة لا تكون مساوية للصفر. والشغل المبذول على الغاز في العملية الازوباريك هو

$$W = -P(V_f - V_i) \quad (\text{isobaric process}) \quad (20.12) \quad \text{عملية ازوباريك}$$

حيث P هي مقدار الضغط الثابت للغاز خلال العملية.

العملية التي تتم عند ثبوت الحجم تعرف باسم ازوفوليومتريك isovolumetric process. في الشكل 8.20، بتثبيت المكبس عند موضع محدد يجعل العملية تجرى عند ثبوت الحجم. العملية الثانية في الشكل a6.20 والعملية الأولى في الشكل b6.20 هي عمليات ازوفوليومتريك.

لان حجم الغاز لا يتغير في مثل هذه العملية فإن الشغل المبذول حسب المعادلة 9.20 يساوي صفر. ولهذا من القانون الأول للديناميكا الحرارية فإنه في العملية التي تتم عند ثبوت الحجم لان $W=0$ يكون

$$\Delta E_{\text{int}} = Q \quad (\text{isovolumetric process}) \quad (20.13) \quad \text{عملية ازوفوليومتريك}$$





من هذه المعادلة نلاحظ انه اذا اضيفت طاقة بواسطة الحرارة لنظام في عملية ازوفوليومتر ك فان كل الطاقة المتحولة تبقى في النظام وتظهر كزيادة في الطاقة الداخلية. على سبيل المثال، عندما نلقي بعلبة طلاء مضغوط في النار، تدخل الطاقة إلى النظام (الغاز في العلبة) بواسطة الحرارة من خلال الغلاف المعدني للعلبة. وبالتالي تزداد كلا من درجة الحرارة والضغط وتستمر هذه الزيادة إلى ان تتفجر العلبة.

العملية التي تحدث عند ثبوت درجة الحرارة تعرف بالعملية الايزوثيرمال isothermal process. هذه العملية يمكن ان تحدث بغمر الاسطوانة في الشكل 8.20 في حوض به خليط من الماء والتلج او بوضع الاسطوانة على مستودع حراري له درجة حرارة ثابتة مع وجود اتصال حراري بينهما. رسم التغير في الضغط مع الحجم عند ثبوت درجة الحرارة لغاز مثالي ينشئ عنه منحنى قطع ناقص يعرف باسم isotherm. الطاقة الداخلية للغاز المثالي هي دالة في درجة الحرارة فقط. ولهذا فانه في العملية الايزوثيرمال على غاز مثالي تكون فيه $\Delta E_{int} = 0$. نستنتج من القانون الاول في حالة عملية ايزوثيرمال ان الطاقة المتحولة Q يجب ان تساوي الشغل السالب المبذول على الغاز، أي ان $Q = -W$. أي طاقة تدخل النظام بواسطة الحرارة تنتقل خارج النظام بواسطة الشغل، ونتيجة لذلك لا يوجد تغير في الطاقة الداخلية للنظام الذي يحدث عند ثبوت درجة الحرارة.

عملية ايزوثيرمال

تجنب خطأ شائع 9.20

$Q \neq 0$ في العملية الايزوثيرمال

لا تقع في الخطأ الشائع بان تعتقد بانه يجب ان لا يكون هناك تحول في الطاقة بواسطة الحرارة اذا درجة الحرارة لم تتغير كما في حالة العملية الايزوثيرمال. لان المتسبب في تغير درجة الحرارة يمكن ان يكون الحرارة او الشغل، درجة الحرارة تبقى ثابتة حتى عندما تدخل طاقة إلى الغاز بالحرارة، والتي تحدث فقط اذا تخرج بالشغل.





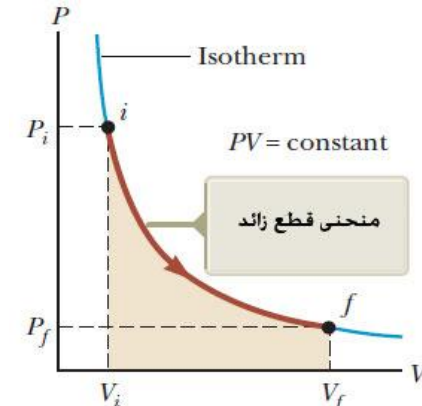
سؤال للتفكير 3.20

في الجدول التالي اعمدة ثلاثة تمثل الحرارة Q والشغل W والطاقة الداخلية ΔE_{int} . قم بتحديد الإشارة الصحيحة لكل منها (+ أو - أو صفر). لكل حالة اعتبر ان النظام محدد.

ΔE_{int}	W	Q	النظام	الحالة
			الهواء في المنفاخ	(a) نفخ عجل دراجة بسرعة كبيرة.
			الماء في الوعاء	(b) وعاء به ماء عند درجة حرارة الغرفة موضوع على موقد ساخن
			الهواء في البالون	(c) تسرب سريع للهواء من البالون

تمدد الغاز المثالي عند ثبوت درجة الحرارة Isothermal Expansion of an Ideal Gas

افتراض غاز مثالي يتمدد ببطء شديد جدا quasi-statically عند درجة حرارة ثابتة. هذه العملية موضحة بمخطط الضغط والحجم في الشكل 9.20. المنحنى له شكل قطع زائد (انظر الملحق B المعادلة B.23)، وقانون الغاز المثالي (المعادلة 8.19) عند مع درجة الحرارة T تحدد المعادلة لهذا المنحنى هي $PV = nRT = \text{const}$.



الشكل 9.20 منحنى مخطط الضغط والحجم للتمدد عند درجة حرارة ثابتة لغاز مثالي من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية.





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

لنقوم بحساب الشغل المبذول على الغاز في التمدد من الحالة i إلى الحالة f . الشغل المبذول على الغاز يعطى بالمعادلة 9.20. لان الغاز مثالي والعملية تتم ببطء شديد جدا، فان قانون الغاز المثالي متحقق لكل نقطة على المسار. ولهذا

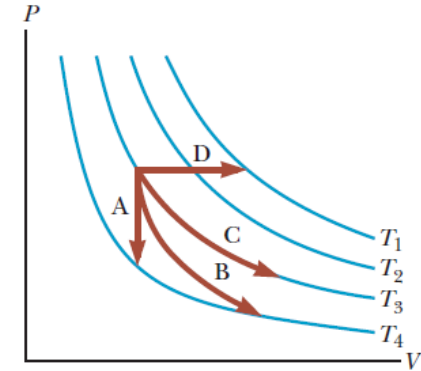
$$W = -\int_{V_i}^{V_f} PdV = -\int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV$$

لان درجة الحرارة T ثابتة في هذه الحالة، يمكن التخلص منها في التكامل مع كلا من n و R .

$$W = -nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = -nRT \ln V \Big|_{V_i}^{V_f}$$

لايجاد قيمة التكامل نستخدم العلاقة $\int (dx/x) = \ln x$. (انظر الملحق B) وبالتالي نحصل بعد التعويض عن الحجم الابتدائي والنهائي على

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_i}{V_f} \right) \quad (20.14)$$



الشكل 10.20 (سؤال التفكير 4.20)
حدد طبيعة المسارات A و B و C و D.





سؤال للتفكير 3.20

صنف المسارات في الشكل 10.20 كعملية ازوباريك وازوفوليمترك وازوثيرمال او ادبياتيك. للمسار B، $Q = 0$. المنحنيات باللون الازرق تمثل عملية ايزوثيرمال.

مثال 4.20 تمدد في عملية عند درجة حرارة ثابتة

تمدد 1.0-mol من غاز مثالي عند درجة حرارة ثابتة 0.0°C من 3.0 L إلى 10.0 L (A) ما هو مقدار الشغل المبذول على الغاز خلال عملية التمدد؟ (B) ما هو مقدار الطاقة المنتقلة بالحرارة بين الغاز والمحيط في هذه العملية؟ (C) اذا عاد الغاز إلى حجمه الأصلي من خلال عملية ايزوباريك، ما مقدار الشغل المبذول على الغاز؟

الحل:

تصور للمسألة: تخيل العملية بعقلك: الاسطوانة في الشكل 8.20 مغمورة في حوض ماء وتلج، ويتحرك المكبس للخارج فيزداد حجم الغاز. كما يمكنك ان تستخدم التمثيل البياني في الشكل 9.20 لفهم العملية.

التصنيف: نقوم بحساب المطلوب باستخدام المعادلات التي تعرفنا عليها في الشرح السابق، لذا فان هذا المثال هو تطبيق مباشر، لان درجة الحرارة ثابتة هنا فان العملية ايزوثيرمال.

التحليل: بالتعويض عن القيم المعطاة في المعادلة 14.20

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_i}{V_f} \right)$$





$$W = (1.0\text{mol})(8.31\text{J/mol.K})(273\text{K})\ln\left(\frac{3.0\text{L}}{10.0\text{L}}\right)$$
$$= -2.7 \times 10^3 \text{ J}$$

(B) نحصل على الحرارة من القانون الأول

$$\Delta E_{\text{int}} = Q + W$$
$$0 = Q + W$$
$$Q = -W = 2.7 \times 10^3 \text{ J}$$

(C) باستخدام المعادلة 12.20. الضغط غير معطى لذا نستخدم قانون الغاز المثالي

$$W = -P(V_f - V_i) = -\frac{nRT_i}{V_i}(V_f - V_i)$$
$$= -\frac{(1.0\text{mol})(8.31\text{J/mol.K})(273\text{K})}{10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3} (3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$
$$= 1.6 \times 10^3 \text{ J}$$

لقد استخدمنا درجة الحرارة الابتدائية والحجم لحساب الشغل المبذول لان درجة الحرارة النهائية كانت مجهولة. الشغل المبذول على الغاز موجب لان الغاز انضغط.





مثال 6.20 ماء يغلي

افتراض كمية من الماء كتلتها 1.00 g تتبخر في عملية ايزوباريك عند الضغط الجوي ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$). الحجم في الحالة السائلة $V_i = V_{\text{liquid}}$ 1.00 cm^3 ، وحجم حالة البخار هو $V_f = V_{\text{vapor}} = 1671 \text{ cm}^3$. اوجد الشغل المبذول في التمدد والتغير في الطاقة الداخلية للنظام. اهمل أي خلط بين البخار والهواء المحيط، تخيل ان البخار يدفع الهواء المحيط بعيدا.

الحل:

تصور للمسألة: لاحظ هنا ان درجة حرارة النظام لا تتغير. حيث يحدث تغير في الطور عندما يتحول الماء إلى بخار.

التصنيف: لان التمدد يتم عند ثبوت الضغط، فإننا نصنف العملية على انها عملية ايزوباريك

التحليل: باستخدام المعادلة 12.20 لإيجاد الشغل المبذول على النظام عندما يندفع الهواء بعيدا

$$\begin{aligned} W &= -P(V_f - V_i) \\ &= -(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})(1671 \times 10^{-6} \text{ m}^3 - 1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^3) \\ &= -169 \text{ J} \end{aligned}$$

باستخدام المعادلة 7.20 والحرارة الكامنة للتبخر للماء لإيجاد الطاقة المتحولة إلى النظام بواسطة الحرارة:

$$\begin{aligned} Q &= L_v \Delta m_s = m_s L_v = (1.00 \times 10^{-3} \text{ kg})(2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}) \\ &= 2260 \text{ J} \end{aligned}$$

استخدم القانون الأول لإيجاد التغير في الطاقة الداخلية للنظام

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{int}} &= Q + W \\ \Delta E_{\text{int}} &= 2260 \text{ J} + (-169 \text{ J}) = 2.09 \text{ kJ} \end{aligned}$$





المسألة الأخيرة: القيمة الموجبة لـ ΔE_{int} تشير إلى ان الطاقة الداخلية للنظام ازدادت. النسبة الكبيرة في الطاقة ($2090J/2260J = 93\%$) المتحولة إلى السائل تستخدم في زيادة الطاقة الداخلية للنظام. اما الباقي 7% من الطاقة المتحولة يخرج من النظام عن طريق الشغل المبذول بواسطة البخار على المحيط.

