الوحدة 1

الطاقة والتغيرات الكيميائية

الفكرة **الرئيسة** عادة ما تمتص التفاعلات الكيميائية الطاقة أو تطلقها.

الأقسام

1 الطاقة

2 الحرارة

3 المعادلات الكيميائية الحرارية

4 حساب التغير في المحتوى الحراري

5 تلقائية حدوث التفاعلات

التجربة الاستهلالية

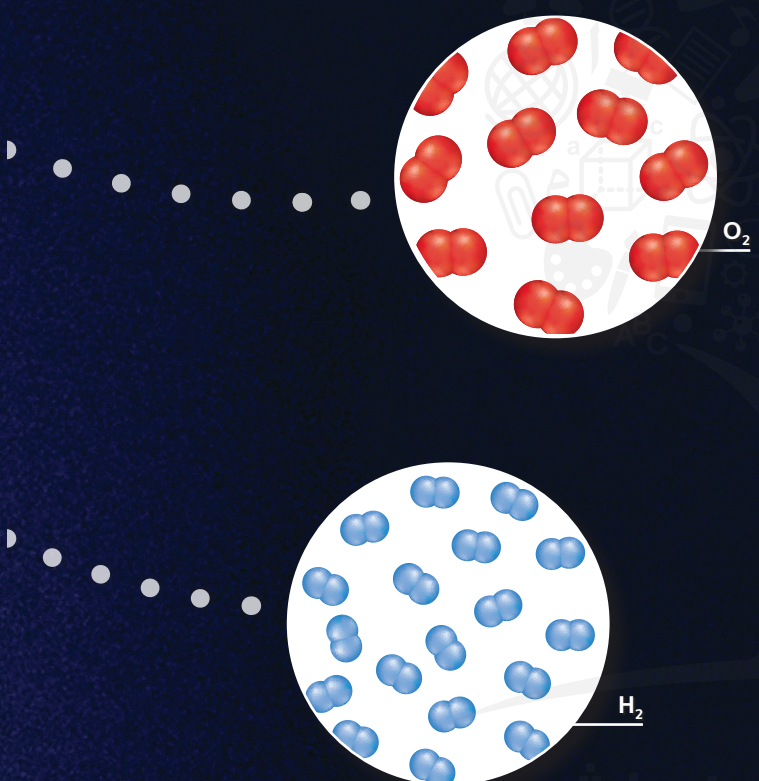
كيف يمكنك صنع الكمادة الباردة؟

تستخدم الكمادات الباردة في تخفيف الألم الناتج عن الإصابة في حادثة، تحتوي بعض الكمادات الكيميائية الباردة على مركبين منفصلين وعند اتحادهما يحدث امتصاص للحرارة. سوف تختبر ثلاث مواد كيميائية في هذه التجربة لتحديد أيها أفضل لصناعة كمادة كيميائية باردة.

مطوياتي®
منظم الدراسة

معادلة الطاقة الحرة

اصنع المطوية الموضحة في الشكل ، واستخدمها في تنظيم دراستك لمعادلة الطاقة الحرة.



تستخدم المحركات الثلاثة الرئيسة لمكوك الفضاء ما يزيد عن 547,000 kg من الأكسجين السائل وحوالي 92,000 kg من الهيدروجين السائل لرفع كتلة تبلغ 2.04×10^6 kg.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Chapter sourced from Energy and Chemical Change, Chapter 15, from Glencoe Chemistry: Matter and Change ©2017
McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

القسم 1

الطاقة

الفكرة **الرئيسة** الطاقة يتغير شكلها وتنتقل ولكنها دائمًا محفوظة.

الأسئلة الرئيسة

- ما هي الطاقة؟
- كيف تختلف طاقة الوضع عن الطاقة الحركية؟
- ما علاقة طاقة الوضع الكيميائية بالحرارة المفقودة أو المكتسبة خلال التفاعلات الكيميائية؟
- كيف يمكن حساب كمية الحرارة التي تمتصها أو تحررها المادة عندما تتغير درجة حرارة المادة؟

مراجعة المفردات

درجة الحرارة temperature: قياس متوسط الطاقة الحركية لجسيمات المادة

المفردات الجديدة

الطاقة	energy
قانون حفظ الطاقة	law of conservation of energy
طاقة الوضع الكيميائية	chemical potential energy
الحرارة	heat
السُعر الحراري	calorie
الجول	joule
الحرارة النوعية	specific heat

الكيمياء في حياتك

هل سبق لك أن شاهدت قطار الملاهي يطير بسرعة صعودًا وهبوطًا عبر مساره أو جربت متعة وتشويق ركوب هذا القطار؟ تتغير طاقة قطار الملاهي من شكل إلى آخر في كل مرة يهبط فيها أو يصعد.

طبيعة الطاقة

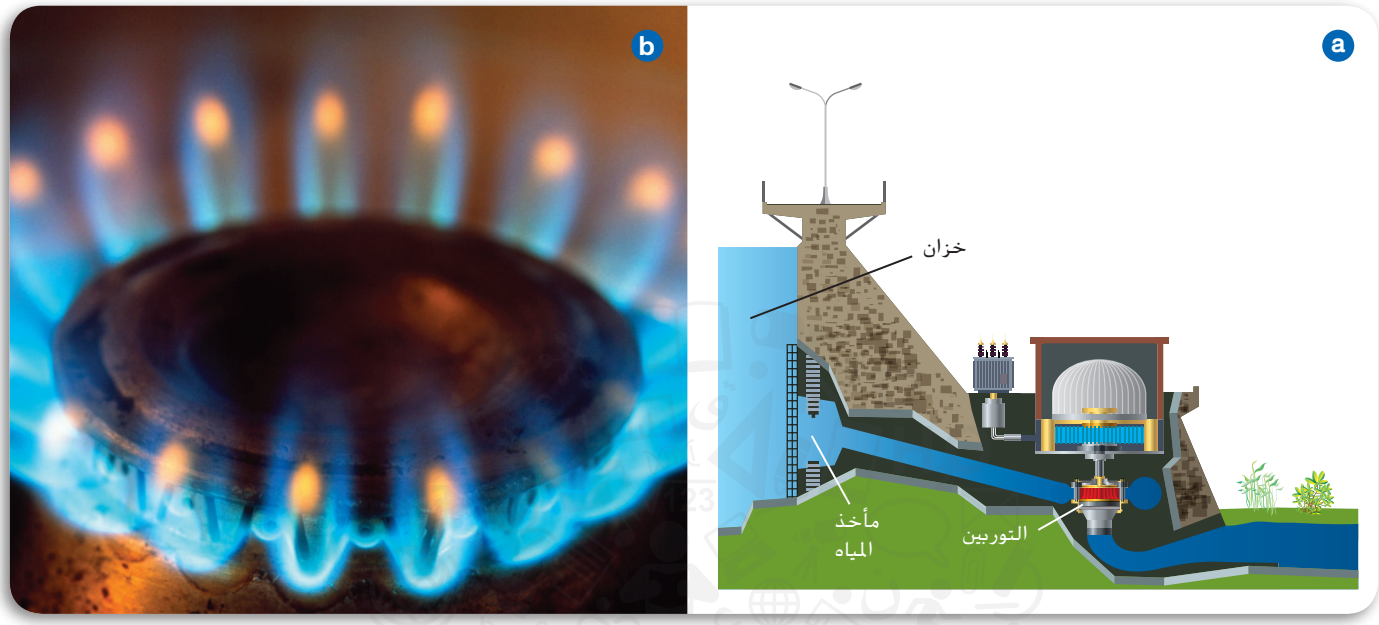
قد تكون على معرفة بمصطلح الطاقة. ربما قد سمعت قبلًا شخصًا يقول، "لقد نفدت طاقتي"، بعد ممارسة لعبة رياضية شاقة أو بعد قضاء يوم عصيب. غالبًا ما تُناقش موضوعات كالطاقة الشمسية، والطاقة النووية، والسيارات الموفرة للطاقة وغيرها من الموضوعات الأخرى ذات الصلة في وسائل الإعلام.

تستخدم الطاقة لطهي الطعام الذي تأكله وتُحرك السيارات التي تنقلك. إذا كان الطقس حارًا أو باردًا في يوم ما، فإن الطاقة توفر درجة حرارة مناسبة ومريحة داخل منزلك ومدرستك. توفر الطاقة الكهربائية الإضاءة كما تمد الأجهزة كأجهزة الكمبيوتر والتلفاز والهواتف والآلات الحاسبة بالطاقة. كما تُشارك الطاقة في تصنيع وتوصيل كافة المواد والأجهزة الموجودة داخل منزلك. تتطلب كل حركة تقوم بها وكل فكرة تُفكر بها طاقة. ففي واقع الأمر، يمكنك القول بأن كل خلية من خلايا جسدك ما هي إلا مصنع صغير يعمل بالطاقة المستمدة من الطعام الذي تأكله.

ما هي الطاقة؟ **الطاقة** هي القدرة على القيام بالعمل أو إنتاج حرارة. إنها توجد في شكلين أساسيين: الطاقة الكامنة (طاقة الوضع) والطاقة الحركية. طاقة الوضع هي الطاقة المتولدة عن تركيب الجسم أو عن وضعه. ومن الأمثلة على طاقة الوضع استعداد المتزلجة إلى أسفل التل عند نقطة الانطلاق، كما هو موضح في **الشكل 1a**. بعد إعطاء إشارة الانطلاق، تتغير طاقة المتزلجة الكامنة إلى طاقة حركية خلال رحلتها السريعة نحو خط النهاية، كما هو موضح في **الشكل 1b**. الطاقة الحركية هي طاقة تنتج بسبب حركة الأجسام ويمكنك ملاحظتها في حركة الأشياء والأشخاص من حولك.

■ **الشكل 1** في بداية الدورة يكون لدى المتزلجة في **a** طاقة وضع عالية بسبب موقعها ومكانها. في **b** تتحول طاقة الوضع للمتزلجة إلى طاقة حركية.
قارن كيف تختلف طاقة وضع المتزلجة عند نقطة البداية وعند خط النهاية؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



■ **الشكل 2** يوضح إمكانية تغير الطاقة من شكل إلى آخر ولكن مع الاحتفاظ بها دومًا. في **a** تم تحويل طاقة وضع الماء إلى طاقة حركية حيث تسقط خلال سحبها من مكانها المرتفع في الخزان. يؤدي الماء المندفع إلى دوران التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية. في **b** يتم تحويل طاقة الوضع المخزنة في روابط جسيمات البروبان إلى حرارة.

تحتوي النظم الكيميائية على كلًا من الطاقة الحركية وطاقة الوضع. تذكر أن الطاقة الحركية للمادة ترتبط ارتباطًا مباشرًا بالحركة العشوائية المستمرة لجسيماتها وتتناسب مع درجة الحرارة. فكلما زادت درجة الحرارة، كلما زادت حركة الجسيمات. تعتمد طاقة الوضع للمادة على تكوينها؛ من حيث نوع ذرات المادة، وعدد ونوع الروابط الكيميائية التي تربط الذرات ببعضها، والطريقة الخاصة التي يتم بها ترتيب الذرات.

قانون حفظ الطاقة عندما يندفع الماء عبر التوربينات في محطة توليد الطاقة الكهرومائية، كما هو موضح في **الشكل 2a** يتم تحويل بعض من طاقة الماء الحركية إلى طاقة كهربائية. يعتبر البروبان (C_3H_8) وقود هام للطهي والتدفئة. في **الشكل 2b** يتحد غاز البروبان مع الأكسجين ليكونا ثاني أكسيد الكربون والماء. تخرج طاقة الوضع المخزنة في روابط البروبان في صورة حرارة. في كلا المثالين، تتغير الطاقة من شكل إلى آخر، ولكن مع الحفاظ عليها – يظل المقدار الإجمالي للطاقة ثابتًا. لفهم مفهوم الحفاظ على الطاقة بشكل أفضل، افترض أن لديك حسابين في البنك وتُحوّل الأموال من حساب إلى آخر. بالرغم من أن مقدار المبلغ المالي في كلا الحسابين قد تغير، إلا أن المبلغ الإجمالي الموجود في هذا البنك لا يزال كما هو. وعند التطبيق على الطاقة، يُجسد هذا التشبيه قانون حفظ الطاقة. ينص **قانون حفظ الطاقة** على أنه يمكن تحويل الطاقة من شكل إلى آخر، ولكن لا تفنى ولا تستحدث خلال أي تفاعل كيميائي أو عملية فيزيائية. كما يُعرف هذا أيضًا بالقانون الأول للديناميكا الحرارية.

طاقة الوضع الكيميائية تُسمى الطاقة المُخزنة في المادة بسبب تركيبتها بـ**طاقة الوضع الكيميائية**. تلعب طاقة الوضع الكيميائية دورًا هامًا في التفاعلات الكيميائية. على سبيل المثال، تنتج طاقة الوضع الكيميائية للبروبان عن ترتيب ذرات الكربون والهيدروجين وقوة الروابط التي تربط بين هذه الذرات.

التحقق من فهم النص **اذكر** قانون حفظ الطاقة بإسلوبك الخاص.

McGraw-Hill Education © محفوظة لصالح مؤسسة حقوق الطبع والتأليف

الحرارة المكون الرئيس للجازولين هو الأوكتان (C_8H_{18}). عندما يحترق الجازولين في محرك السيارة، يتحول جزء من طاقة الوضع الكيميائية للأوكتان لتقوم بمهمة تحريك المكابس، مما يؤدي إلى تحريك العجلات ودفع السيارة . بالرغم من هذا، يتم تحرير جزء كبير من طاقة الوضع الكيميائية للأوكتان في صورة حرارة. يُستخدم الرمز q ليُعبر عن **الحرارة**، وهي الطاقة التي تنتقل من جسم أكثر سخونة إلى جسم أقل سخونة. عندما يفقد الجسم الأكثر سخونة الطاقة، تنخفض درجة حرارته. عندما يمتص الجسم الأقل سخونة الطاقة، ترتفع درجة حرارته.

قياس الحرارة

يعتبر انتقال الطاقة والتغير في درجة الحرارة مفتاحين لكيفية قياس الحرارة، تُعرّف كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء النقي درجة سيليزية واحدة (1°C) بـ **السعر** (cal). عندما يحرق جسمك السكريات والدهون ليكوّن ثاني أكسيد الكربون والماء، فإن هذه التفاعلات الطاردة تولد حرارة يمكن قياسها بالسعرات الغذائية (Cal). لاحظ أنه يعبر عن السعرات الغذائية بحرف C كبير في كلمة (Cal) يرجع هذا لأن السعر الغذائي يساوي 1000 سعر حراري، أو كيلو كالوري (kcal). تذكر أن البادئة كيلو تعني 1000. على سبيل المثال، تحتوي ملعقة كبيرة من الزبد على 100 سعر غذائي (100 cal) تقريبًا. هذا يعني أنه إذا احترق الزبد تمامًا لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء، فسيتم إطلاق 100 kcal (100,000 cal) من الحرارة.

تقاس الطاقة في النظام الدولي للوحدات SI بالجول (J) **joule**. الجول الواحد يُعادل 0.2390 cal. والسعر الحراري الواحد يساوي 4.184 J. يلخص **الجدول 1** العلاقات بين السعرات الحرارية، والسعرات الحرارية الغذائية، والجول، والكيلو جول (kJ) ومعاملات التحويل التي يمكنك استخدامها للتحويل من وحدة إلى أخرى.

الجدول 1 العلاقات بين وحدات الطاقة

معاملات العلاقة	معاملات التحويل
1 J = 0.2390 cal	$\frac{1\ J}{0.2390\ cal}$ $\frac{0.2390\ cal}{1\ J}$
1 cal = 4.184 J	$\frac{1\ cal}{4.184\ J}$ $\frac{4.184\ J}{1\ cal}$
1 Cal = 1 kcal	$\frac{1\ Cal}{1000\ cal}$ $\frac{1000\ cal}{1\ Cal}$

مثال 1

تحويل وحدات الطاقة يتكون إفطار من الحبوب، وعصير البرتقال، واللبن يحتوي على 230 Cal عبَّر عن هذه الطاقة بالجول.

1 تحليل المسألة

تم إعطائك مقدار من الطاقة بالسعرات الغذائية. يجب عليك تحويل السعرات الغذائية إلى سعرات ومن ثم تحويل السعرات إلى جول.

معلوم

مقدار الطاقة = 230 Cal

مجهول

مقدار الطاقة = J؟

2 حساب المجهول

حوّل السعرات الغذائية إلى سعرات.

$$230\ \cancel{Cal} \times \frac{1000\ cal}{1\ \cancel{Cal}} = 2.3 \times 10^5\ cal$$

طبّق العلاقة 1 Cal = 1000 cal.

حوّل السعرات إلى جول.

$$2.3 \times 10^5\ \cancel{cal} \times \frac{4.184\ J}{1\ \cancel{cal}} = 9.6 \times 10^5\ J$$

طبّق العلاقة 1Cal = 4.184 J 1Cal

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed Bin Rashid Smart Learning Program

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

تطبيقات

1. تحتوي قطعة من الشوفان والفاكهة على 142 Cal. حوّل هذه الطاقة إلى سعرات.
2. يطلق تفاعل طارد للحرارة 86.5 kJ. كم مقدار الطاقة الناتجة بوحدة kcal؟
3. **تحدي** حدد وحدة جديدة للطاقة، وسمّها باسمك، والتي تبلغ قيمتها عشر سعر حراري(cal). ما معاملات التحويل التي تربط هذه الوحدة الجديدة بالجول؟ وبالسعر الغذائي؟

الحرارة النوعية

لقد قرأت أنه يلزم توفير 1 cal أو 4.184 J لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء النقي درجة سيليزية واحدة (1°C). تُعرّف الكمية 4.184 J/(g•°C) بالحرارة النوعية (c) للماء. تُعرّف **الحرارة النوعية** لأي مادة بكمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من هذه المادة (1°C). ولأن المواد المختلفة لها تراكيب مختلفة، فإن لكل مادة الحرارة النوعية الخاصة بها.

لرفع درجة حرارة الماء (1°C)، يجب أن يمتص كل جرام واحد من الماء 4.184 J. بينما يلزم توفير قدر أقل بكثير من الطاقة لرفع درجة حرارة كتلة مساوية من الخرسانة (1°C). ربما قد لاحظت أن الأرصفة الخرسانية تصبح ساخنة في اليوم الصيفي المشمس. يعتمد مستوى السخونة على الحرارة النوعية للخرسانة، ولكن هناك عوامل أخرى مهمة أيضًا. تبلغ الحرارة النوعية للخرسانة 0.84 J/(g•°C) مما يعني أن درجة حرارة الخرسانة ترتفع تقريبًا خمسة أضعاف درجة حرارة الماء عند امتصاص كتل متساوية من الماء والخرسانة لنفس مقدار الطاقة.

■ **الشكل 3** تُصبح مياه النافورة الباردة مرغوبًا فيها بعد المشي على الرصيف الخرساني الحار. يجب ان يمتص الماء خمسة أضعاف الطاقة التي تمتصها كتلة متساوية من الخرسانة ليصل إلى نفس درجة حرارة الخرسانة.
استنتج كيف تتغير درجة حرارة الخرسانة مقارنة بدرجة حرارة الماء خلال ليلة باردة.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

الجدول 2 درجات الحرارة النوعية عند 298 K (25°C)

المادة	الحرارة النوعية J/(g•°C)
الماء(l)	4.184
الإيثانول(l)	2.44
الماء(s)	2.03
الماء(g)	2.01
البريليوم(s)	1.825
المغنيسيوم(s)	1.023
الألمنيوم(s)	0.897
الخرسانة(s)	0.84
الجرانيت(s)	0.803
الكالسيوم(s)	0.647
الحديد(s)	0.449
السترونشيوم(s)	0.301
الفضة(s)	0.235
الباريوم(s)	0.204
الرصاص(s)	0.129
الذهب(s)	0.129

حساب الحرارة الممتصة افترض أن درجة حرارة كتلة من الرصيف الخرساني تبلغ 5.00×10^3 g قد زادت بمقدار 6.0°C. فهل يمكن حساب مقدار الطاقة التي تم امتصاصها؟ تذكر أن الحرارة النوعية للمادة تخبرك عن مقدار الحرارة التي قد امتصها جرام واحد من هذه المادة لرفع درجة حرارتها (1°C). يوضح **جدول 2** درجات الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة. تبلغ الحرارة النوعية للخرسانة 0.84 J/(g•°C) لذا، فإن جرام واحد من الخرسانة يمتص 0.84 J عندما ترتفع حرارته (1°C) ولتحديد الحرارة التي امتصتها 5.00×10^3 g من الخرسانة يجب عليك ضرب 0.84 J في 5.00×10^3. ثم، نظرًا لتغير درجة حرارة الخرسانة بمقدار 6.0°C، يجب عليك ضرب الناتج من ضرب الكتلة والحرارة النوعية في 6.0°C.

معادلة حساب الحرارة

$$q = c \times m \times \Delta T$$

q تُمثل الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها. *c* تُمثل الحرارة النوعية للمادة. *m* تُمثل كتلة العينة بالجرامات. ΔT هو التغير في درجة الحرارة °C أو $T_f - T_i$.