مثال 7.20 تسخين مادة صلبة

ساق من النحاس كتلته 1.0-kg سخن في الضغط الجوي فازدادت درجة حرارته من $20^{\circ}C$ إلى $50^{\circ}C$. (A) ما هو الشغل المبذول على ساق النحاس الناتج عن المحيط الخارجي؟ (B) ما مقدار الطاقة المنتقلة إلى ساق النحاس بواسطة التسخين؟ (C) ما هي مقدار الزيادة في الطاقة الداخلية لساق النحاس؟

الحل:

تصور للمسألة: هذا المثال يتضمن مادة صلبة، في حين ان المثالين السابقين كانا على السوائل والغازات. هنا التغير في الحجم للجسم الصلب الناتج عن التمدد الحراري يكون صغيرا جدا.

التصنيف: لان التمدد يتم عند ثبوت الضغط، فإننا نصنفها على انها عملية ايزوباريك

التحليل: باستخدام المعادلة 12.20 لإيجاد الشغل المبذول على النظام عندما يندفع الهواء بعيدا

$$W = - P \Delta V$$

عبر عن التغير في الحجم باستخدام المعادلة 6.19 و عوض عن $\beta=3\alpha$

$$W = - P(\beta V_i \Delta T) = -P(3\alpha V_i \Delta T) = 3\alpha P V_i \Delta T$$





بالتعويض عن الحجم بدلالة الكتلة وكثافة النحاس

$$W = -3\alpha P \left(\frac{m}{\rho} \right) \Delta T$$

بالتعويض بالقيم العددية في المعادلة نحصل على:

$$W = -3[1.7 \times 10^{-5} (^{\circ}C)^{-1}](1.013 \times 10^5 N/m^2) \left(\frac{1.0 kg}{8.92 \times 10^3 kg/m^3} \right) (50^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$
$$= -1.7 \times 10^{-2} J$$

لان هذا الشغل سالب فان الشغل يبذل بواسطة ساق النحاس على المحيط الخارجي.

(B) باستخدام المعادلة 4.20 والحرارة النوعية للنحاس من الجدول 1.20:

$$Q = mc \Delta T = (1.0 kg) (387 J/kg/^{\circ}C)(50^{\circ}C - 20^{\circ}C) = 1.2 \times 10^4 J$$

(C) باستخدام القانون الأول للديناميكا الحرارية:

$$\Delta E_{int} = Q + W = 1.2 \times 10^4 J + (-1.7 \times 10^{-2} J) = 1.2 \times 10^4 J$$

اللمسة الأخيرة: معظم الطاقة المتحولة في النظام بواسطة التسخين تستغل في زيادة الطاقة الداخلية لساق النحاس. الجزء من الطاقة المستخدم لبذل

شغل على المحيط الخارجي تقريبا يساوي 10^{-6} . ولهذا عند تحليل التمدد الحراري للمواد الصلبة او السائلة فاننا نهمل المقدار الصغير من الشغل الذي

يبذل على النظام او بواسطة النظام.





5.20 آليات انتقال الطاقة في العمليات الحرارية

Energy Transfer Mechanisms in Thermal Processes

في الجزء 8، استخدمنا نهج عالمي لتحليل الطاقة للعمليات الفيزيائية من خلال المعادلة 1.8، $\Delta E_{\text{system}} = \Sigma T$ ، حيث ان T تمثل انتقال الطاقة، والتي يمكن ان تحدث من خلال اليات مختلفة. في بدايات هذا الجزء، ناقشنا حدين من الطرف الايمن للمعادلة، الشغل W والحرارة Q . في هذا الجزء، سوف نكتشف المزيد من التفاصيل عن الحرارة كطريقة لانتقال الطاقة وكذلك طريقتين لانتقال الطاقة في الغالب تكون مرتبطة مع تغيرات درجة الحرارة: الحمل (convection) (في صورة انتقال للمادة (T_{MT}) والاشعاع الكهرومغناطيسي (T_{ER} electromagnetic radiation).

التوصيل الحراري Thermal Conduction

عملية انتقال الطاقة بواسطة الحرارة (Q في المعادلة 2.8) يمكن ان تدعى بالتوصيل conduction أو التوصيل الحراري thermal conduction. في هذه العملية، الانتقال يمكن ان يمثل على المقياس الذري كتبادل للطاقة الحركية بين الجسيمات الميكروسكوبية - الجزيئات والذرات والالكترونات الحرة- بحيث ان الجسيمات الاقل في الطاقة تكتسب طاقة بالتصادمات مع الجسيمات الاكثر طاقة. على سبيل المثال، اذا كنت تمسك طرف ساق معدني طويل ووضعت الطرف الاخر على لهب نار، سوف تجد ان درجة الحرارة بدأت تزداد عند الطرف الذي تمسكه. تصل الطاقة ليديك بواسطة





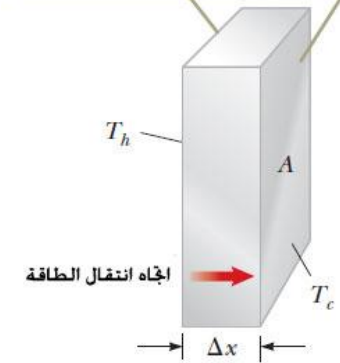
الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

التوصيل. في البداية، قبل ان يوضع الساق في اللهب، فان الجسيمات الميكروسكوبية في المعدن تتذبذب حول موضع استقرارها. وعندما يعمل اللهب على رفع درجة حرارة الساق، فان الجسيمات القريبة من اللهب سوف تبدأ بالتذبذب بسعة اهتزاز اكبر. هذه الجسيمات بدورها تتصادم مع الجسيمات المجاورة لها وتنقل لها بعض طاقتها من خلال التصادمات. ببطء فان ساعات الاهتزاز لذرات المعدن والالكترونات البعيدة والابعد من اللهب سوفتزداد حتى في النهاية يصل تأثير ارتفاع درجة الحرارة على الطرف الموضوع في اللهب إلى يدك وتشعر بارتفاع درجة الحرارة وكأنها وصلت لديك عبر مادة الساق المعدنية. هذه الزيادة في التذبذبات تم رصدها من خلال الزيادة فيدرجة حرارة المعدن وانتقالها الى يدك.

معدل التوصيل الحراري يعتمد على خواص المادة التي تسخن. على سبيل المثال، من الممكن ان نمسك قطعة من الاسبستوس (الحريز الصخري) ونضعها في اللهب، نجد ان مقدار الحرارة المنتقلة عبر مادة الاسبستوس قليلة جدا بصفة عامة، المعادن موصلة جيدة للحرارة والمواد مثل الاسبستوس والفلين والورق والالياف الزجاجية رديئة التوصيل للحرارة. الغازات ايضا رديئة التوصيل للحرارة لان المسافة بين الجسيمات كبيرة جدا. المعادن مواد موصلة جيدة للحرارة لانها تحتوي على عدد كبير من الالكترونات التي يمكنها ان تتحرك بحرية نسبية في مادة المعدن ويمكن ان تنقل الحرارة لمسافات بعيدة. وبالتالي فان عملية التوصيل في الموصلات الجيدة مثل النحاس تتم من خلال تذبذب الذرات وحركة الالكترونات الحرة.

وجهين متقابلين عند درجتى حرارة مختلفتين



الشكل 11.20 انتقال الطاقة عبر شريحة مساحة مقطعها A وسماكها Δx .





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

يحدث التوصيل فقط اذا كان هناك اختلاف في درجة الحرارة بين جزئين لمادة موصلة. افترض شريحة من مادة سمكها Δx ومساحة مقطعها A . احد اوجه الشريحة درجة حرارته T_c والوجه الاخر درجة حرارته $T_h > T_c$ (الشكل 11.20). وجد عمليا ان الطاقة Q تنتقل في فترة زمنية Δt من الوجه الساخن إلى الوجه البارد. المعدل $P = Q/\Delta t$ الذي تنتقل فيه الطاقة يتناسب طرديا مع مساحة المقطع وفرق درجة الحرارة $\Delta T = T_h - T_c$ ويتناسب عكسيا مع السمك:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

لاحظ ان P لها وحدة الوات watt عندما تكون وحدة Q الجول و Δt الثانية. وهذا ليس مستغربا لان P هي القدرة power، معدل انتقال الطاقة بواسطة الحرارة. ولشريحة بسمك صغير dx وفرق درجة الحرارة dT ، يمكن كتابة قانون التوصيل الحراري على النحو التالي:

$$P = kA \left| \frac{dT}{dx} \right| \quad (20.15)$$

حيث ان ثابت التناسب k هو الموصلية الحرارية thermal conductivity للمادة و $|dT/dx|$ هي التدرج في درجة الحرارة (المعدل الذي تتغير فيه درجة الحرارة مع الموضع).

الجدول 3.20 الموصلية الحرارية للمواد

Substance	Thermal Conductivity (W/m · °C)
<i>Metals (at 25°C)</i>	
Aluminum	238
Copper	397
Gold	314
Iron	79.5
Lead	34.7
Silver	427
<i>Nonmetals (approximate values)</i>	
Asbestos	0.08
Concrete	0.8
Diamond	2 300
Glass	0.8
Ice	2
Rubber	0.2
Water	0.6
Wood	0.08
<i>Gases (at 20°C)</i>	
Air	0.023 4
Helium	0.138
Hydrogen	0.172
Nitrogen	0.023 4
Oxygen	0.023 8





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

المواد الجيدة التوصيل للحرارة تمتلك قيم موصلية حرارية عالية، في حين ان المواد الجيدة العزل الحراري تمتلك قيم موصلية حرارية منخفضة. الجدول 3.20 يوضح بعض قيم الموصلية الحرارية لبعض المواد. لاحظ ان المعادن بصفة عامة ذات موصلية حرارية افضل من المواد غير المعدنية.

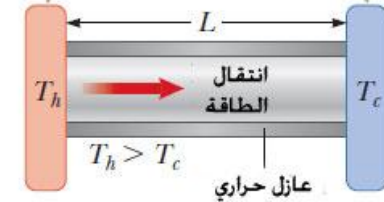
افتراض ساق طويل منتظم طوله L معزول حراريا بحيث ان الحرارة لا يمكن ان تتسرب من سطحه ما عدا طرفيه كما هو موضح في الشكل 12.20. احد الطرفين على اتصال حراري مع مستودع حراري درجة حرارته T_c ، والطرف الثاني على اتصال حراري مع مستودع حراري درجة حرارته $T_h > T_c$. عندما نصل لحالة الاستقرار، فان درجة الحرارة عند أي نقطة على امتداد الساق تكون ثابتة مع الزمن. في هذه الحالة، اذا افترضنا ان k لا تعتمد على درجة الحرارة، فان التدرج الحراري يكون نفسه في كل مكان على امتداد الساق ويساوي

$$\left| \frac{dT}{dx} \right| = \frac{T_h - T_c}{L}$$

ولهذا فان معدل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الساق تكون

$$P = kA \left(\frac{T_h - T_c}{L} \right) \quad (20.16)$$

الطرفين المتقابلين للساق على اتصال حراري مع مستودع حراري عند درجات حرارة مختلفة



الشكل 12.20 توصيل الطاقة من خلال ساق منتظم معزول طوله L .