إن كمية الحرارة التي تمتصها المادة أو تُطلقها مساوية لحاصل ضرب حرارتها النوعية في كتلتها في التغير في درجة حرارتها.

يمكنك استخدام هذه المعادلة لحساب الحرارة التي امتصتها الكتلة الخرسانية.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

$$q_{\text{خرسانة}} = \frac{0.84\ \text{J}}{(\text{g}\cdot\cancel{^\circ\text{C}})} \times (5.00 \times 10^3 \cancel{\text{g}}) \times 6.0\cancel{^\circ\text{C}} = 25{,}000\ \text{J} = 25\ \text{kJ}$$

يبلغ إجمالي مقدار الطاقة التي امتصتها الكتلة الخرسانية 25,000 J أو 25 kJ.

على سبيل المقارنة، ما مقدار الحرارة التي يمتصها 5.00×10^3 g من الماء عندما تزيد درجة حرارته بمقدار 6.0°C؟ إن حساب للماء هو q نفسه بالنسبة للخرسانة باستثناء أنه يجب عليك استخدام الحرارة النوعية الخاصة بالماء 4.184J/(g·°C).

$$q_{\text{ماء}} = \frac{4.184\ \text{J}}{(\text{g}\cdot\cancel{^\circ\text{C}})} \times (5.00 \times 10^3\ \cancel{\text{g}}) \times 6.0\cancel{^\circ\text{C}} = 1.3 \times 10^5\ \text{J} = 130\ \text{kJ}$$

إذا قسمت الحرارة التي امتصها الماء (130 kJ) على الحرارة التي امتصتها الخرسانة(25kJ) ستجد أنه بالنسبة لنفس التغير في درجة الحرارة، فقد امتص الماء خمسة أضعاف مقدار الحرارة التي امتصتها الكتلة الخرسانية.

حساب الطاقة المنطلقة يمكن للمواد امتصاص الطاقة وإطلاقها على حد سواء. يمكن استخدام المعادلة السابقة نفسها لحساب الطاقة التي تطلقها المواد عندما تبرد. افترض أن قطعة خرسانية كتلتها 5.00×10^3 g وصلت إلى درجة حرارة 74.0°C خلال يوم مشمس وانخفضت درجة حرارتها إلى 40.0°C ليلًا. فكم كمية الحرارة التي تم تحريرها؟ احسب أولًا ΔT.

$$\Delta T = 40.0^\circ\text{C} - 74.0^\circ\text{C} = -34.0^\circ\text{C}$$

ثم، استخدم المعادلة لحساب كمية الحرارة.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

$$q_{\text{خرسانة}} = \frac{0.84\ \text{J}}{(\text{g}\cdot\cancel{^\circ\text{C}})} \times (5.00 \times 10^3\ \cancel{\text{g}}) \times -34.0\cancel{^\circ\text{C}} = -140{,}000\ \text{J}\ \text{أو}\ -140\ \text{kJ}$$

الإشارة السالبة في الإجابة النهائية تدل على أن الطاقة منطلقة

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مثال 2

حساب الحرارة النوعية عند بناء الجسور وناطحات السحب، يجب ترك فراغات بين الدعامات الفولاذية المتجاورة للسماح بتمدد وانكماش الفلز بسبب الحرارة والبرودة. تغيرت درجة حرارة عينة من الحديد تبلغ كتلتها 10.0 g من 50.4°C إلى 25.0°C ونتج 114 J-. فما الحرارة النوعية للحديد؟

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت كتلة العينة، ودرجة الحرارة الابتدائية والنهائية، وكمية الطاقة الناتجة. يمكنك حساب الحرارة النوعيةللحديد من خلال إعادة ترتيب المعادلة التي تربط هذه المتغيرات مع بعضها البعض لتصل إلى c.

معلوم

الطاقة الناتجة = -114 J
كتلة الحديد Fe = 10.0 g
$T_i = 50.4°C$
$T_f = 25.0°C$

المجهول

الحرارة النوعية للحديد c = ? J/(g•°C)

2 حساب المجهول

احسب ΔT.

$$\Delta T = 25.0°C - 50.4°C = -25.4°C$$

اكتب معادلة حساب كمية الحرارة.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

عدل المعادلة لإيجاد c

$$\frac{c \times \cancel{m} \times \cancel{\Delta T}}{\cancel{m} \times \cancel{\Delta T}} = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

عوض q =114 J, m = 10.0 g, ΔT = 25.4°C.

$$c = \frac{-114\ J}{(10.0\ g)(-25.4°C)}$$

$$c = 0.449\ J/(g•°C)$$

3 تقييم الإجابة

تتكون القيم المستخدمة في الحساب من ثلاثة أرقام معنوية، لذا فإن الجواب سيتكون بشكل صحيح من ثلاثة أرقام. تبلغ قيمة مقام الكسر في هذه المعادلة تقريبًا ضعف قيمة البسط، لذا فإن النتيجة النهائية والتي تبلغ 0.5 تعتبر نتيجة معقولة. القيمة المحسوبة هي نفس القيمة المُسجلة للحديد في **جدول 2**.

تطبيقات

4. إذا زادت درجة حرارة كتلة من الإيثانول مقدارها 34.4 g من 25.0°C إلى 78.8°C، فما كمية الحرارة التي امتصها الإيثانول؟ انظر **جدول 2**.
5. تم تسخين عينة كتلتها 155 g من مادة غير معلومة من 25.0°C إلى 40.0°C. وامتصت هذه المادة خلال العملية 5696 J من الطاقة. فما الحرارة النوعية لهذه المادة؟ تعرّف على هذه المادة من بين تلك المواد المُدرجة في **جدول 2**.
6. **تحدي** امتصت كتلة صلبة مقدارها 4.50 g من الذهب الخالص 276 J من الحرارة. كانت درجة الحرارة الابتدائية 25.0°C. فما درجة الحرارة النهائية؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

■ **الشكل 4** تمتص كل خلية كهروضوئية على هذه اللوحة أشعة الشمس وتحولها إلى كهرباء بهدوء وبدون إحداث تلوث.

استخدام طاقة الشمس نظرًا لارتفاع الحرارة النوعية للماء، فإنه يُستخدم أحيانًا للاستفادة من طاقة الشمس. فبعد تسخين الماء بواسطة الأشعة الشمسية، يمكن توزيع الماء الساخن على المنازل والشركات لتوفير الحرارة والدفء. يمكن لأشعة الشمس توفير جميع احتياجات العالم من الطاقة وهذا يقلل من استهلاك الوقود مما يخفض إنتاج ثاني أكسيد الكربون، ولكن هناك عدة عوامل أدت إلى تأخر تطوير تكنولوجيا الطاقة الشمسية. على سبيل المثال، فترة سطوع الشمس محدودة يوميًا. وفي بعض الأماكن، غالبًا ما تُقلل السحب كمية الأشعة المتوفرة. وبسبب هذه المتغيرات، تعتبر الوسائل الفعالة لتخزين الطاقة وسائل صعبة.

هناك منهج أكثر تفاؤلًا لاستخدام الطاقة الشمسية والذي يتمثل في تطوير الخلايا الكهروضوئية، كتلك الموضحة في **الشكل 4**. تُحول هذه الخلايا أشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء. تمد الخلايا الكهروضوئية رواد الفضاء بالطاقة، ولكن لا يتم استخدامها على نطاق واسع لتلبية احتياجات الطاقة العادية. يرجع ذلك لارتفاع تكلفة توفير الكهرباء عن طريق الخلايا الكهروضوئية مقارنةً بتكلفتها عند حرق الفحم أو النفط.

القسم 1 مراجعة

ملخص القسم

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج الحرارة.
- طاقة الوضع الكيميائية هي طاقة مخزنة في الروابط الكيميائية للمادة نتيجة ترتيب الذرات والجسيمات.
- يتم تحرير طاقة الوضع الكيميائية أو امتصاصها خلال العمليات أو التفاعلات الكيميائية.

7. الفكرة **الرئيسة** **فسِّر** كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعلات الطاردة. وفي التفاعلات الماصة للحرارة.
8. **ميِّز** بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الأمثلة التالية: مغناطيسين منفصلين؛ انهيار ثلجي؛ كُتب على أرفف المكتبة؛ جدول مائي جبلي؛ سباق سيارات.
9. **وضِّح** كيف يرتبط ضوء الشمعة المحترقة وحرارتها بطاقة الوضع الكيميائية.
10. **احسب** مقدار الحرارة التي يتم امتصاصها عندما يتم تسخين 5.50 g من الألمنيوم من درجة حرارة 25.0°C إلى 95.0°C. تبلغ الحرارة النوعية للألمنيوم 0.897 J/(g•°C).
11. **فسِّر البيانات** تم ترك كتل متساوية من الألمنيوم، والذهب، والحديد، والفضة في الشمس في نفس الوقت ولنفس المدة الزمنية. استخدم **جدول 2** لترتيب الفلزات الأربعة وفقًا لزيادة درجة حرارتهم من الأعلى إلى الأقل.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 2

الحرارة

الفكرة **الرئيسة** التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما هو التغير في المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه التغير في المحتوى الحراري للمتفاعلات.

الأسئلة الرئيسة

- كيف يستخدم المُسعِّر لقياس الطاقة التي يتم امتصاصها أو فقدها؟
- ما المقصود بالمحتوى الحراري والتغير في المحتوى الحراري في التفاعلات والعمليات الكيميائية؟

مراجعة المفردات

الضغط pressure: القوة المُطبقة على وحدة المساحة

المفردات الجديدة

المُسعِّر (كالوريمتر)	calorimeter
الكيمياء الحرارية	thermochemistry
النظام	system
المحيط	surroundings
الكون	universe
المحتوى الحراري	enthalpy
المحتوى الحراري للتفاعل (حرارة التفاعل)	enthalpy (heat) of reaction

الكيمياء في حياتك

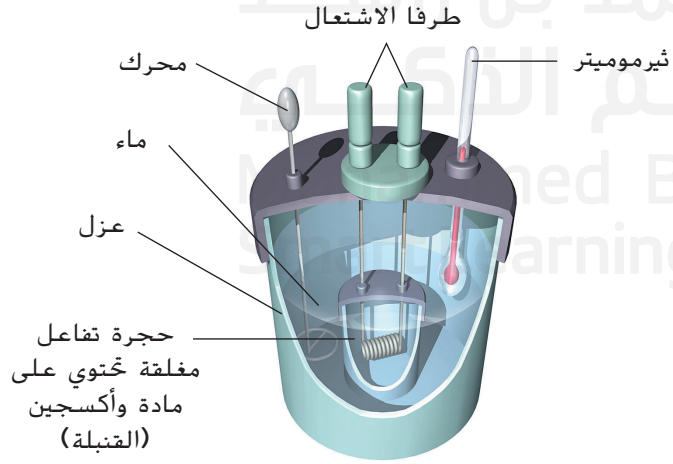
فكّر في الوقوف تحت دش ساخن والاسترخاء بينما يمتص جسمك الحرارة من الماء. عندما تقفز في بركة باردة، قد ترتعش حيث يفقد جسمك حرارته. وبالطريقة نفسها، تمتص بعض التفاعلات الكيميائية الحرارة بينما تُطلقها الأخرى.

قياس الحرارة

هل تساءلت يومًا كيف يحصل كيميائيو التغذية على المعلومات الخاصة بالسعرات الحرارية المكتوبة على الأغذية المُعلبة؟ يُكتب على العبوات نتائج تفاعلات الاحتراق التي تم تنفيذها في المُسعِّرات. **المُسعِّر** هو جهاز معزول يُستخدم لقياس كمية الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها أثناء العملية الكيميائية أو الفيزيائية. يتم وضع كمية معلومة من الماء في حجرة معزولة لامتصاص الطاقة الناتجة عن نظام التفاعل أو لتوفير الطاقة التي يمتصها النظام. تتمثل البيانات التي سيتم جمعها في تغير درجة حرارة كمية الماء. **الشكل 5** يوضح نوع من أنواع المُسعِّرات. والذي يُطلق عليه، مسعر احتراق، والذي يستخدمه كيميائيو التغذية.

تحديد الحرارة النوعية يمكنك الحصول على نتائج مرضية في تجاربك التي تُجريها لقياس الحرارة وذلك باستخدام مسعر مصنوع من كوب بلاستيك رغوي والذي يعتبر أكثر الأجهزة بساطة من حيث استخدامه. تتميز المُسعِّرات هذه بأنها تعمل في الهواء الطلق، لذا، فإن جميع التفاعلات التي تحدث بداخلها تحدث تحت ضغط ثابت. يمكنك استخدام هذه الأجهزة لتحديد الحرارة النوعية لفلز غير معلوم.

افترض أنك وضعت 125 g من الماء في الكوب البلاستيكي الرغوي ووجدت أن درجة حرارته 25.60°C. ثم سخنت عينة كتلتها 50.0 g من فلز غير معلوم إلى 115.0°C ثم وضعتها في الماء. تنتقل الحرارة من الفلز الساخن إلى الماء البارد، وترتفع درجة حرارة الماء. يتوقف انتقال الحرارة فقط عندما تصبح درجة حرارة الفلز والماء متساويتين.



مسعر احتراق

■ **الشكل 5** توضع العينة في حجرة داخلية فولاذية تُسمى القنبلة، والتي تكون مملوءة بالأكسجين تحت ضغط عال. يُحيط بالقنبلة كمية محددة من الماء والذي يحركه محرك منخفض الاحتكاك لضمان درجة حرارة موحدة. يبدأ التفاعل بشرارة، ويتم تسجيل درجة الحرارة حتى تصل إلى حدها الأقصى.
استنتج ما سبب أهمية عدم توليد المحرك لأي احتكاك؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

■ **الشكل 6 a.** سجلت درجة حرارة ابتدائية 25.60°C لمقدار 125 g من الماء بالمُسعِّر **b.** تم تسخين عينة كتلتها 50.0 g من فلز غير معلوم إلى درجة حرارة 115.0°C وتم وضعها في المُسعِّر **c.** تنتقل الحرارة من الفلز إلى الماء حتى يصبح كلاهما بنفس درجة الحرارة. تبلغ درجة الحرارة النهائية 29.30°C.

الشكل 6 يوضح إجراء التجربة. لاحظ أن درجة الحرارة في المُسعِّر أصبحت ثابتة عند 29.30°C، وهي درجة الحرارة النهائية لكل من الماء والفلز. بافتراض عدم فقدان أي حرارة وانتقالها للوسط المحيط، فإن مقدار الحرارة التي اكتسبها الماء مساوية لمقدار الحرارة التي فقدها الفلز. يمكن حساب كمية الحرارة باستخدام المعادلة التي تعلمتها في القسم 1.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

التحقق من فهم النص **عرّف** المتغيرات الأربعة في المعادلة أعلاه.

أولًا، احسب الحرارة التي اكتسبها الماء. للقيام بذلك، تحتاج إلى معرفة الحرارة النوعية للماء 4.184 J/(g·°C).

$$q_{\text{ماء}} = 4.184\text{J/(g·°C)} \times 125\text{ g} \times (29.30\text{°C} - 25.60\text{°C})$$
$$q_{\text{ماء}} = 4.184\text{J/(g·°C)} \times 125\,\text{g} \times 3.70\text{°C}$$
$$q_{\text{ماء}} = 1940\text{J}$$

تساوي الحرارة التي اكتسبها الماء والتي تبلغ 1940 J والحرارة التي فقدها الفلز ($q_{\text{فلز}}$)؛ لذا يمكنك كتابة هذه المعادلة.

$$q_{\text{فلز}} = -q_{\text{ماء}}$$
$$q_{\text{فلز}} = -1940\text{J}$$
$$c_{\text{فلز}} \times m \times \Delta T = -1940\text{J}$$

الآن عدل في المعادلة لإيجاد الحرارة النوعية للفلز.

$$c_{\text{فلز}} = \frac{-1940\text{ J}}{m \times \Delta T}$$

التغير في درجة حرارة الفلز ΔT هي الفرق بين درجة الحرارة النهائية للماء ودرجة الحرارة الابتدائية للفلز ($29.30\text{°C} - 115.0\text{°C} = -85.7\text{°C}$). عوض في المعادلة وأوجد الحل.

$$c_{\text{فلز}} = \frac{-1940\text{ J}}{(50.0\text{ g})(-85.7\text{°C})} = 0.453\text{ J/(g·°C)}$$

الحرارة النوعية للفلز غير المعلوم 0.453 J/(g·°C). **جدول 2** يوضح أن الفلز قد يكون الحديد.

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed Bin Rashid Smart Learning Program

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 3

استخدم الحرارة النوعية تمتص قطعة فلزية كتلتها 4.68 g كمية من الحرارة مقدارها 256J عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار 182°C. فما هي الحرارة النوعية لهذا الفلز؟ هل يمكن أن يكون هذا الفلز أحد الفلزات القلوية الأرضية المدرجة في **جدول 2**؟

1 تحليل المسألة

لقد تم إعطائك كتلة الفلز، وكمية الحرارة التى امتصها، والتغير في درجة الحرارة. يجب عليك حساب الحرارة النوعية. استخدم المعادلة لحساب q كمية الحرارة، ولكن عليك إيجاد الحرارة النوعية c.

معلوم

كتلة الفلز $m = 4.68\ g$

كمية الحرارة التي تم امتصاصها $q = 256\ J$

$\Delta T = 182°C$

مجهول

الحرارة النوعية $c = ?\ J/(g \cdot °C)$

2 إيجاد القيمة المجهولة

اكتب المعادلة الخاصة بكمية الحرارة q.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

أوجد قيمة c.

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

عوض $q = 256\ J$, $m = 4.68\ g$, $\Delta T = 182°C$.

$$c = \frac{256\ J}{(4.68\ g)(182°C)} = 0.301\ J/(g \cdot °C)$$

يوضح الجدول 2 أن الفلز قد يكون السترونشيوم.

3 تقييم الإجابة

تتكون الكميات الثلاثة المستخدمة في الحساب من ثلاثة أرقام معنوية، لذا فإن الجواب سيتكون بشكل صحيح من ثلاثة أرقام. الحسابات صحيحة وتعطي الوحدة المتوقعة.

تطبيقات

12. امتصت عينة من فلز غير معلوم كتلتها 90.0 g كمية من الحرارة مقدارها 25.6 J وارتفعت درجة حرارتها بمقدار 1.18°C. فما الحرارة النوعية لهذا الفلز؟
13. ارتفعت درجة حرارة عينة الماء من 20.0°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟
14. ما كمية الطاقة التي تكتسبها صخرة من الجرانيت كتلتها 2.00×10^3 g ($c_{\text{الجرانيت}} = 0.803\ J/(g \cdot °C)$) عندما تتغير درجة حرارتها من 10.0°C إلى 29.0°C؟
15. **تحدي** إذا فقد 335 g من الماء درجة حرارته 65.5°C، كمية من الحرارة مقدارها 9750 J. فما درجة حرارة الماء النهائية؟

الطاقة الكيميائية والكون

علميًا، إن أي تفاعل كيميائي وتغير في الحالة الفيزيائية إما أن يطلق أو يمتص حرارة.

الكيمياء الحرارية هي دراسة التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية وللتغيرات في الحالة الفيزيائية. يولد حرق الوقود دائمًا حرارة. تم تصميم بعض المنتجات لإنتاج حرارة وفقًا للطلب. على سبيل المثال، يستخدم الجنود في الميدان تفاعل طارد للحرارة لتسخين وجباتهم. ربما تكون قد استخدمت كمادة ساخنة لتسخين يديك في يوم بارد. تصدر الحرارة المنبعثة من الكمادة الساخنة نتيجة للتفاعل التالي والتي تظهر في المعادلة كأحد النواتج.

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) + 1625\ kJ$$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تجربة مُصغّرة

قياس الحرارة النوعية

كيف يمكنك تحديد الحرارة النوعية لفلز؟ يمكنك استخدام كوب القهوة المصنوع من البلاستيك الرغوي كمسعر لتحديد الحرارة النوعية لفلز.

الإجراء

1. اقرأ تعليمات السلامة الخاصة بهذه التجربة قبل البدء في العمل.
2. ارسم جدول لتسجيل بياناتك.
3. ضع حوالي 150 mL من **الماء المقطر** في كأس سعة 250 mL. ضع الكأس على **سخان كهربائي**.
4. استخدم **ميزان** لتحديد كتلة **قطعة الفلز**.
5. باستخدام **ملقط** ضع قطعة الفلز بحذر في الكأس الموجود فوق السخان.
6. قس 90.0 mL من الماء المقطر باستخدام **مخبار مدرج**.
7. صب الماء في **كوب القهوة** الموجود داخل **كأس آخر سعته 250 mL**.
8. قس وسجل درجة حرارة الماء باستخدام **ثيرموميتر غير زئبقي**.
9. عندما يبدأ الماء الموضوع فوق السخان الكهربائي بالغليان، قس وسجل درجة الحرارة باعتبارها درجة الحرارة الابتدائية للفلز.
10. ضع بحرص شديد الفلز الساخن في الماء البارد الموجود بكوب القهوة باستخدام ملقط البوتقة. لا تلمس الفلز الساخن بيدك.
11. حرك، وقس درجة الحرارة النهائية للماء بعد وضع الفلز.