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

في حالة شريحة مركبة من عدة مواد مختلفة بقيم سمك L_1 و L_2 ، و.... والموصلية الحرارية لكل مادة هي k_1 و k_2 ، و.... فان معدل انتقال الطاقة خلال الشريحة في حالة الاستقرار هو

$$P = \frac{A(T_h - T_c)}{\sum_i (L_i / k_i)} \quad (20.17)$$

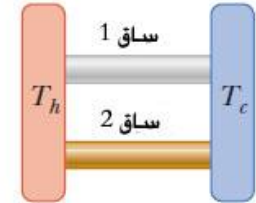
حيث ان T_h و T_c هما درجات الحرارة للسطحين الخارجيين (واللتان تم الابقاء عليهما ثابتتين) وعملية التجميع تشمل كل الشرائح. المثال 8.20 يوضح كيف نستخدم المعادلة 17.20 لمواد من مختلفة السمك.

سؤال للتفكير 5.20

لديك ساقين لهما نفس الطول ونفس القطر، ولكن من مادتين مختلفتين. استخدم الساقين لتوصيل منطقتين عند درجتى حرارة مختلفتين بحيث تنتقل الطاقة من خلال الساقين بواسطة الحرارة. يمكن توصيل الساقين على التوالي كما في الشكل 13.20 a او على التوازي كما في الشكل 13.20 b. في أي من الحالتين يكون معدل انتقال الطاقة بالحرارة أكبر؟ (a) المعدل أكبر عندما يكون الساقين على التوالي. (b) المعدل يكون أكبر عندما يكون الساقين على التوازي. (C) معدل انتقال الطاقة لا يتغير في كلا الحالتين.



a



b

الشكل 13.20 سؤال التفكير 5.20. أي من الحالتين يكون التوصيل الحراري أكبر.





مثال 8.20 انتقال الطاقة بين شريحتين

شريحتين سمكهما L_1 و L_2 ولهما موصلية حرارية مقدارها k_1 و k_2 في حالة اتصال حراري مع بعضهما البعض كما في الشكل 14.20. درجة حرارة السطح الخارجي لهما هي T_c و T_h على التوالي، و $T_h > T_c$. حدد درجة الحرارة عند السطح الفاصل ومعدل انتقال الطاقة بواسطة التوصيل من خلال مساحة الشريحتين A في حالة الاستقرار.

الحل:

تصور للمسألة: دقق في الجملة "في حالة استقرار" نفسر هذه الجملة بان انتقال الحرارة خلال الشريحتين يتم بمعدل متساوي في كل انحاء الشريحتين. والا فان الطاقة سوف تتجمع او تختفي عند بعض النقاط. علاوة على ان درجة الحرارة تتغير مع الموضع في الشريحتين، وبمعدلات مختلفة في كل جزء من الشريحتين. عندما يكون النظام في حالة استقرار فان درجة حرارة الفاصل T الفاصل سوف تكون ثابتة.

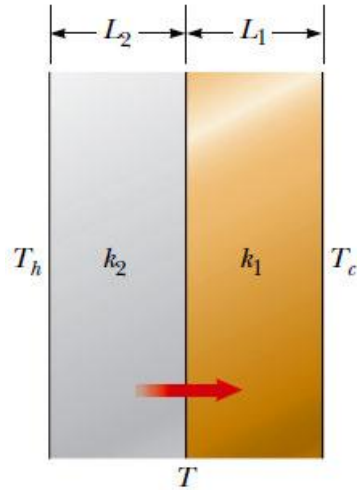
التصنيف: نصنف هذا المثال على انه مسألة توصيل حراري وان معدل انتقال الطاقة لا يتغير في كلا الشريحتين.

التحليل باستخدام المعادلة 16.20 للتعبير عن معدل انتقال الطاقة خلال المساحة A في الشريحة 1:

$$(1) \quad P_1 = k_1 A \left(\frac{T - T_c}{L_1} \right)$$

معدل انتقال الطاقة خلال نفس المساحة في الشريحة 2:

$$(2) \quad P_2 = k_2 A \left(\frac{T_h - T}{L_2} \right)$$



الشكل 14.20 (المثال 8.20) انتقال الطاقة بواسطة التوصيل خلال شريحتين في حالة اتصال حراري مع بعضهما البعض. عند الاستقرار، معدل انتقال الطاقة من الشريحة 1 يساوي معدل انتقال الطاقة خلال الشريحة 2.



بمساواة المعادلتين (1) و (2) حيث ان معدل انتقال الطاقة متساوي لانهما في حالة استقرار:

$$k_1 A \left(\frac{T - T_c}{L_1} \right) = k_2 A \left(\frac{T_h - T}{L_2} \right)$$

بالحل بالنسبة لـ T :

$$(3) \quad T = \frac{k_1 L_2 T_c + k_2 L_1 T_h}{k_1 L_2 + k_2 L_1}$$

بالتعويض في المعادلة (1) أو (2) من المعادلة (3):

$$(4) \quad P = \frac{A(T_h - T_c)}{(L_1 / k_1) + (L_2 / k_2)}$$

اللمسة الأخيرة: اتباع نفس الخطوات لعدد من الشرائح يؤدي إلى المعادلة 17.20.

ماذا لو؟ افترض إنك تقوم ببناء حاوية معزولة بطبقتين من مادة عازلة وتبين أن معدل انتقال الطاقة كما تحده المعادلة (4) كان كبيرا. ولديك متسع

كافي لزيادة سماكة أحد الشريحتين بمقدار 20%. كيف تحدد أي شريحة سوف تختار؟

الإجابة: لتقليل مقدار معدل انتقال الطاقة عليك ان تقوم بزيادة المقام في المعادلة (4) بقدر الامكان. أي سمك تختاره لزيادة L_1 أو L_2 فإنك تقوم بزيادة

الحد L/k في المقام. لهذا، عليك زيادة سمك الشريحة التي لها قيمة L/k أكبر.





العزل الحراري للمنزل Home Insulation

في الممارسات الهندسية يشار للحد L/k لمادة معينة بالقيمة R للمادة. ولهذا فان المعادلة 20.17 تصبح على النحو التالي:

$$P = \frac{A(T_h - T_c)}{\sum_i R_i} \quad (20.18)$$

حيث ان $R_i = L_i/k_i$. قيم R لمواد البناء الأكثر استخداما معطاة في الجدول 20.4. في الولايات المتحدة، خصائص العزل للمواد المستخدمة في البناء يعبر عنها عادة بوحدات شائعة وليس بوحدات SI.

الجدول 20.4 قيم R لبعض مواد البناء الشائعة

ولهذا فان قيم R المعطاة في الجدول هي بوحدرة الحرارة البريطانية والقدم والساعة ودرجة الحرارة الفهرنهايتية.

Material	R-value (ft ² · °F · h/Btu)
Hardwood siding (1 in. thick)	0.91
Wood shingles (lapped)	0.87
Brick (4 in. thick)	4.00
Concrete block (filled cores)	1.93
Fiberglass insulation (3.5 in. thick)	10.90
Fiberglass insulation (6 in. thick)	18.80
Fiberglass board (1 in. thick)	4.35
Cellulose fiber (1 in. thick)	3.70
Flat glass (0.125 in. thick)	0.89
Insulating glass (0.25-in. space)	1.54
Air space (3.5 in. thick)	1.01
Stagnant air layer	0.17
Drywall (0.5 in. thick)	0.45
Sheathing (0.5 in. thick)	1.32

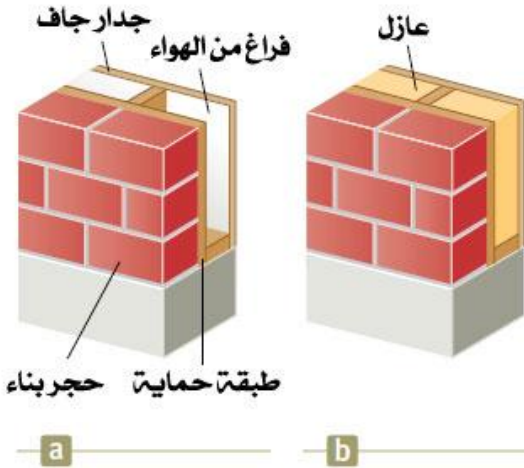




الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

عند أي سطح عمودي معرض للهواء، يوجد طبقة راکدة من الهواء ملتصقة بالجدار. ويجب اخذ هذه الطبقة بعين الاعتبار عند تعيين قيم R للجدار. سمك هذه الطبقة من الهواء على السطح الخارجي تعتمد على سرعة الرياح. انتقال الطاقة خلال جدران المنزل في يوم شديد الرياح اكبر من معدل انتقال الطاقة في يوم هادئ. وقيم R لهذه الطبقة من الهواء معطى في الجدول 20.4.



مثال 9.20 قيم R لجدار نموذجي

احسب قيمة R الكلية للجدار الموضح في الشكل 20.15a. بدأ من خارج المنزل (الاتجاه الامامي في الشكل) وبالحرکة للداخل، سمك الجدار هو 4 in من حجر البناء و 0.5 in طبقة حماية، و 3.5 in طبقة هواء و 0.5 in طبقة جدار جاف.

الحل:

تصور للمسألة: استخدم الشكل 20.15 يساعد على تخيل شكل الجدار. ولا تنسى طبقات الهواء داخل وخارج المنزل.

التصنيف: سوف نستخدم معادلات محددة تمت دراستها في هذا الجزء على موضوع العزل الحراري للمنزل، وبالتالي هذا المثال يعتبر مسألة تعويض. استخدم الجدول 20.4 لإيجاد قيمة R لكل طبقة:

الشكل 15.20 (المثال 20.9) جدار منزل خارجي يحتوي على (a) هواء و (b) عازل.





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

$$R_1 \text{ لطبقة الهواء الخارجية} = 0.17 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

$$R_2 \text{ لحجر البناء} = 4.00 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

$$R_3 \text{ لطبقة الحماية} = 1.32 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

$$R_4 \text{ لطبقة الهواء} = 1.01 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

$$R_5 \text{ للجدار الجاف} = 0.45 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

$$R_6 \text{ لطبقة الهواء الداخلية} = 0.17 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

بجمع قيم R للحصول على قيمة R الكلية للجدار

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 = 7.12 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$

ماذا لو؟ افترض إنك لم تكن راضيا عن قيمة R الكلية للجدار. ولا يمكنك تغيير تركيب الجدار بالكامل، ولكن يمكنك ملء فراغ الهواء كما في الشكل

b20.15. لزيادة قيمة R ما هي المادة التي يجب ان تستخدمها كمادة ملء لفراغ الهواء؟

الإجابة: بالنظر في الجدول 4.20، نرى ان قيمة 3.5 in لمادة الفيبر جلاس هي الاكثر بعشرة مرات بالمقارنة مع 3.5 in من الهواء. لهذا سوف نملء

الفراغ بالفيبر جلاس العازل. وبالتالي فان النتيجة هي اضافة $10.90 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$ لقيمة R ، ويفقد $1.01 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$ للهواء المستبدل. وبالتالي

فان القيمة الجديدة لـ R هي

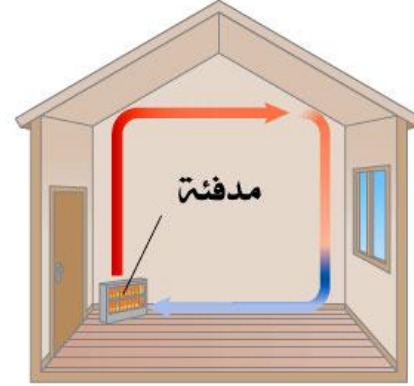
$$7.12 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu} + 9.89 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu} = 17.01 \text{ ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{h/Btu}$$





الحمل الحراري Convection

من المعتاد ان نقوم بتدفئة ايدينا بوضعها فوق لهب على مسافة مناسبة. في هذه الحالة فان الهواء الذي يعلو اللهب مباشرة يسخن ويتمدد. ونتيجة لذلك، فإن كثافة الهواء تقل ويرتفع الهواء للأعلى. هذا الهواء الساخن هو الذي يدفي يديك عندما ينساب حولهما. انتقال الطاقة بواسطة حركة المادة الساخنة يسمى انتقال بالحمل convection، وهو انتقال للمادة، في المعادلة 2.8. عندما يحدث ذلك ونتيجة لاختلاف الكثافة مثل الهواء حول اللهب، فان هذه العملية يشار لها بالحمل الطبيعي *natural convection*. عندما تجبر المادة الساخنة على الحركة بواسطة مضخة أو مروحة مثل مجفف الشعر أو سخان الماء، فان العملية تسمى حمل قصري *forced convection*.