التحليل

1. **احسب** مقدار الحرارة التي امتصها الماء. الحرارة النوعية للماء H_2O هي 4.184 J/g•°C لأن كثافة الماء تبلغ 1.0 g/mL. استخدم كمية الماء باعتبارها الكتلة.
2. **احسب** الحرارة النوعية للفلز الخاص بك. افترض أن الحرارة التي امتصها الماء تساوي الحرارة التي فقدها الفلز.
3. **قارن** هذه القيمة التجريبية بالقيمة الصحيحة للحرارة النوعية للفلز الخاص بك.
4. **صف** مصادر الخطأ الرئيسة في هذه التجربة. ما التعديلات التي يمكنك تنفيذها في هذه التجربة لتقليل الخطأ؟

نظرًا لأنك مهتم بالحرارة المنبعثة من التفاعل الكيميائي والتي تمتصها الكمادة، فمن المناسب أن تفكر بالكمادة ومحتوياتها باعتبارها النظام. في الكيمياء الحرارية يعتبر **النظام** هو الجزء المعين من الكون الذي يشمل التفاعل أو العملية التي ترغب في دراستها. يعتبر كل شيء في الكون بخلاف النظام **المحيط**. لذا يُعَرف **الكون** بأنه النظام مع المحيط.

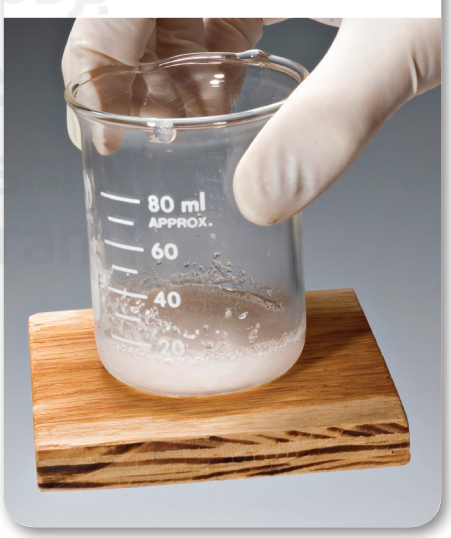
الكون = النظام + المحيط

ما نوع انتقال الطاقة الذي يحدث خلال التفاعل الطارد في الكمادة الساخنة؟ تنتقل الحرارة الناتجة عن التفاعل من الكمادة الساخنة (نظام التفاعل) إلى يديك الباردتين (جزء من المحيط).

ماذا يحدث خلال العملية أو التفاعل الماص للحرارة؟ ينعكس انتقال الحرارة. تنتقل الحرارة من المحيط إلى النظام. عندما يتم وضع هيدروكسيد الباريوم وبلورات ثيوسيانات الأمونيوم، كما هو موضح في **الشكل 7** في الكأس ويتم خلطهما معًا، يحدث تفاعل ماص للحرارة. يسمح وضع الكأس على لوح رطب بانتقال الحرارة من الماء واللوح (المحيط) إلى الكأس (النظام). يعتبر التغير في درجة الحرارة كبير حيث يؤدي إلى التصاق الكأس على اللوح بسبب تجمد الماء الموجود بين أسفل الكأس واللوح.

المحتوى الحراري وتغير المحتوى الحراري يعتمد إجمالي ما تحتويه المادة من الطاقة على عدة عوامل والتي لا يزال بعضها غير مفهومًا تمامًا. لذا، بات مستحيلًا معرفة محتوى الطاقة الإجمالي للمادة. اهتم الكيميائيون بتغيرات الطاقة التي تحدث خلال التفاعلات أكثر من اهتمامهم بكميات الطاقة الموجودة في المواد المتفاعلة والمواد الناتجة.

■ **الشكل 7** يمتص خليط التفاعل، خلال هذا التفاعل الماص للحرارة، طاقة كافية من الماء الموجود على السطح الرطب مما يؤدي إلى تجمده فيلتصق الكأس باللوح.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

يمكن قياس الحرارة المفقودة أو المكتسبة، في تفاعلات كثيرة، بشكل ملائم بالمُسعِّر عند ضغط ثابت، كما هو موضح في التجربة المعروضة في **الشكل 6.** كوب البلاستيك الرغوي ليس مغلقًا، لذا فإن الضغط ثابت. تحدث تفاعلات كثيرة تحت ضغط ثابت؛ على سبيل المثال، تلك التفاعلات التي تحدث داخل الكائنات الحية على سطح الأرض، وفي البحيرات والمحيطات، وكتلك التي تحدث في الكؤوس والدوارق المفتوحة في المختبر. يُرمَز للطاقة المنطلقة أو الناتجة عن التفاعل الذي حدث عند ضغط ثابت في بعض الأحيان بالرمز q_p. لقياس ودراسة تغيرات الطاقة المصاحبة للتفاعلات بسهولة، فقد عرَّف الكيميائيون خاصية تُسمى بالمحتوى الحراري. **المحتوى الحراري** (H) هو المحتوى الحراري لنظام ما عند ضغط ثابت.

بالرغم من عدم قدرتك على قياس الطاقة الفعلية أو المحتوى الحراري الفعلي للمادة، إلا أنه بوسعك قياس التغير الذي يطرأ على المحتوى الحراري وهو الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها خلال التفاعل الكيميائي. يُطلق على التغير في المحتوى الحراري للتفاعل **المحتوى الحراري للتفاعل (حرارة التفاعل)** (ΔH_{rxn}). لقد تعلمت بالفعل أن الرمز الذي يسبقه الحرف اليوناني (Δ) يُقصد به التغير في الخاصية. لذلك، فإن ΔH_{rxn} هو الفرق بين المحتوى الحراري للمواد التي توجد في نهاية التفاعل والمحتوى الحراري للمواد الموجودة في بداية التفاعل.

$$\Delta H_{rxn} = H_{final} - H_{initial}$$

ولأن المواد المتفاعلة موجودة في بداية التفاعل والمواد الناتجة موجودة في نهاية التفاعل تصبح المعادلة.

$$\Delta H_{rxn} = H_{products} - H_{reactants}$$

إشارة المحتوى الحراري للتفاعل تذكَّر تفاعل الكمادة الساخنة.

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) + 1625\ kJ$$

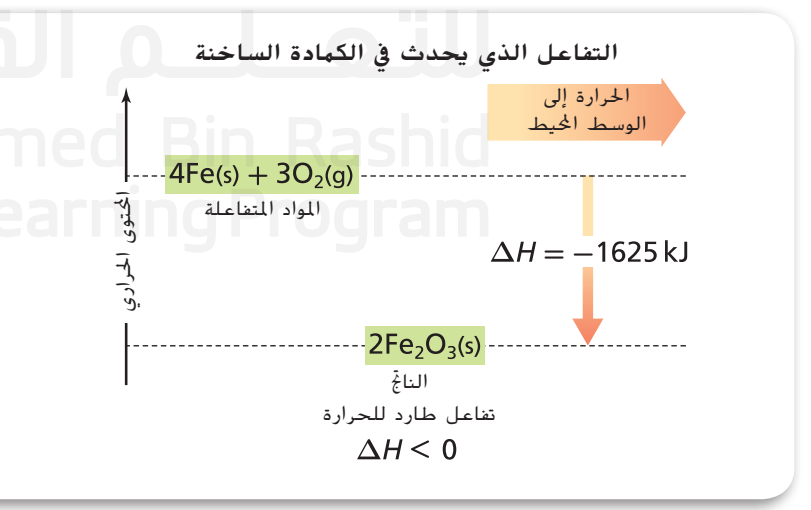
طبقًا للمعادلة، تفقد المواد المتفاعلة في هذا التفاعل الطارد للحرارة حرارتها فتكون H المواد الناتجة $>$ H المواد المتفاعلة. عندما يتم طرح H المواد المتفاعلة من H المواد الناتجة الأصغر نحصل على قيمة سالبة لـ ΔH_{rxn}. التغيرات الحرارية في التفاعلات الطاردة للحرارة دائمًا سالبة. تُكتب معادلة تفاعل الكمادة الساخنة وتغيرها الحراري عادةً على النحو التالي.

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s)\ \Delta H_{rxn} = -1625\ kJ$$

تم عرض رسم بياني للتغير في المحتوى الحراري في **الشكل 8.**

مهن في الكيمياء

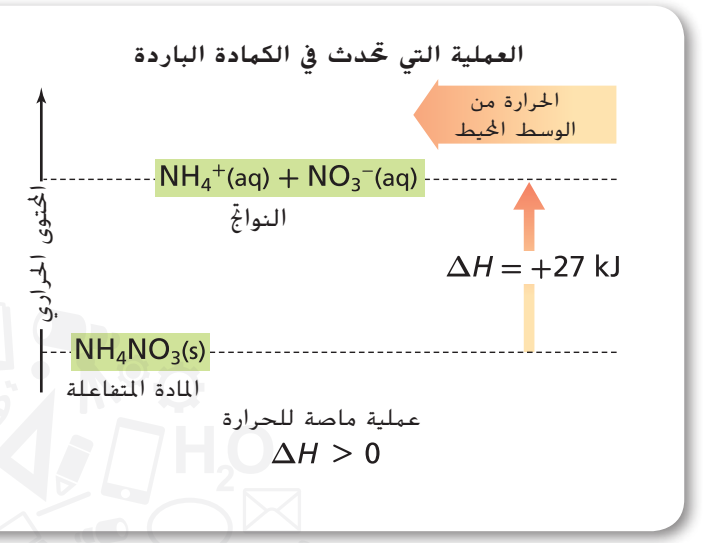
أخصائيو التدفئة والتبريد يقوم ميكانيكيو أنظمة التدفئة والتبريد بتركيب وصيانة وإصلاح أجهزة أنظمة التدفئة والتبريد كالثلاجات ومعدات التدفئة في المنازل والمصانع. يجب أن يكونوا على دراية بكيفية تغير الحرارة عن طريق العمليات الماصة والطاردة للحرارة. يجب أن يكونوا قادرين على قراءة المخططات واستخدام مجموعة كبيرة من الأدوات، بدءًا من قواطع الأنابيب وصولًا إلى أجهزة التشخيص الإلكترونية. قد يتخصص الميكانيكي في جانب واحد من هذا المجال، أو يكون خبيرًا في جميع المجالات.



■ **الشكل 8** يشير السهم المتجه نحو الأسفل إلى أنه تم تحرير (انطلاق) 1625 kJ من الحرارة إلى المحيط في التفاعل الذي حدث بين الحديد والأكسجين. توفر الكمادة الساخنة التي تستخدم هذا التفاعل الطاقة لتدفئة اليدين الباردتين.

فسِّر كيف يوضح الرسم البياني أن هذا التفاعل طارد للحرارة.

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed Bin Rashid Learning Program
McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



■ **الشكل 9** يشيرالسهم المتجه نحو الأعلى إلى أنه قد تم امتصاص 27 kJ من الحرارة من المحيط خلال عملية إذابة NH_4NO_3. يُعد هذا التفاعل أساس الكمادة الباردة. عندما تُوضع الكمادة الباردة على ساق شخص، يُصدر ساقه الحرارة اللازمة ويبرد نفسه.

حدد كمية الطاقة التي تمتصها نيترات الأمونيوم عند تنشيط الكمادة الباردة؟

الآن، تذكر عملية الكمادة الباردة.

$$27\ kJ + NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq)$$

بالنسبة للتفاعل الماص للحرارة $H_{products} > H_{reactants}$. لذلك، عندما يتم طرح $H_{reactants}$ من $H_{products}$ يتم تحقيق نتيجة موجبة لـ ΔH_{rxn}. يكتب الكيميائيون معادلة عملية الكمادة الباردة وتغير محتواها الحراري بالطريقة التالية:

$$NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq) \quad \Delta H_{rxn} = 27\ kJ$$

الشكل 9 يوضح التغير في الطاقة لعملية الكمادة الباردة. المحتوى الحراري للنواتج في هذه العملية أكبر بمقدار 27kJ من المحتوى الحراري للمادة المتفاعلة حيث تم امتصاص الطاقة. لذلك، فإن إشارة ΔH_{rxn} لهذا التفاعل وغيره من التفاعلات والعمليات الأخرى الماصة للحرارة تكون موجبة. تذكر أن إشارة ΔH_{rxn} لجميع التفاعلات الطاردة للحرارة تكون سالبة.

التغير في المحتوى الحراري ΔH يعادل الحرارة المكتسبة أو المفقودة q_p خلال التفاعل أو العملية التي تمت تحت ضغط ثابت. نظرًا لأن جميع التفاعلات الواردة في هذا الكتاب قد تمت تحت ضغط ثابت، يمكنك القول بأن $q = \Delta H_{rxn}$.

القسم 2 مراجعة

ملخص القسم

- يُعرّف الكون، في الكيمياء الحرارية، بأنه النظام مع المحيط.
- تُسمى الحرارة المكتسبة أو المفقودة خلال التفاعل الكيميائي أو العملية التي تمت تحت ضغط ثابت التغير في المحتوى الحراري(ΔH).
- عندما تكون ΔH موجبة، يكون التفاعل ماص للحرارة. عندما تكون ΔH سالبة، يكون التفاعل طاردًا للحرارة.

16. الفكرة **الرئيسة صِف** كيف يمكنك حساب مقدار الحرارة الذي تم اكتسابه أو فقدانه عند تغير درجة حرارة المادة.
17. **فسِّر** لماذا ΔH تكون للتفاعل الطارد للحرارة دائمًا قيمة سالبة؟
18. **فسِّر** لماذا يعتبر مقدار الماء المحدد جزء أساسي من المُسعِّر؟
19. **فسِّر** سبب وجوب معرفة الحرارة النوعية للمادة كي تتمكن من حساب الحرارة المكتسبة أو المفقودة نتيجة لتغير درجة حرارة المادة.
20. **صف** ماذا يُقصد بالنظام في الديناميكا الحرارية، وما العلاقة بين النظام والمحيط والكون.
21. **احسب** الحرارة النوعية J/(g•°C) لمادة غير معلومة إذا كانت عينة كتلتها 2.50 g تحرر طاقة مقدارها 12.0 cal عندما تتغير درجة حرارتها من 25.0°C إلى 20.0°C.
22. **صمّم تجربة** صف الخطوات التي يمكنك اتباعها لتحديد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 45 g.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

القسم 3

المعادلات الكيميائية الحرارية

الفكرة الرئيسة تُعبر المعادلات إطلاقها الحرارية عن مقدار الطاقة التي يتم امتصاصها أو تحريرها خلال التفاعلات الكيميائية.

الأسئلة الرئيسة

- كيف تُكتب المعادلات الكيميائية الحرارية للتفاعلات الكيميائية وغيرها من العمليات الأخرى؟
- كيف يتم اكتساب الطاقة أو فقدها خلال تغيرات حالة المادة؟
- كيف يتم حساب كمية الحرارة التي تم اكتسابها أو إطلاقها خلال التفاعل الكيميائي؟

مراجعة المفردات

تفاعل الاحتراق combustion reaction: هو تفاعل كيميائي يحدث عند تفاعل المادة مع الأكسجين، ويصدر طاقة في صورة حرارة وضوء

المفردات الجديدة

المعادلة الكيميائية الحرارية
thermochemical equation

حرارة الاحتراق
enthalpy (heat) of combustion

الحرارة المولية للتبخير
molar enthalpy (heat) of vaporization

الحرارة المولية للانصهار
molar enthalpy (heat) of fusion

الكيمياء في حياتك

هل سبق لك أن شعرت بالإرهاق بعد ممارسة تمرين مُجهِد أو نشاط شاق؟ إذا شعرت كما لو كانت طاقة جسمك أقل مما كانت عليه قبل ممارسة هذا النشاط أو التمرين، فأنت على حق. يرتبط هذا الشعور بالتعب والإرهاق بتفاعلات الاحتراق التي تحدث في خلايا جسمك. هذا الاحتراق هو نفس الاحتراق الذي قد تلاحظه عند احتراق الوقود.

كتابة المعادلات الكيميائية الحرارية

يعتبر تغير الطاقة جزء هام من التفاعلات الكيميائية، لذا، يُدرج الكيميائيون ΔH كجزء من عدة تفاعلات كيميائية. يُطلق على معادلات الكمادة الساخنة والكمادة الباردة معادلات كيميائية حرارية عند كتابتها على النحو التالي:

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) \quad \Delta H = -1625 \text{ kJ}$$

$$NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq) \quad \Delta H = 27 \text{ kJ}$$

المعادلة الكيميائية الحرارية هي عبارة عن معادلة كيميائية موزونة تتضمن الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة والناتجة وتغير الطاقة، والذي يتم التعبير عنه عادة بالتغير في المحتوى الحراري ΔH.

ينتج عن احتراق الجلوكوز الطارد للحرارة في الجسم طاقة (عملية الأيض). تُكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الجلوكوز على النحو التالي:

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l) \quad \Delta H_{comb} = -2808 \text{ kJ}$$

حرارة الاحتراق (ΔH_{comb}) هي التغير في المحتوى الحراري عند الاحتراق الكامل لمول واحد من المادة. تم عرض حرارة الاحتراق القياسية للعديد من المواد في **الجدول 3**. يُرمز لتغيرات المحتوى الحراري القياسية بالرمز ΔH°. يُشير الصفر العلوي إلى تحديد التغيرات في المحتوى الحراري لجميع المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في ظل ظروف قياسية. تتمثل الظروف القياسية في ضغط 1 atm ودرجة حرارة 298 K (25°C) ويجب عدم الخلط بينها وبين الضغط ودرجة الحرارة القياسيين (STP).

الجدول 3 حرارة الاحتراق القياسية

المادة	الصيغة	ΔH°_{comb} (kJ/mol)
السكروز (سكر المائدة)	$C_{12}H_{22}O_{11}(s)$	−5644
الأوكتان (أحد مكونات الجازولين)	$C_8H_{18}(l)$	−5471
الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفاكهة)	$C_6H_{12}O_6(s)$	−2808
البروبان (وقود غازي)	$C_3H_8(g)$	−2219
الميثان (وقود غازي)	$CH_4(g)$	−891

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

الجدول 4 الحرارة المولية القياسية للتبخير والانصهار

المادة	الصيغة	ΔH°_{vap} (kJ/mol)	ΔH°_{fus} (kJ/mol)
الماء	H_2O	40.7	6.01
إيثانول	C_2H_5OH	38.6	4.94
الميثانول	CH_3OH	35.2	3.22
حمض الأسيتيك	CH_3COOH	23.4	11.7
الأمونيا	NH_3	23.3	5.66

تغيرات الحالة

هناك العديد من العمليات، غير التفاعلات الكيميائية، التي تمتص الحرارة أو تطلقها. على سبيل المثال، فكّر فيما يحدث عند خروجك من حمام ساخن. سوف ترتعش حيث يتبخر الماء من جلدك. يرجع هذا لأن جلدك يوفر الحرارة اللازمة لتبخر الماء.

وبينما تخرج الحرارة من جلدك لتبخير الماء، سوف تشعر بالبرودة. يُطلق على الحرارة اللازمة لتبخير مول واحد من السائل **الحرارة المولية للتبخير** (ΔH_{vap}). وبالمثل، إذا أردت كوبًا من الماء البارد، يمكنك وضع مكعب من الثلج بداخله. فيبرد الماء حيث أنه يوفر الحرارة اللازمة لانصهار الثلج. يُطلق على الحرارة اللازمة لانصهار مول واحد من المادة الصلبة **الحرارة المولية للانصهار** (ΔH_{fus}). ولأن عمليات تبخير السائل وصهر المادة الصلبة تعتبر عمليات ماصة للحرارة، فإن قيم ΔH لها تكون موجبة. تم عرض الحرارة المولية القياسية للتبخير والانصهار لخمسة مركبات شائعة في **الجدول 4**.

المعادلات الكيميائية الحرارية لتغيرات حالة المادة يمكن وصف تبخير الماء وانصهار الثلج بالمعادلات التالية:

$$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g) \qquad \Delta H_{vap} = 40.7\ kJ$$
$$H_2O(s) \rightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H_{fus} = 6.01\ kJ$$

تُشير المعادلة الأولى إلى أنه قد تم امتصاص 40.7 kJ من الطاقة عند تحويل مول واحد من الماء إلى مول واحد من بخار الماء. تُشير المعادلة الثانية إلى أنه تم امتصاص 6.01 kJ من الطاقة عند انصهار مول واحد من الثلج ليتحول إلى مول واحد من الماء السائل.