الشكل 15.20 تيارات حمل بسبب وجود مدفئة.

اذا لم يكن هناك تيارات حمل، سيكون من الصعب ان يغلي الماء. فعندما يتم تسخين الماء في الغلاية فان طبقات الماء السفلى تسخن اولاً. ويتمدد الماء الساخن ويرتفع للأعلى لان كثافته اقل. في نفس الوقت، ينتقل الماء البارد ذو الكثافة الأعلى إلى قاع الغلاية ليسيخن ويتمدد ويرتفع إلى السطح وتكرر العملية مرة أخرى.

نفس العملية تحدث عند تدفئة غرفة بواسطة مدفئة. المدفئة تعمل على تسخين الهواء في الجزء السفلي من الغرفة. الهواء الساخن يتمدد ويرتفع إلى سقف الغرفة لانه اصبح اقل كثافة. اما الهواء البارد الاعلى كثافة ينتقل من اعلى الغرفة إلى الاسفل مما يشكل تدفق هوائي كما في الشكل 20.16.





الإشعاع Radiation

الطريقة الثالثة لانتقال الطاقة هي الإشعاع الحراري thermal radiation، T_{ER} والتي ظهرت في المعادلة 2.8. كل الأجسام تشع طاقة بصورة مستمرة على شكل أشعة كهرومغناطيسية (انظر الجزء 34) والتي تنتج بسبب الاهتزازات الحرارية للجزيئات. وبالتأكيد أنت على علم بهذا الإشعاع من خلال التجربة العملية عندما ترى التوهج البرتقالي اللون لجسم ساخن مثل اسلاك المدفئة أو اسلاك حماسة الخبز مثلا.

معدل انبعاث الطاقة بالإشعاع يتناسب طرديا مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة. ويعرف هذا بقانون ستيفان Stefan's law، والذي يمثل بالمعادلة التالية:

$$P = \sigma A e T^4 \quad (20.19)$$

حيث P هي قدرة الامواج الكهرومغناطيسية بوحدة الواط watts المنبعثة من سطح الجسم، و σ هو ثابت يساوي $5.6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ، و A هو مساحة سطح الجسم بوحدة المتر المربع، و e هي الانبعاثية، emissivity (ثابت يعبر عن قدرة المادة على اصدار الطاقة بواسطة الإشعاع)، و T هي درجة حرارة سطح الجسم بوحدة الكلفن. الانبعاثية تساوي الامتصاصية، والتي هي الجزء الذي يمتصه السطح من الإشعاع الساقط عليه. المرايا لها امتصاصية منخفضة لانها تعكس معظم الضوء الساقط عليها. ولهذا، فان سطح المرايا له انبعاثية منخفضة جدا. وبالمقابل السطح الاسود له





امتصاصية عالية وانبعائية عالية ايضا. الجسم الماص المثالي ideal absorber يعرف على انه الجسم الذي يمتص كل الطاقة الساقطة عليه، ومثل هذا الجسم له انبعائية $e = 1$. والجسم الذي له انبعائية $e = 1$ يعرف باسم الجسم الأسود black body. وسوف نتعرف اكثر على طرق عملية ونظرية للاشعاع الصادر عن الجسم الاسود في الجزء 40.

يصدر من الشمس كل ثانية ما يقارب من 1370 J من الاشعاع الكهرومغناطيسي ويسقط عموديا على كل 1 m^2 من السطح العلوي للغلاف الجوي للأرض. هذا الاشعاع يكون مركزا في المنطقة المرئية وتحت الحمراء وجزء بسيط من الاشعاع فوق البنفسجي. سوف ندرس هذه الاشعاعات بالتفصيل في الجزء 34. تصل طاقة كافية عند سطح الارض كل يوم لتزودنا بكل الطاقة اللازمة واكثر بمئات المرات اذا عرفنا كيف نجعلها ونستخدمها بكفاءة عالية. وازدياد الاعتماد على الخلايا الشمسية في تزويد الكثير من المنازل في الولايات المتحدة بالطاقة يعكس الجهود المبذولة لاستخدام الطاقة الشمسية.

ما يحدث لدرجة حرارة الغلاف الجوي ليلا هو مثال اخر على تأثير الطاقة المنتقلة بواسطة الاشعاع. اذا كان هناك سحب فوق الارض فان بخار الماء في السحب يمتص جزء من الاشعة تحت الحمراء المنبعثة من الارض ومن ثم يعاد انبعاثها إلى السطح. ونتيجة لذلك، تبقى مستويات درجة الحرارة عند السطح معتدلة. في حالة غياب السحب، فان العوائق اصبحت اقل لحجب هذا الاشعاع من الهروب إلى الفضاء، ولهذا تنخفض درجة الحرارة اكثر في ليلة صافية بالمقارنة مع ليلة ملبدة بالغيوم.





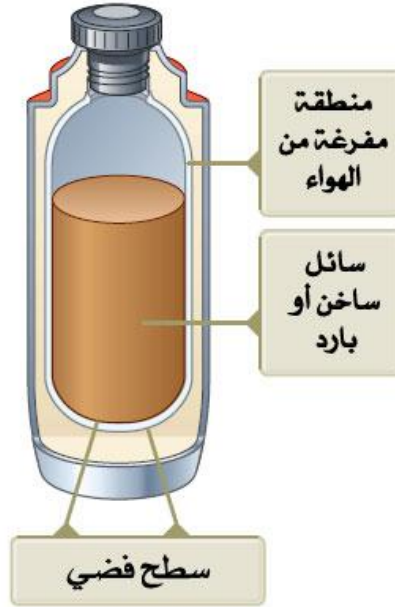
الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

تتبعث الطاقة من جسم بمعدل يعطى بالمعادلة 20.19، ولكنه في نفس الوقت يمتص اشعاع كهرومغناطيسي من الوسط المحيط، والذي يتكون من اجسام اخرى تشع طاقة. واذا لم تحدث العملية الأخيرة فان الجسم في النهاية يشع كل طاقته وتنخفض درجة حرارته باستمرار حتى تصل إلى الصفر المطلق. اذا كانت درجة حرارة جسم هي T ودرجة حرارة المحيط هي T_0 ، فان معدل الطاقة المكتسبة او المفقودة بواسطة الجسم نتيجة للاشعاع هي

$$P_{net} = \sigma A e (T^4 - T_0^4) \quad (20.20)$$

عندما يكون الجسم في حالة اتزان حراري مع الوسط المحيط به، فان اشعاع الطاقة وامتصاصها يكون بنفس المعدل وتبقى درجة الحرارة ثابتة. عندما يكون الجسم اكثر سخونة من المحيط به فانه يشع طاقة اكثر من الطاقة التي يمتصها وبالتالي فان درجة حرارته تنخفض.



قارورة ديوار The Dewar Flask

قارورة ديوار Dewar flask هي عبارة عن وعاء مصمم لتقليل انتقال الطاقة بواسطة التوصيل والحمل والاشعاع. تستخدم هذه القارورة لتخزين السوائل الساخنة او الباردة لفترة زمنية طويلة. (تستخدم في المنزل التيرموس وهو يكافئ قارورة ديوار). التركيب الاساسي لقارورة ديوار موضح في الشكل 20.17 وتتكون من جدار مزدوج من زجاج البايركس مغطى

الشكل 17.20 مقطع عرضي لقارورة ديوار، والتي تستخدم لتخزين المواد الساخنة او الباردة.





بالفضة. المنطقة بين الجدارين مفرغة من الهواء لتقليل انتقال الطاقة بواسطة التوصيل والحمل. اما السطح الفضي فانه لتقليل انتقال الطاقة بواسطة الاشعاع لان الفضة عاكس جيد ولها انبعاثية منخفضة جدا. ولمزيد من التقليل في الفقد في الطاقة تم تضيق فتحة القارورة. تستخدم قارورة ديوار عادة لتخزين سائل النيتروجين (درجة غليانه 77 K) والاكسجين السائل (درجة غليانه 90 K).

اما الهيليوم المسال (درجة غليانه 4.2 K) الذي له درجة تبخر منخفضة جدا فانه من الضروري حفظه في قارورة ديوار مزدوجة. والفراغ بين القارورتين يملء بسائل النيتروجين.

توجد تصاميم حديثة لحافظات الحرارة تمتاز بعزل حراري فائق يحتوى على عدة طبقات من المواد العاكسة مفصولة بمادة الفيبر جلاس. ومفرغة من الهواء وفي هذه التصاميم لا يتطلب استخدام النيتروجين السائل.





الخلاصة Summary

تعريفات Definitions

الطاقة الداخلية **Internal energy** هي كل طاقة النظام المرتبطة بمكوناته الميكروسكوبية. الطاقة الداخلية تشمل طاقة حركة الانتقالات العشوائية والاهتزازية والدورانية للجزيئات، وطاقة الجهد داخل الجزيئات وطاقة الجهد بين الجزيئات. الحرارة **Heat** هي انتقال الطاقة عبر حدود النظام نتيجة لاختلاف درجات الحرارة بين النظام والمحيط. والرمز Q يشير إلى كمية الطاقة المنقولة خلال هذه العملية.

الكلوري **calorie** هو كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء من 14.5°C إلى 15.5°C .

السعة الحرارية **heat capacity** ويرمز لها بالرمز C لأي مادة هي مقدار الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارتها بمقدار 1°C .

السعة النوعية **specific heat** ويرمز لها بالرمز c وهي السعة الحرارية لكل وحدة كتلة:

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T} \quad (20.3)$$

الحرارة الكامنة **latent heat** للمادة تعرف على أنها نسبة الطاقة الداخلة على المادة إلى التغير في الكتلة للطور الأعلى للمادة

$$L \equiv \frac{Q}{\Delta M} \quad (20.6)$$





مبادئ وإساسيات Concepts and Principles

الطاقة Q المطلوبة لتغيير درجة حرارة كتلة m لمادة بمقدار ΔT هو

$$Q = m c \Delta T \quad (20.4)$$

حيث ان c هي الحرارة النوعية للمادة.

الطاقة المطلوبة لتغيير حالة مادة نقية هو

$$Q = L \Delta m \quad (20.7)$$

حيث L هي الحرارة الكامنة للمادة، والتي تعتمد على طبيعة التغيير في الطور ونوع المادة، و Δm هي التغيير في كتلة المادة ذات الحالة الأعلى.

الشغل **work** المبذول على غاز عندما يتغير حجمه من حالة ابتدائية V_i إلى حالة نهائية V_f هو

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV \quad (20.9)$$

حيث P هو ضغط الغاز، والذي من الممكن ان يتغير خلال العملية. ولحساب قيمة W ، فان العملية يجب ان تكون محددة بالكامل، أي ان كلا من P و V يجب ان تكون معروفة خلال كل مرحلة من مراحل العملية. يعتمد الشغل على المسار بين المرحلة الابتدائية والمرحلة النهائية.





القانون الأول في الديناميكا الحرارية **first law of thermodynamics** ينص على ان انه عندما يتعرض نظام لتغير من حالة إلى أخرى، فان التغير في طاقته الداخلية هو

$$\Delta E_{int} = Q + W \quad (20.10)$$

حيث Q هي الطاقة المنتقلة للنظام بواسطة الحرارة والشغل المبذول على النظام، بالرغم من ان Q و W يعتمدان على المسار الذي ينتقل فيه النظام من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية فان الكمية ΔE_{int} لا تعتمد على المسار.