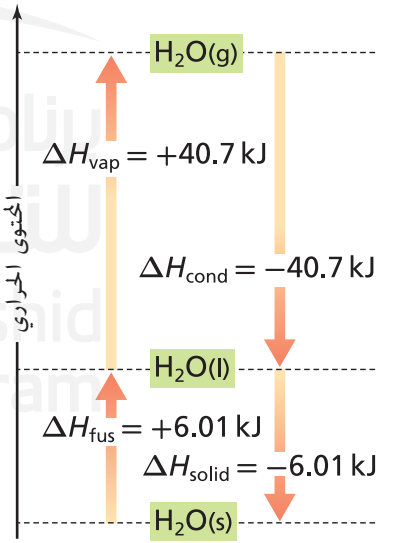
ما الذي يحدث في العمليات العكسية، عندما يتكثف بخار الماء ويتحول إلى ماء سائل أو يتجمد الماء السائل ويتحول إلى ثلج؟ يتم إطلاق نفس كميات الطاقة في هذه العمليات الطاردة للحرارة تمامًا كالتي يتم امتصاصها في العمليات الماصة للحرارة كالتبخير والانصهار. لذلك، تكون الحرارة المولية للتكثف (ΔH_{cond}) والحرارة المولية للتبخير نفس القيمة العددية ولكن مختلفة في الإشارة. وبالمثل، فإن الحرارة المولية للتجمد (ΔH_{solid}) تساوي القيمة العددية للحرارة المولية للانصهار ولكن مختلفة الإشارة.

$$\Delta H_{vap} = -\Delta H_{cond}$$
$$\Delta H_{fus} = -\Delta H_{solid}$$

تم توضيح العلاقات في **شكل 10**.

■ **الشكل 10** تُشير الأسهم المتجهة للأعلى إلى زيادة طاقة النظام عند انصهار الثلج ثم تبخره بعد ذلك. تُشير الأسهم المتجهة نحو الأسفل إلى انخفاض طاقة النظام عند تكثف بخار الماء ثم تجمده بعد ذلك.

تغيرات حالة الماء



McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

قارن بين معادلتي تكثف بخار الماء وتجمد الماء مع المعادلتين في الصفحة السابقة لتبخير الماء وانصهار الثلج.

$$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H_{cond} = -40.7 \text{ kJ}$$

$$H_2O(l) \rightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H_{solid} = -6.01 \text{ kJ}$$

يستفيد بعض المزارعين من حرارة انصهار الثلج لحماية الفواكه والخضراوات من التجمد. فإذا تنبأوا بانخفاض درجة الحرارة إلى حد التجمد، فإنهم يرشون بساتينهم وحقولهم بالماء. عندما يتجمد الماء، تنبعث الحرارة (ΔH_{fus}) وغالبًا ما تؤدي إلى تدفئة الهواء المحيط بما يكفي لمنع ضرر الصقيع. سوف ترسم منحنى تسخين الماء، في مختبر حل المسائل التالي، وتوضحه بكتابة درجات حرارة الانصهار والتبخير.

التحقق من فهم النص **صنّف** عمليات التكثف، والتجمد، والتبخير، والانصهار باعتبارهم عمليات طاردة أو ماصة للحرارة.

مختبر حل المشكلات

ارسم رسومًا بيانية واستخدمها

كيف يمكنك رسم منحنى تسخين؟ تمتاز جسيمات الماء بقوة تجاذبها لبعضها وذلك لأنها قطبية وتُكّون روابط هيدروجينية. بسبب قوة التجاذب بين جسيمات الماء تكون الحرارة النوعية للماء كبيرة وكذلك الحرارة المولية للتبخير والانصهار.

التحليل

استخدم البيانات المُسجلة بالجدول لرسم منحنى تسخين (درجة الحرارة مقابل الزمن) لعينة كتلتها 180 g من الماء والتي يتم تسخينها بمعدل ثابت ما بين درجة حرارة −20°C إلى 120°C. ارسم خط مناسب عبر النقاط. لاحظ الزمن اللازم لمرور الماء عبر كل جزء من أجزاء الرسم البياني.

التفكير الناقد

1. **حلِّل** كل منطقة من المناطق الخمس على الرسم البياني، والتي تتميز بتغير مفاجيء في الميل. وضح كيف يُغير امتصاص الحرارة طاقة (الحركة والوضع) لجسيمات الماء.
2. **احسب** كمية الحرارة اللازمة للمرور عبر كل منطقة من مناطق الرسم البياني، $180 \text{ g } H_2O = 10 \text{ mol } H_2O$, $\Delta H_{fus} = 6.01 \text{ kJ/mol}$, $\Delta H_{vap} = 40.7 \text{ kJ/mol}$, $c_{H_2O(s)} = 2.03 \text{ J/(g} \cdot \text{°C)}$, $c_{H_2O(\ell)} = 4.184 \text{ J/(g} \cdot \text{°C)}$, $c_{H_2O(g)} = 2.01 \text{ J/(g} \cdot \text{°C)}$. كيف يرتبط الزمن اللازم للمرور عبر كل منطقة بكمية الحرارة التي تم امتصاصها؟
3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى تسخين الإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند درجة حرارة −114°C ويغلي عند 78°C. ارسم منحنى تسخين الإيثانول من درجة حرارة −120°C إلى 90°C. ما العوامل التي تحدد أطوال المناطق المسطحة وميل المنحنى بين المناطق المسطحة؟

بيانات الزمن ودرجة الحرارة للماء

الزمن (min)	درجة الحرارة (°C)	الزمن (min)	درجة الحرارة (°C)
0.0	−20	13.0	100
1.0	0	14.0	100
2.0	0	15.0	100
3.0	9	16.0	100
4.0	26	17.0	100
5.0	42	18.0	100
6.0	58	19.0	100
7.0	71	20.0	100
8.0	83	21.0	100
9.0	92	22.0	100
10.0	98	23.0	100
11.0	100	24.0	100
12.0	100	25.0	100

McGraw-Hill Education © محفوظة لصالح مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم للمعرفة الذكية Mohammed Bin Rashid Smart Learning Foundation

مثال 4

الطاقة الناتجة عن التفاعل يعتبر مسعر الاحتراق مفيدًا في قياس الطاقة الناتجة عن تفاعلات الاحتراق. يتم إجراء التفاعل في حاوية ثابتة الحجم تحتوي أكسجين تحت ضغط عالي. ما كمية الحرارة الناتجة عند احتراق 54.0 g من الجلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) وفقًا لهذه المعادلة؟

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l) \quad \Delta H_{comb} = -2808 \text{ kJ}$$

1 تحليل المسألة

تم إعطائك كتلة الجلوكوز، ومعادلة احتراق الجلوكوز، و ΔH_{comb}. يجب عليك تحويل جرامات الجلوكوز إلى مولات جلوكوز نظرًا لأن الكتلة المولية للجلوكوز تزيد عن ثلاثة أضعاف كتلة الجلوكوز المحترقة، يمكنك التنبؤ بأن الطاقة الناتجة ستكون أقل من ثلث ΔH_{comb}.

معلوم

كتلة الجلوكوز $= 54.0 \text{ g } C_6H_{12}O_6$

$\Delta H_{comb} = -2808 \text{ kJ}$

مجهول

$q = ? \text{ kJ}$

2 حساب المجهول

حوّل جرامات $C_6H_{12}O_6$ إلى مولات $C_6H_{12}O_6$.

$$54.0 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180.18 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 0.300 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

اضرب في مقلوب الكتلة المولية $\frac{1 \text{ mol}}{180.18 \text{ g}}$.

اضرب مولات $C_6H_{12}O_6$ في حرارة الاحتراق ΔH_{comb}.

$$0.300 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{2808 \text{ kJ}}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} = 842 \text{ kJ}$$

اضرب مولات الجلوكوز في $\frac{2808 \text{ kJ}}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}$.

3 تقييم الإجابة

جميع القيم المستخدمة في الحساب لها ثلاثة أرقام معنوية لذا فإن الجواب سيتكون بشكل صحيح من ثلاثة أرقام. كما هو متوقع، فإن الحرارة الناتجة أقل من ثلث ΔH_{comb}.

تطبيقات

23. احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7 g من الميثانول الصلب عند درجة انصهاره.
استخدم **جدول 4.**

24. ما كمية الحرارة الناتجة عند تكثيف 275 g من غاز الأمونيا وتحويله إلى سائل عند درجة غليانه؟ استخدم **جدول 4** لتحديد ΔH_{cond}.

25. تحدي ما كتلة الميثان(CH_4) التي يجب حرقها لإنتاج 12,880 kJ من الحرارة؟ استخدم **جدول 3.**

الربط بعلم الأحياء عندما يتم احتراق مول واحد من الجلوكوز في مسعر الاحتراق، يتم إطلاق 2808 kJ من الحرارة. يتم إنتاج نفس هذا القدر من الطاقة داخل جسمك عندما تؤيَّض كتلة مساوية من الجلوكوز أثناء عملية التنفس الخلوي. تحدث هذه العملية في كل خلية من خلايا جسمك في سلسلة من مجموعة خطوات معقدة يتكسر خلالها الجلوكوز ويتم إطلاق الماء وثاني أكسيد الكربون. هذه هي نفس المواد الناتجة عن احتراق الجلوكوز في المُسعِّر. يتم تخزين الطاقة الناتجة باعتبارها طاقة وضع كيميائية في روابط جسيمات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). عندما يحتاج أي جزء من أجزاء الجسم للطاقة، تُطلق جسيمات ATP طاقتها.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

تفاعلات الاحتراق

الاحتراق هو تفاعل الوقود مع الأكسجين. في النظم البيولوجية، يعتبر الطعام هو الوقود. **الشكل 11** يبين بعض الأطعمة التي تحتوي على جلوكوز وكذلك بعض الأطعمة الأخرى التي تحتوي على الكربوهيدرات والتي يتم تحويلها بسهولة داخل جسمك إلى جلوكوز. وتعتمد أيضًا على تفاعلات احتراق أخرى والتي تحافظ على دفئك وبرودتك، والتي تنقلك في المَركبات. تتمثل إحدى الطرق التي تساعدك على تدفئة منزلك أو طهي طعامك في حرق غاز الميثان. يُنتج احتراق مول واحد من غاز الميثان 891 kJ طبقًا لهذه المعادلة.