في عملية تتم على مسار مغلق (أي ان العملية تبدأ وتنتهي عند نفس النقطة) فان $\Delta E_{int} = 0$ وبالتالي فان $Q = -W$. أي ان الطاقة المتحولة إلى النظام بواسطة الحرارة تساوي سالب الشغل المبذول على النظام خلال العملية.

في العملية الاديباتيكية **adiabatic process** لا تنتقل الطاقة بواسطة الحرارة بين النظام والمحيط به ($Q=0$). في هذه الحالة فان $\Delta E_{int} = W$. في حالة التمدد الحر الاديباتيكي **adiabatic free expansion** للغاز فان $Q=0$ و $W=0$ ، وبالتالي فان $\Delta E_{int} = 0$. أي ان الطاقة الداخلية للغاز لا تتغير في مثل هذه العملية.

في العملية الايزوبارك **isobaric process** وهي العملية التي تحدث عند ثبوت الضغط، فان الشغل المبذول على الغاز في مثل هذه العملية هو $W = -P(V_f - V_i)$.





في العملية الازوفوليومترية **isovolumetric process** هي العملية التي تحدث عند ثبوت الحجم. لا يوجد شغل مبذول في هذه العملية ويكون $\Delta E_{int} = Q$
في العملية الازوثيرمال **isothermal process** هي تلك العملية التي تحدث عند ثبوت درجة الحرارة. ان الشغل المبذول على الغاز المثالي خلال هذه العملية هو

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_i}{V_f} \right) \quad (20.14)$$

التوصيل **conduction** هو عبارة عن تبادل الطاقة الحركية بين الجزيئات المتصادمة والإلكترونات. معدل انتقال الطاقة بواسطة التوصيل من خلال شريحة مساحتها A هو

$$P = kA \left| \frac{dT}{dx} \right| \quad (20.15)$$

حيث k هي الموصلية الحرارية لمادة الشريحة و $|dT/dx|$ هي تدرج درجة الحرارة.
في الحمل **convection** المادة الساخنة تنقل الطاقة من مكان لآخر.

ينبعث من كل الاجسام اشعاع حراري **thermal radiation** في صورة امواج كهرومغناطيسية بمعدل

$$P = \sigma A e T^4 \quad (20.19)$$





اسئلة موضوعية Objective Questions

(1) ما مقدار الزمن اللازم لإذابة قطعة من الثلج كتلتها 1.00 kg ودرجة حرارتها 20.0°C - بواسطة سخان قدرته 1000 W، افترض ان كل الطاقة المتولدة من السخان تمتص بواسطة قطعة الثلج؟ (a) 4.18 s (b) 41.8 s (c) 5.55 min (d) 6.25 min (e) 38.4 min.

(2) قطعة من النحاس كتلتها 100-g درجة حرارتها الابتدائية 95.0°C ، اسقطت في ماء كتلته 200 g في وعاء من الالومنيوم كتلته 280-g، درجة حرارة الماء والوعاء 15.0°C . ما هي درجة الحرارة النهائية للنظام؟ السعة الحرارية للنحاس هي $0.092 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ ، والسعة الحرارية للألومنيوم هي $0.215 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$. (a) 16°C (b) 18°C (c) 24°C (d) 24°C (e) ليس أي من هذه الاجابات صحيحا

(3) الحرارة النوعية لمادة A أكبر من الحرارة النوعية لمادة B. كلا من A و B عند نفس درجة الحرارة الابتدائية اضيفت لهما نفس الكمية من الطاقة. افترض انه لم يحدث ذوبان او تبخر، أي من التالي تستطيع ان تستنتج عن درجة الحرارة النهائية T_A للمادة A ودرجة الحرارة النهائية T_B للمادة B؟ (a) $T_A > T_B$ (b) $T_A < T_B$ (c) $T_A = T_B$ (d) بحاجة لمعلومات اكثر.

(4) اضيفت كمية من الطاقة إلى ثلج، فارتفعت درجة حرارته من 10°C - إلى 5°C -. كمية أكبر من الطاقة اضيفت الى نفس الكتلة من الماء، فارتفعت درجة حرارة الماء من 15°C إلى 20°C . من هذه النتائج، ماذا تستنتج؟ (a) التغلب على الحرارة الكامنة لانصهار الثلج يتطلب ادخال طاقة. (b) الحرارة الكامنة لانصهار الثلج يعطي النظام نفس مقدار الطاقة.





(c) الحرارة النوعية للثلج اقل من الحرارة النوعية للماء. (d) الحرارة النوعية للثلج أكبر من الحرارة النوعية للماء. (e) معلومات أكثر مطلوبة لاستنباط أي نتيجة.

(5) ما هو مقدار الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 5.00 kg من الرصاص من 20.0°C إلى نقطة غليانه 327°C ؟
والحرارة النوعية للرصاص هي $128 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$. (a) $4.04 \times 10^5 \text{ J}$ (b) $1.07 \times 10^5 \text{ J}$ (c) $8.15 \times 10^4 \text{ J}$ (d) $2.13 \times 10^5 \text{ J}$ (e) $1.96 \times 10^5 \text{ J}$

(6) كحول الايثيل له نصف السعة الحرارية للماء تقريبا. افترض كميات متساوية من الطاقة انتقلت بواسطة الحرارة إلى عينتين متساويتين من الماء والكحول في وعائين منفصلين معزولين. ارتفعت درجة حرارة الماء بمقدار 25°C . ما هو مقدار ارتفاع درجة الحرارة في الكحول؟ (a) سوف يرتفع بمقدار 12°C . (b) سوف ترتفع بمقدار 25°C . (c) سوف ترتفع بمقدار 50°C . (d) انه يعتمد على معدل انتقال الطاقة. (e) لن ترتفع درجة الحرارة.

(7) افترض انك تقيس الحرارة النوعية لعينة من المعدن الساخن باستخدام مسعر حراري به ماء. لان المسعر ليس معزولا تماما فان بعض الطاقة تنتقل بواسطة الحرارة بين محتويات المسعر والغرفة. لتعيين نتائج دقيقة لمقدار الحرارة النوعية، فانك عليك ان تستخدم ماء درجة حرارته الابتدائية؟ (a) اقل بقليل من درجة حرارة الغرفة (b) نفس درجة حرارة الغرفة (c) اكثر بقليل من درجة حرارة الغرفة (d) أي درجة حرارة ترغب لان درجة الحرارة الابتدائية لا تؤثر

(8) البريليوم له نصف السعة الحرارية للماء تقريبا. رتب كميات الطاقة اللازمة لأحداث التغيرات التالية من الاعلى إلى الأقل. في ترتيبك دون الحالات التي يكون فيها تساوي. (a) رفع درجة حرارة 1 kg من الماء من 20°C إلى 26°C (b) رفع درجة حرارة 2 kg من الماء من 20°C إلى 23°C (c) رفع درجة حرارة الماء من 2 kg من الماء من 1°C إلى





4°C (d) رفع درجة حرارة الماء من 2 kg من البريليوم من 1°C - إلى 2°C (e) رفع درجة حرارة 2 kg من الماء من 1°C - إلى 2°C.

(9) يقوم شخص برج قنينة معزولة ومغلقة بإحكام تحتوي على قهوة لمدة بضع دقائق. (i) ما هو التغير في درجة حرارة الغرفة؟ (a) نقصان كبير (b) نقصان طفيف (c) لا تتغير (d) زيادة طفيفة (e) زيادة كبيرة (ii) ما مقدار التغير في الطاقة الداخلية للقهوة؟ اختر من الخيارات السابقة.

(10) اداة قاسية غير قابلة للاحتراق تستخدم لتحريك المواد المشتعلة في فرن. لضمان السلامة فان هذه الاداة يجب ان تصنع من مادة لها (a) حرارة نوعية عالية وموصلية حرارية عالية، (b) حرارة نوعية منخفضة وموصلية حرارية منخفضة، (c) حرارة نوعية منخفضة وموصلية حرارية عالية، (d) حرارة نوعية عالية وموصلية حرارية منخفضة؟

(11) نجم A نصف قطره ودرجة حرارة سطحه الخارجي اكبر بمرتين من النجم B. الانبعاثية لكلا النجمين هي 1. ما هي النسبة بين مقدار معدل الطاقة المنبعثة من النجم A بالنسبة للنجم B؟ (a) 4 (b) 8 (c) 16 (d) 32 (e) 64

(12) اذا ضغط غاز في عملية ايزوثيرمال، أي من الجمل التالية صحيحا؟ (a) الطاقة تنتقل إلى الغاز بواسطة الحرارة (b) لا يبذل شغل على الغاز. (c) تزداد درجة حرارة الغاز. (d) تبقى الطاقة الداخلية ثابتة. (e) ليس أي من تلك الجمل صحيحا.

(13) عندما يتعرض غاز لتمدد اديباتيكي، أي من العبارات التالية صحيحا؟ (a) درجة حرارة الغاز لا تتغير. (b) لا يبذل شغل على الغاز. (c) لا تنتقل طاقة إلى الغاز بواسطة الحرارة. (d) لا تتغير الطاقة الداخلية للغاز. (e) يزداد الضغط.





(14) إذا تعرض غاز لعملية ازوباريك، أي من العبارات التالية صحيحاً؟ (a) درجة حرارة الغاز لا تتغير (b) شغل يبذل على الغاز أو بواسطة على الغاز. (c) لا توجد طاقة تنتقل بواسطة الحرارة إلى الغاز أو من الغاز. (d) حجم الغاز يبقى ثابتاً. (e) يقل ضغط الغاز بانتظام.

(15) انضغط غاز ليقل حجمه الاصيلي بمقدار النصف وتم ذلك من خلال عدة عمليات. أي من العمليات التالية ينتج عنها أكبر شغل يبذل على الغاز؟ (a) ايزوثيرمال (b) ادياباتيك (c) ازوباريك (d) الشغل المبذول لا يعتمد على العملية.

أسئلة نظرية Conceptual Questions

(1) مخزن تحت الارض لتخزين الفواكه والخضروات. في الشتاء لماذا يقوم المسؤولين عن المخزن بوضع براميل مياه مفتوحة بجوار المنتجات؟

(2) عند تعرض طقس دافئ عادة لصقيع قاسي، يرش المزارعون على اشجار الفواكه ماء حتى تتكون عليها طبقة من الثلج. لماذا تعتبر هذه الطبقة مهمة؟

(3) ما هو الخطأ في العبارة التالية: بالنظر لأي جسمين، فان الجسم الذي درجة حرارته اعلى يحتوي على حرارة أكثر.

(4) لماذا يستطيع أي شخص ازالة غشاء من الألومنيوم الجاف من الفرن في حين يحرق نفسه إذا كان الغشاء مبلل؟

(5) باستخدام القانون الأول للديناميكا الحرارية، اشرح لماذا تكون الطاقة الكلية لنظام معزول دائماً ثابتة.





- (6) هل من الممكن ان تحويل الطاقة الداخلية إلى طاقة ميكانيكية؟ اشرح مع امثلة.
- (7) في صباح يوم حار. قمت بشراء عصير لرحلة ووضعت في السيارة في داخل حقيبة بها ثلج. (a) إذا قمت بتغطية الحقيبة بغطاء. هل بقيامك بذلك تساعد على الحفاظ على محتويات الحقيبة باردة او إنك تقوم بتدفئتها؟ اشرح اجابتك.
- (b) اقترحت عليك اختك ان تقوم بتغطيتها بغطاء صوف حتى تحافظ على برودتها في يوم حار مثل حقيبة الثلج. اشرح استجابتك لها.
- (8) تريد ان تلتقط قدر طهي من الفرن لديك كفتين من القطن. لكي تحمل القدر بدون ما تشعر بالحرارة هل عليك ان تبللها بماء بارد او تحافظ عليهما جافتين؟
- (9) افترض إنك تصب قهوة ساخنة لضيوفك، وأحدهما يريد القهوة مع الكريم. وهو يريد القهوة ان تكون ساخنة بأكبر قدر ممكن بعد مرور بضعة دقائق بعد ان يشربها. لتحصل على قهوة ساخنة هل يجب ان يضيف الشخص الكريم مباشرة بعد ان تصب له القهوة او ان يضيف الكريم فقط قبل اول رشفة؟ اشرح اجابتك.
- (10) عندما تخيم في وادي مجرى نهر ضيق في ليلة هادئة، لاحظ المخيمين عندما تشرق الشمس على مجرى النهر حركة نسيمات من الهواء. ما سبب هذه النسيمات؟
- (11) قمت بذلك كفة يدك على سطح معدني لمدة 30 ثانية. ثم ضع كفة يدك الأخرى على جزء من السطح المعدني غير الجزء الذي دلكت به كفاك ومن ثم ضعها على الجزء دلكته. ستشعر بان السطح المعدني المستخدم لحك يدك أكثر دفئا.





الآن قم بإعادة هذه العملية على سطح خشبي. لماذا يبدو الفرق في درجة الحرارة بين الجزء المستخدم في حك يدك والجزء الآخر على السطح الخشبي أكبر من السطح المعدني؟

(12) في العام 1801 قام هامفري بحك قطع من الثلج ببعضها البعض. تأكد هامفري بأنه لا يوجد أي شيء في المحيط له درجة حرارة مرتفعة أكثر من درجة حرارة القطع تلك. لاحظ هامفري سقوط قطرات من الماء. قم بعمل جدول تدرج فيه هذه التجربة مع تجارب أخرى تشرح فيها الحالات التالية. (a) نظام يمكن ان يمتص طاقة بواسطة الحرارة، تزداد الطاقة الداخلية وتزداد درجة الحرارة. (b) نظام يمتص طاقة بواسطة الحرارة وتزداد الطاقة الداخلية بدون زيادة درجة الحرارة. (c) نظام يمتص طاقة بواسطة الحرارة بدون زيادة في درجة الحرارة او الطاقة الداخلية. (d) نظام تزداد طاقته الداخلية ودرجة حرارته بدون امتصاص طاقة بواسطة الحرارة. (e) نظام تزداد طاقته الداخلية بدون امتصاص طاقة بواسطة الحرارة او زيادة في درجة الحرارة.





مسائل Problems

1. تشير لمسائل تطبيق مباشر 2. تشير لمسائل متوسطة الصعوبة 3. تشير الى مسائل تحدي

1. مسائل لها حل مفصل في دليل الطالب الارشادي 1. تشير إلى مسائل لها حل مفصل فيديو على موقع داعم للكتاب. QIC تشير إلى مسائل تحتاج الى حل وتفسير S تشير إلى مسائل رمزية تتطلب تفسير M تشير الى مسائل لها توضيح على الموقع الداعم للكتاب GP تشير إلى مسائل ارشادية Shaded تشير إلى مسائل مزدوجة تطور مفاهيم برموز وقيم عددية.

الجزء 20.1 الحرارة والطاقة الداخلية

1. سيدة كتلتها 55.0-kg تحايلت على نظامها الغذائي وتناولت في وجبة الافطار فطيرة بها 450 Calorie (540 kcal). (a) ما مقدار الطاقة بالجول التي تكافئ ما تناولته؟ (b) كم عدد درجات السلم التي يجب ان تصعدھا لتحول طاقة الوضع إلى مقدار يكافئ طاقة الفطيرة؟ افترض ان ارتفاع كل درجة هو 15.0 cm. (c) إذا كانت كفاءة جسم الانسان هي 25% لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية كم عدد الخطوات التي يجب ان تصعدھا لتتحرق وجبة الافطار؟





الجزء 20.2 الحرارة النوعية والمسعر الحراري

2. أعلى شلال في العالم هو شلال Aslto Angel في فنزويلا. يبلغ ارتفاع أعلى نقطة فيه 807 m. إذا كانت درجة حرارة الماء عند تلك النقطة هي 15.0°C ، ما هي أعلى درجة حرارة للماء عند أسفل الشلال؟ افترض أن كل الطاقة الحركية للماء تستغل في رفع درجة الحرارة.

3. خليط من ماء كتلته 0.250 kg عند درجة حرارة 20.0°C ، و كتلة من الألومنيوم مقدارها 0.400 kg عند 26.0°C وقطعة من النحاس كتلتها 0.100 kg عند درجة حرارة 100°C في وعاء معزول وصلت لدرجة الاتزان الحراري. أهمل الطاقة المنتقلة من أو إلى الوعاء. ما هي درجة حرارة الخليط النهائية؟

4. في تجربة جول في الشكل 20.1. كتلة كل بلوك هي 1.50 kg، وكتلة الماء في الخزان المعزول هي 200 g. ما مقدار الارتفاع في درجة حرارة الماء بعد سقوط الكتلتين مسافة 3.00 m؟

5. ما مقدار كتلة الماء عند درجة حرارة 25.0°C اللازم استخدامها مع 1.85-kg من الألومنيوم عند درجة حرارة 150°C ليصلا إلى الاتزان الحراري عند درجة حرارة مقدارها 65.0°C ؟ افترض أن أي كمية من الماء تتحول إلى بخار تتكثف.

6. ساق من الفضة درجة حرارته ترتفع بمقدار 10.0°C عندما يمتص كمية من الطاقة الحرارية مقدارها 1.23 kJ. كتلة ساق الفضة هي 525 g. أوجد الحرارة النوعية للفضة من هذه البيانات.





7. في الأماكن الباردة كالنرويج وشمال الولايات المتحدة، تبنى المنازل بنوافذ كبيرة لمواجهة لأشعة الشمس. تمتص أشعة الشمس طوال اليوم بواسطة ارضية المنزل، والجدران الداخلية، والاثاث مما يرتفع درجة حرارتها إلى 38.0°C . إذا كان المنزل معزول بشكل جيد يمكنك اعتبار ان المنزل يفقد حرارة بمعدل مستقر وهو 6000 W في اليوم عندما تكون درجة الحرارة الخارجية 4.0°C . ويفرض عدم استخدام نظام للتدفئة. بين الساعة $5:00\text{ p.m.}$ و $7:00\text{ p.m.}$ ، تنخفض درجة حرارة المنزل ونحتاج إلى كتلة حرارية كافية لمنع درجة الحرارة من ان تنخفض كثيرا. الكتلة الحرارية يمكن ان تكون كمية كبيرة من الحجارة (حرارته النوعية $850\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$) توضع في الأرضية والجدران الخارجية. ما هي كتلة الحجر اللازمة لمنع الحرارة من ان تنخفض اقل من 18.0°C خلال الليل؟

8. كأس من الألومنيوم كتلته 200 g يحتوي على 800 g من الماء في حالة اتزان حراري عند درجة حرارة 80.0°C . تم تبريد الكأس والماء بشكل منتظم بحيث كان معدل انخفاض درجة الحرارة 1.50°C في كل دقيقة. ما هو معدل فقد الطاقة بواسطة الحرارة؟ عبر عن اجابتك بوحدة الوات.

9. قطعة حديدية كتلتها 1.50-kg عند درجة حرارة 600°C اسقطت في وعاء به 20.0 kg ماء درجة حرارة الماء 25.0°C . ما هي درجة الحرارة النهائية للماء وقطعة الحديد؟ اهمل السعة الحرارية للوعاء وافترض ان كمية الماء التي تتبخر مهملة.

11. مسعر من الالومنيوم كتلته 100 g يحتوي على 250 g من الماء. الماء والمسعر في اتزان حراري عند درجة حرارة 10.0°C . وضعت قطعتين من المعدن في الماء. أحد القطعتين من النحاس كتلتها 50.0-g ودرجة حرارتها





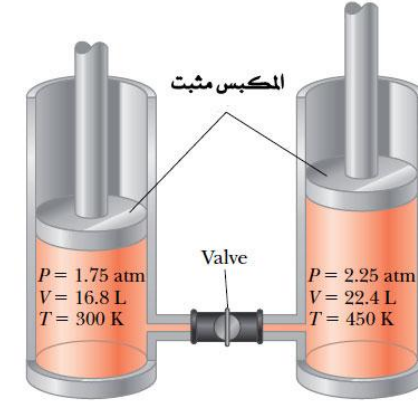
الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

80.0°C. والقطعة الأخرى كتلتها 70.0 g ودرجة حرارتها 100°C. استقر كامل النظام عند درجة حرارة نهائية هي 20.0°C. (a) أوجد الحرارة النوعية للقطعتين. (b) باستخدام البيانات في الجدول 20.1 هل تستطيع ان تتعرف على مادة القطعتين؟ ما هي؟ (c) اشرح اجابتك للجزء (b).

12. QIC قطعة نقدية من النحاس كتلتها 3.00-g عند درجة حرارة 25.0°C اسقطت على الارض من ارتفاع 50.0 m. (a) افترض ان 60.0% من التغير في طاقة الوضع تتحول إلى زيادة الطاقة الداخلية لقطعة النقود، اوجد درجة حرارة القطعة النقدية النهائية. (b) ماذا لو؟ هل تعتمد النتيجة على كتلة النقود؟ اشرح.

13. وعاءين معزولين حراريا متصلين بواسطة انبوبة مزودة بصمام مغلق كما في الشكل P20.13. أحد الوعاءين حجمه 16.8 L يحتوي اكسجين عند درجة حرارة 300 K وضغط 1.75 atm. الوعاء الآخر حجمه 22.4 L ويحتوي اكسجين عند درجة حرارة 450 K وضغط 2.25 atm. عندما فتح الصمام، اختلط الغازين واصبحت درجة الحرارة والضغط منتظمين خلال الوعاءين. (a) ما هي درجة الحرارة النهائية؟ (b) ما هو الضغط النهائي؟



الشكل P20.13

الجزء 20.3 الحرارة الكامنة

14. ما هو مقدار الطاقة اللازمة لتغير 40.0-g من الثلج من درجة حرارة -10.0°C إلى بخار عند درجة حرارة 110°C؟





15. مكعب من الثلج كتلته 75.0-g عند درجة حرارة 0°C موضوعة في 825 g من الماء عند درجة حرارة 25.0°C . ما هي درجة الحرارة النهائية للخليط؟

16. اطلقت رصاصة من الرصاص كتلتها 3.00-g عند درجة حرارة 30.0°C بسرعة 240 m/s في كتلة كبيرة من الثلج عند 0°C ، حيث أصبحت الرصاصة في كتلة الثلج. ما هي كمية الثلج التي ستذوب؟

17. اضيف بخار ماء عند درجة حرارة 100°C إلى ثلج عند درجة حرارة 0°C . (a) اوجد كمية الثلج التي ستذوب ومقدار درجة الحرارة النهائية عندما كانت كتلة البخار هي 10.0 g وكتلة الثلج هي 50.0 g . (b) ماذا لو؟ قم بإعادة الحسابات اذا كانت كتلة البخار 1.00 g وكتلة الثلج هي 50.0 g .

18. كتلة من النحاس مقدارها 1.00-kg عند درجة حرارة 20.0°C اسقطت في وعاء كبير فيه نيتروجين سائل عند درجة حرارة 77.3 K . كم كيلو جرام من النيتروجين يتبخر خلال الوقت الذي تصل إليه درجة حرارة النحاس لـ 77.3 K . (السعة الحرارية للنحاس هي $0.0920\text{ cal/g}\cdot\text{°C}$ ، والحرارة الكامنة لتبخر النيتروجين هي 48.0 cal/g).

19. يوجد 250 g من الثلج في وعاء معزول عند درجة حرارة 0°C اضيف له 600 g من الماء درجة حرارته 18.0°C . (a) ما هي درجة الحرارة النهائية للنظام؟ (b) ما هو مقدار الثلج المتبقي عندما يصل النظام للتوازن الحراري؟

20. **QC** سيارة كتلتها 1500 kg ، وكتلة قطع فرامل الالومنيوم هي 6.00 kg . (a) افترض ان كل الطاقة الميكانيكية تتحول إلى طاقة داخلية عندما تتوقف السيارة بواسطة الفرامل مع افتراض ان الطاقة لا تفقد بواسطة الفرامل على شكل





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

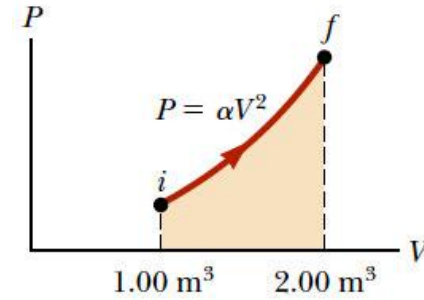
حرارة. درجة حرارة الفرامل الابتدائية هي 20.0°C . كم مرة تتوقف السيارة من سرعة 25.0 m/s قبل ان يبدأ الفرامل بالذوبان؟ (b) حدد العوامل التي اهملت في الجزء (a) المهمة للحصول على تقدير لاهتراء الفرامل.

الجزء 20.4 الشغل والحرارة في عمليات الديناميكا الحرارية

21. غاز مثالي 0.200 mol في اسطوانة مزودة بمكبس. كتلة المكبس 8000 g ومساحته 5.00 cm^2 وحر الحركة للأعلى وللأسفل، ليحافظ على ثبات الضغط. ما هو مقدار الشغل المبذول على الغاز اذا ارتفعت درجة حرارة الغاز من 20.0°C إلى 300°C ؟

22. S غاز مثالي $n\text{ mol}$ في اسطوانة مزودة بمكبس كتلة المكبس m ومساحته A وحر الحركة للأعلى وللأسفل ليحافظ على ثبات الضغط. ما هو مقدار الشغل المبذول على الغاز عندما ترتفع درجة حرارته من T_1 إلى T_2 ؟

23. غاز مثالي تعرض لعملية وصفت بالعلاقة $P = \alpha V^2$ ، حيث $\alpha = 5.00\text{ atm/m}^6$ ، كما هو موضح في الشكل P20.23. تمدد الغاز بمقدار مرتين حجمه الأصلي الذي كان 1.00 m^3 . ما هو مقدار الشغل المبذول على الغاز خلال هذه العملية؟



الشكل P20.23



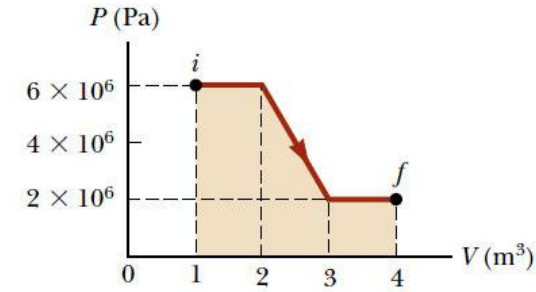


الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

24. (a) اوجد الشغل المبذول على غاز يتمدد من i إلى f كما هو موضح في الشكل P20.24. (b) ماذا لو؟ ما هو مقدار الشغل المبذول على الغاز عندما ينضغط من f إلى i على نفس المسار؟

25. **S Q C** مول واحد من غاز مثالي تم تسخينه ببطء بحيث من (P_i, V_i) إلى $(3P_i, 3V_i)$ بحيث ان ضغط الغاز يتناسب طرديا مع حجمه. (a) ما مقدار الشغل المبذول على الغاز في هذه العملية؟ (b) ما العلاقة بين درجة حرارة الغاز وحجمه خلال هذه العملية؟



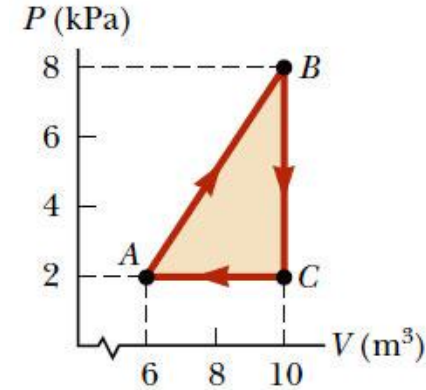
الشكل P20.23

الجزء 20.5 القانون الأول في الديناميكا الحرارية

26. تعرض غاز لعملية كما هو موضح في الشكل P20.26. (a) اوجد الطاقة الكلية المنتقلة للنظام بالحرارة خلال دورة كاملة. (b) ماذا لو؟ اذا عكست الدورة بحيث ان العملية اصبحت على المسار ACBA ما هي الطاقة الكلية المنتقلة بالحرارة خلال دورة كاملة؟

27. في الدورة المبينة في الشكل P20.26. إذا Q سالبة للعملية BC و ΔE_{int} سالبة للعملية CA ، ما هي اشارة كلا من Q و ΔE_{int} المرتبطة بكل من العمليات الثلاثة؟

28. لماذا هذه الحالة مستحيلة؟ يتعرض غاز مثالي لعملية بهذه المتغيرات: $Q = 10.0 \text{ J}$ ، و $W = 12.0 \text{ J}$ ، و $\Delta T = -2.00^\circ\text{C}$



الشكل P20.26

مسألة 26 ومسألة 27

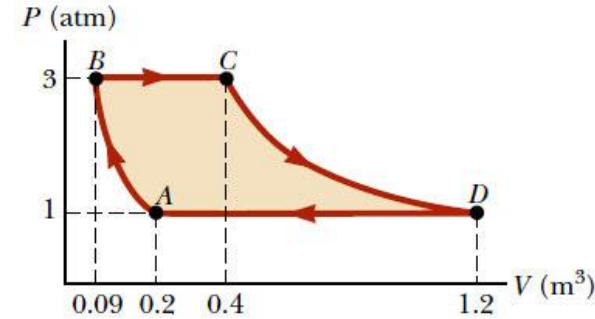


الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

29. نظام ثيرموديناميكي يتعرض لعملية بحيث ان الطاقة الداخلية تقل بمقدار 500 J. في نفس الفترة الزمنية بذل شغل مقداره 220 J على النظام. أوجد الطاقة المنتقلة منه بواسطة الحرارة.

30. عينة من غاز مثالي تعرضت لعملية موضحة في الشكل P20.30. من A إلى B عملية اديباتيكية، ومن B إلى C عملية ايزوباريك يمتص فيها النظام طاقة مقدارها 100 kJ بواسطة الحرارة، ومن C إلى D عملية ايزوثيرمال، والعملية من D إلى A عملية ايزوباريك يفقد النظام طاقة مقدارها 150 kJ بواسطة الحرارة. احسب الفرق في الطاقة الداخلية $E_{int,B} - E_{int,A}$.



الشكل P20.30

الجزء 20.6 بعض تطبيقات القانون الأول للديناميكا الحرارية

31. يتعرض غاز مثالي درجة حرارته الابتدائية هي 300 K لتمدد اديباتيكي عند ضغط 250 kPa. اذا ازداد الحجم من 1.00 m³ إلى 3.00 m³ وانتقلت طاقة مقدارها 12.5 kJ للغاز بواسطة الحرارة، (a) ما هو التغير في الطاقة الداخلية؟ (b) ما هي درجة الحرارة النهائية؟

32. (a) ما مقدار الشغل المبذول على بخار عندما 1.00 mol من الماء يغلي عند درجة حرارة 100°C ويصبح 1.00 mol من البخار عند درجة حرارة 100°C عند ضغط يساوي 1 atm؟ افترض ان البخار يتصرف كغاز مثالي. (b) احسب التغير في الطاقة الداخلية للنظام عندما يتبخر الماء.





الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

33. M عينة من غاز الهيليوم مقدارها 2.00-mol درجة حرارتها الابتدائية هي 300 K عند ضغط مقداره 0.400 ضغط في عملية ايزوثيرمال (عند ثبوت درجة الحرارة) ليصبح ضغطه 1.20 atm. لاحظ ان الهيليوم يتصرف كغاز مثالي، اوجد (a) الحجم النهائي للغاز، (b) الشغل المبذول على الغاز، و (c) الطاقة المنقولة بواسطة الحرارة.

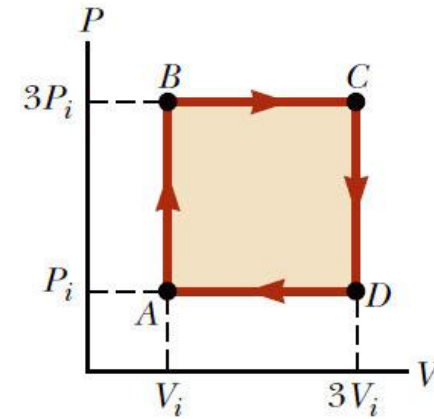
34. مول واحد من غاز مثالي يبذل شغل مقداره 3000 J على المحيط الخارجي عندما يتمدد تحت درجة حرارة ثابتة ليصبح ضغطه النهائي هو 1.00 atm وحجمه 25.0 L. حدد (a) الحجم الابتدائي و (b) درجة حرارة الغاز.

35. غاز مثالي عند P_i و V_i و T_i اخذ في دورة كما هو موضح في الشكل P20.35. (a) اوجد الشغل المبذول على الغاز في الدورة لـ 1.00 mol درجة حرارته الابتدائية هي 0.0°C . (b) ما هي الطاقة الكلية التي يكتسبها الغاز بواسطة الحرارة في الدورة.

36. S غاز مثالي عند P_i و V_i و T_i اخذ في دورة كما هو موضح في الشكل P20.35. (a) اوجد الشغل المبذول على الغاز في الدورة. (b) ما هي الطاقة الكلية التي يكتسبها الغاز بواسطة الحرارة في الدورة.

37. تم تسخين قطعة من الألومنيوم كتلتها 1.00-kg تحت الضغط الجوي بحيث ارتفعت درجة حرارتها من 22.0°C إلى 40.0°C . اوجد (a) الشغل المبذول على الألومنيوم، (b) الطاقة المضافة بواسطة الحرارة، (c) التغير في الطاقة الداخلية.

38. في الشكل P20.38، التغير في الطاقة الداخلية للغاز اخذ من A إلى C على المسار الأزرق هي $+800\text{ J}$. والشغل المبذول على الغاز على المسار الأحمر ABC هو -500 J . (a) ما مقدار الطاقة المضافة للنظام بواسطة الحرارة عندما



الشكل P20.35

مسألة 35 ومسألة 36

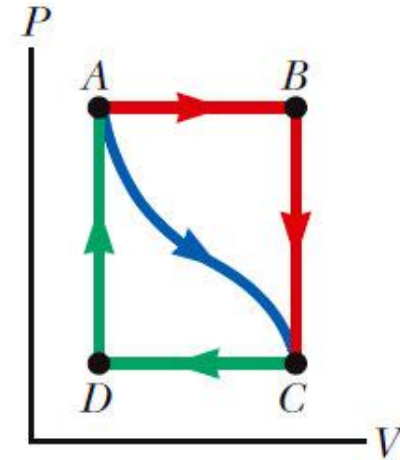




الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

ينتقل من النقطة A إلى C مروراً بالنقطة B ؟ (b) إذا كان الضغط عند النقطة A هي خمسة مرات الضغط عند النقطة C ، ما هو الشغل المبذول على النظام من C إلى D ؟ (c) ما هي مقدار الطاقة المتبادلة مع المحيط بواسطة الحرارة عندما ينتقل الغاز من C إلى A على المسار الأخضر؟ (d) إذا كان التغير في الطاقة الداخلية عند الانتقال من النقطة D إلى النقطة A هو $+500 \text{ J}$ ، ما مقدار الطاقة التي يجب ان تضاف للنظام بواسطة الحرارة للانتقال من النقطة C إلى النقطة D ؟



الشكل P20.38

الجزء 20.7 طرق انتقال الطاقة في العمليات الحرارية

39. زجاج نافذة في منزل سمكه 0.620 cm وابعاده هي $1.00 \text{ m} \times 2.00 \text{ m}$. في يوم من الايام كانت درجة الحرارة للسطح الداخلي للزجاج هي 25.0°C ودرجة حرارة السطح الخارجي له هي 0.0°C . (a) ما هو معدل انتقال الطاقة بواسطة الحرارة من خلال الزجاج؟ (b) ما مقدار الطاقة المتحولة من خلال النافذة في هذا اليوم، افترض ان درجات الحرارة لسطحي النافذة يبقى ثابتاً؟

40. شريحة من الكونكريت سمكها 12.0 cm ومساحتها 5.00 m^2 . وضع سخان كهربائي أسفل من الشريحة لإذابة ثلج على سطحه في شهر من اشهر الشتاء. ما هو اقل طاقة كهربائية يجب ان يزود بها السخان الكهربائي حتى يحافظ على فرق درجة حرارة يساوي 20.0°C بين السطح السفلي للكونكريت وسطحه العلوي؟ افترض ان كل الطاقة تنتقل خلال الشريحة.





41. يفكر طالب في ما يجب ان يرتديه. درجة حرارة غرفته هي 20.0°C . ودرجة حرارته جلده هي 35.0°C ؛ مساحة جسمه هي 1.50 m^2 . اذا كانت انبعاثية جسمه هي 0.900 . اوجد الطاقة الكلية المنتقلة من جسمه بواسطة الاشعاع في خلال 10.0 min .

42. درجة حرارة سطح الشمس هي 5800 K . ونصف قطر الشمس هو $6.96 \times 10^8\text{ m}$. احسب الطاقة الكلية المشعة بواسطة الشمس في كل ثانية. افترض ان انبعاثية الشمس هي 0.986 .

43. مصباح كهربى به فتيلة تتجسنتين قدرتها 100-W تشع ضوء قدرته 2.00 W . (القدرة المتبقية وهي 98 W تفقد على شكل حمل وتوصيل). مساحة سطح الفتيلة 0.250 mm^2 والانبعاثية هي 0.950 . اوجد درجة حرارة الفتيلة. (علما بان درجة ذوبان التتجسنتين هي 3683 K).

44. في ظهر يوم ما يصل من الشمس حرارة قدرتها 1000 W لكل متر مربع على شارع اسود. اذا كان الشارع الاسفلتي ينقل الطاقة بواسطة الاشعاع، ما هي درجة حرارة الاستقرار للشارع؟

45. مصباحين ضوء بهما فتيلة اسطوانية الشكل طولها أكبر بكثير من قطرها. كلا المصباحين متشابهين فيما عدا ان درجة حرارة الفتيلة الأولى هي 2100°C والآخرى درجة حرارتها 2000°C . (a) اوجد النسبة بين قدرة الانبعاث بين المصباح الساخن بالنسبة للمصباح الاقل سخونة. (b) مع تشغيل المصباحين عند نفس درجتى الحرارة، قمنا بزيادة سماكة الفتيلة الابرد بحيث ان الاشعاع الصادر عنها يساوي الاشعاع الصادر عن الفتيلة الساخنة. ما هو مقدار الزيادة في نصف قطر الفتيلة؟





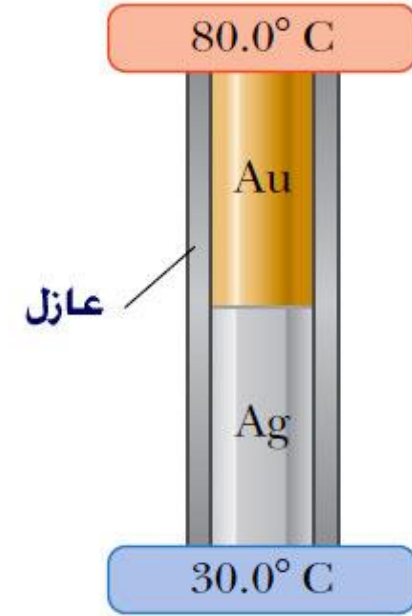
الوحدة الأولى: الثالثة

الجزء العشرون: القانون الأول في الديناميكا الحرارية

46. **QIC** عند المسافة التي تبعدنا عن الشمس، فإن شدة اشعاع الشمس هي 1370 W/m^2 . تتأثر درجة حرارة الأرض بظاهرة البيت الأخضر *greenhouse effect* للغلاف الجوي. هذه الظاهرة تصف تأثير امتصاص الاشعة تحت الحمراء المنبعثة من السطح حتى تجعل درجة حرارة سطح الأرض اعلى من لو لم يكن هناك هواء. للمقارنة، افترض جسم كروي نصف قطره r بدون غلاف جوي يبعد نفس المسافة التي تبعدنا الكرة الأرضية عن الشمس. افترض ان انبعاثيتها تساوي نفس انبعاثية كل الامواج الكهرومغناطيسية ودرجة حرارتها منتظمة على كل اجزاء السطح. (a) اشرح لماذا مسقط المساحة التي تمتص اشعة الشمس هي πr^2 ومساحة السطح الذي يشع هي $4\pi r^2$. (b) احسب درجة حرارة الاستقرار. هل هي باردة؟

47. (a) احسب قيمة R لنافذة حرارية صنعت من لوحين من الزجاج سمك كل منها 0.125 in مفصولين بمسافة 0.250-in فيه هواء. (b) ما مقدار تقليل الطاقة المنتقلة بواسطة الحرارة من خلال النافذة الحرارية بدلا من النافذة العادية؟ ضمن في اجابتك مساهمة طبقة الهواء الداخلية والخارجية.

49. **QIC** ساق من الذهب (Au) في اتصال حراري مع ساق اخر من الفضة (Ag) لها نفس الطول ومساحة المقطع كما في الشكل P20.49. أحد طرفي عند درجة حرارة 80.0°C ، والطرف المقابل عند درجة حرارة 30.0°C . عندما يصل انتقال الطاقة إلى حالة الاستقرار، ما هي درجة حرارة الوصلة؟



الشكل P20.49

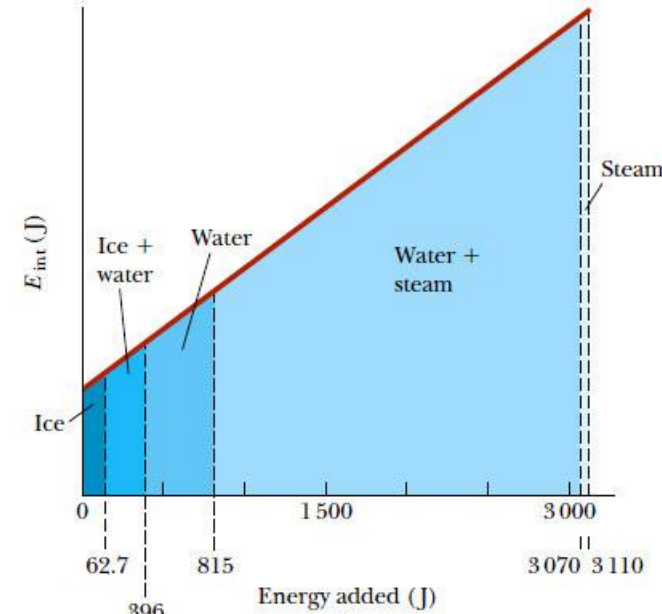




أجوبة اسئلة التفكير

1. (i) الحديد، الزجاج، الماء، (ii) الماء، الزجاج، الحديد

2. يوضح الشكل على اليمين التمثيل البياني للطاقة الداخلية للثلج كدالة في الطاقة المضافة. لاحظ ان المنحنى يبدو مختلفا عن الشكل 20.3 حيث لا يوجد عليه اجزاء مسطحة خلال التغير في الحالة. بغض النظر عن كيف تتغير درجة الحرارة في الشكل 20.3، فان الطاقة الداخلية للنظام تزداد خطيا مع الطاقة المضافة.



3.

ΔE_{int}	W	Q	النظام	الحالة
+	+	0	الهواء في المنفاخ	(a) نفخ العجل بسرعة
+	0	+	الماء في الوعاء على فرن	(b) ماء عند درجة حرارة الغرفة في وعاء
-	-	0	الهواء اصلا في البالون كبيرة	(c) الهواء يتسرب من البالون بسرعة

4. المسار A هو ايزوفوليمترك، المسار B هو ادبياتيك، المسار C هو ايزوثيرمال، والمسار D هو ايزوباريك.

5. (b)





أجوبة المسائل الفردية

1. (a) 2.26×10^6 J (b) 2.80×10^4 steps
(c) 6.99×10^3 steps

3. 23.6°C

5. 0.845 kg

7. 1.78×10^4 kg

9. 29.6°C

11. (a) $1822 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ (b) لا يمكننا ان نحدد بدقة، قد
المادة قد تكون خليط غير معروف (c) يكون عنصر البريليوم
او مادة غير مدرجة في الجدول.

13. (a) 380 K (b) 2.04 atm

15. 16.3°C

17. (a) 10.0 g of ice melts, $T_f = 40.4^\circ\text{C}$ (b) 8.04
g of ice melts, $T_f = 0^\circ\text{C}$

19. (a) 0°C (b) 114 g

21. -466 J

23. -1.18 MJ

25. (a) $-4P_iV_i$ (b) حيث ان $T = (P_i/nRV_i)V^2$, فإنها
تتناسب طرديا مع مربع الحجم

27.

العملية	Q	W	ΔE_{int}
BC	-	0	-
CA	-	+	-
AB	+	-	+

29. 720 J

31. (a) 7.50 kJ (b) 900 K

33. (a) 0.0410 m^3 (b) +5.48 kJ (c) -5.48 kJ

35. (a) -9.08 kJ (b) 9.08 kJ

37. (a) -0.048 6 J (b) 16.2 kJ (c) 16.2 kJ

39. (a) 6.45×10^3 W (b) 5.57×10^8 J

41. 74.8 kJ

43. 3.49×10^3 K

45. (a) 1.19 (b) a factor of 1.19

47. (a) $1.85 \text{ ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{h/Btu}$ (b) a factor of 1.78

49. 51.2°C





د. حازم فلاح سكيك

استاذ الفيزياء المشارك بجامعة الازهر - غزة



- ★ رئيس قسم الفيزياء بجامعة الازهر - غزة في الفترة 1993-1998
- ★ مؤسس وعميد كلية الدراسات المتوسطة بجامعة الازهر - غزة من الفترة 1996-2005
- ★ عميد القبول والتسجيل بجامعة الازهر - غزة في الفترتين 1998-2000 و 2007-2008
- ★ مدير الحاسب الالي بجامعة الازهر - غزة في الفترة من 1994-2000
- ★ رئيس وحدة تكنولوجيا المعلومات بجامعة الازهر - غزة في الفترة من 2000-2005
- ★ مؤسس موقع الفيزياء التعليمي
- ★ مؤسس اكااديمية الفيزياء للتعليم الالكتروني
- ★ مؤسس مركز الترجمة العلمي
- ★ مؤسس قناة الفيزياء التعليمي على اليوتيوب
- ★ مؤسس ورئيس تحرير مجلة الفيزياء العصرية

لمزيد من المعلومات يرجى زيارة

المؤسسة الإعلامية لشبكة الفيزياء التعليمية

www.hazemsakeek.net/