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) + 891\ kJ$$

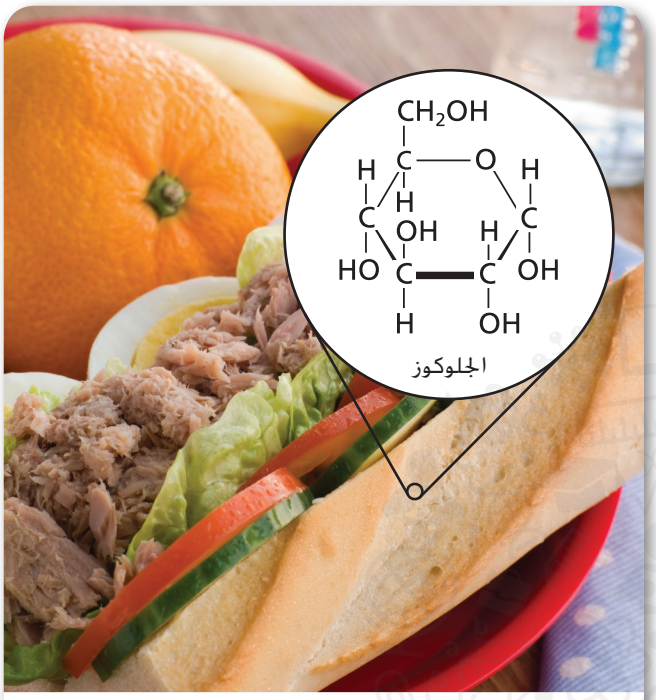
تعمل معظم المركبات كالسيارات، والطائرات، والقوارب، والشاحنات باحتراق الجازولين، والذي يتكون معظمه من الأوكتان (C_8H_{18}). **الجدول 3** يوضح أن احتراق مول واحد من الأوكتان ينتج 5471 kJ وتكتب معادلة احتراق الأوكتان على النحو التالي:

$$C_8H_{18}(l) + \frac{25}{2}O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(l) + 5471\ kJ$$

هناك تفاعل احتراق آخر وهو احتراق الهيدروجين.

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) + 286\ kJ$$

يوفر احتراق الهيدروجين الطاقة اللازمة لرفع المكوك في الفضاء، كما هو موضح في الصفحة الافتتاحية لهذه الوحدة.



■ **الشكل 11** تعتبر هذه الأطعمة وقودًا للجسم. إنها توفر الجلوكوز الذي يتم حرقه لإنتاج 2808 kJ/mol للقيام بأنشطة الحياة اليومية.

القسم 3 مراجعة

ملخص القسم

- تتضمن المعادلة الكيميائية الحرارية الحالات الفيزيائية للمواد المتفاعلة والناتجة كما تُحدد التغير في المحتوى الحراري.
- الحرارة المولية للتبخير ΔH_{vap} هو مقدار الطاقة اللازمة لتبخير مول واحد من السائل.
- الحرارة المولية للانصهار ΔH_{fus} هو مقدار الطاقة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

26. الفكرة **الرئيسة اكتب** معادلة كيميائية حرارية لاحتراق الإيثانول (C_2H_5OH) $\Delta H_{comb} = -1367\ kJ/mol$

27. **حدِّد** أي من العمليات التالية تعتبر طاردة للحرارة؟ وأيها ماصة للحرارة؟

a. $C_2H_5OH(l) \rightarrow C_2H_5OH(g)$

b. $Br_2(l) \rightarrow Br_2(s)$

c. $C_5H_{12}(g) + 8O_2(g) \rightarrow 5CO_2(g) + 6H_2O(l)$

d. $NH_3(g) \rightarrow NH_3(l)$

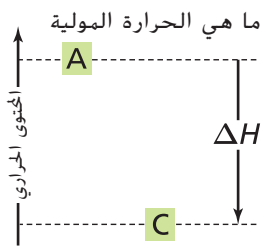
e. $NaCl(s) \rightarrow NaCl(l)$

28. **وضِّح** كيف يمكنك حساب الحرارة الناتجة عن تجمُّد 0.250 mol من الماء.

29. **احسب** ما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 206 g من غاز الهيدروجين؟ $\Delta H_{comb} = -286\ kJ/mol$

30. **طبِّق** الحرارة المولية لتبخير الأمونيا هي 23.3 kJ/mol. ما هي الحرارة المولية لتكثف الأمونيا؟

31. **فسِّر الرسوم العلمية** تم توضيح المحتوى الحراري للتفاعل A ⟶ C في الرسم البياني على اليسار. هل يعتبر التفاعل تفاعل ماص أم طارد للحرارة؟ فسر إجابتك.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 4

حساب التغير في المحتوى الحراري

الفكرة الرئيسة يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما باستخدام قانون هس.

الأسئلة الرئيسة

- كيف يتم تطبيق قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما؟
- ما أساس جدول حرارة التكوين القياسية؟
- كيف يتم حساب ΔH_{rxn} باستخدام المعادلات الكيميائية الحرارية؟
- ما التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما باستخدام بيانات حرارة التكوين القياسية؟

مراجعة المفردات

التآصل allotrope: ظاهرة وجود العنصر في أكثر من صورة يكون لها تراكيب بنائية وخصائص مختلفة حين تكون جميعها في نفس الحالة.

المفردات الجديدة

قانون هس Hess's law

حرارة التكوين القياسية standard enthalpy (heat) of formation

الكيمياء في حياتك

قد تكون شاهدت مسرحية من فصلين أو مسلسل تلفزيوني من جزأين. كل جزء يحكي جزء من القصة، ولكن يجب عليك مشاهدة الجزأين لفهم القصة كاملة. كما هو الحال في هذه المسرحية أو المسلسل فإن بعض التفاعلات تفهم بصورة أفضل حين تشاهدها على أنها مجموعة من تفاعلين بسيطين أو أكثر.

قانون هس

في بعض الأحيان يكون من المستحيل أو من غير العملي حساب ΔH في تفاعل ما باستخدام الكالوريميتر. يبين **الشكل 12**. تحويل الكربون من صورته التآصلية الماس، إلى صورته التآصلية الجرافيت.

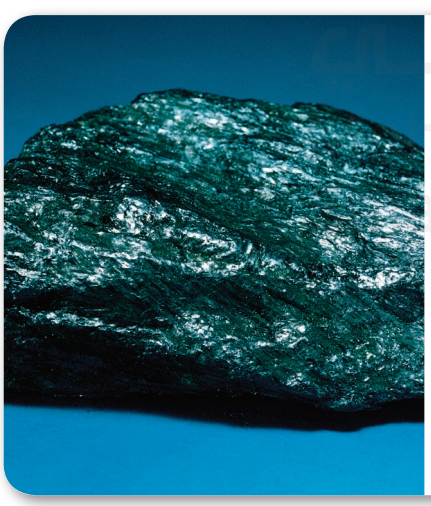
$$C(s, \text{ماس}) \rightarrow C(s, \text{جرافيت})$$

يحدث هذا التفاعل ببطء شديد بحيث يصبح حساب التغير في المحتوى الحراري مستحيلًا. تحدث تفاعلات أخرى في ظل ظروف يصعب تكرارها في المختبر. كما أن هناك تفاعلات أخرى ينتج عنها نواتج غير تلك المرغوب فيها. لهذا يستخدم الكيميائيون طريقة نظرية لحساب ΔH.

لنفترض أنك تدرس تكوين ثالث أكسيد الكبريت في الهواء الجوي. ستحتاج لحساب ΔH لهذا التفاعل.

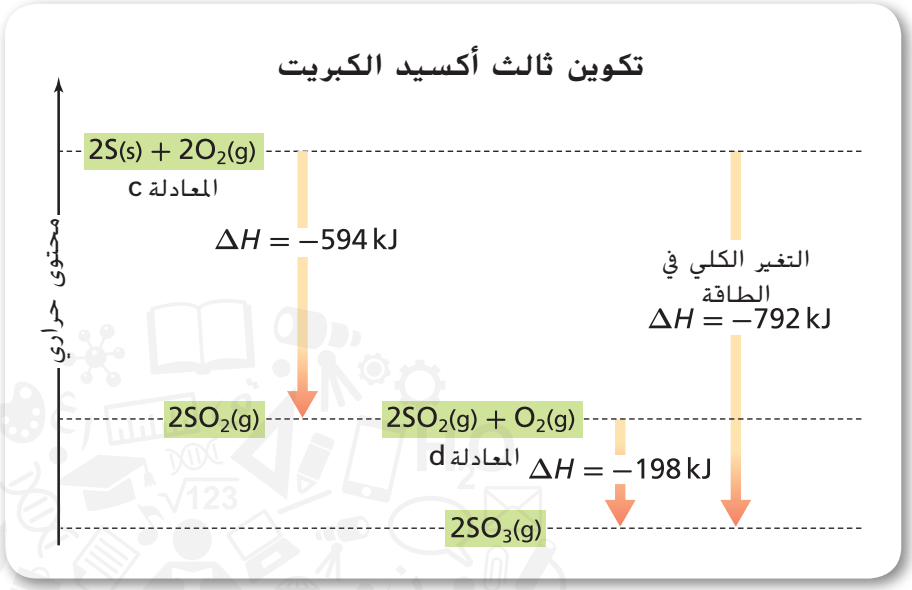
$$2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = ?$$

لسوء الحظ ينتج عن التجارب المعملية لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت وحساب ΔH مزيج من النواتج غالبًا ما تكون ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في مواقف مثل هذه. يمكنك حساب ΔH باستخدام قانون هس للجمع الحراري. **قانون هس** ينص على أنك إذا استطعت جمع معادلتين حراريتين أو أكثر لإنتاج معادلة نهائية للتفاعل فسيكون مجموع التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الفردية هو التغير في المحتوى الحراري للتفاعل النهائي.



■ **الشكل 12** إن عبارة "الماس يدوم للأبد" تشير إلى قوة ومتانة الماس وتوضح أن تحويل الماس إلى جرافيت يتم ببطء شديد بحيث سيكون من المستحيل قياس التغير في المحتوى الحراري.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



■ **الشكل 13** يشير السهم على اليسار إلى إنتاج 594 kJ عند تفاعل S مع O_2 لتشكل SO_2 (المعادلة **c**). يدل السهم الأوسط على أن SO_2 و O_2 يتفاعلان لتكوين SO_3 (المعادلة **d**) مع إنتاج 198kJ. التغيّر الكلي في الطاقة (مجموع العمليتين) موضح عن طريق السهم على اليمين.

احسب التغير في المحتوى الحراري عند انحلال SO_3 إلى S و O_2

تطبيق قانون هس كيف يمكن استخدام قانون هس لحساب التغير في الطاقة للتفاعل الذي ينتج عنه SO_3؟

$$2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = ?$$

الخطوة 1 وهناك حاجة إلى المعادلات الكيميائية التي تحتوي على المواد الموجودة في المعادلة المطلوبة ويكون التغير في المحتوى الحراري معلومًا. تحتوي المعادلات التالية على S و O_2 و SO_3.

a. $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g) \quad \Delta H = -297kJ$

b. $2SO_3(g) \rightarrow 2SO_2(g) + O_2(g) \quad \Delta H = 198kJ$

الخطوة 2 توضح المعادلة المطلوبة تفاعل مولين من الكبريت، لذا أعد كتابة المعادلة **a** لمولين من الكبريت عن طريق ضرب معاملاتها في 2. ضاعف التغير في المحتوى الحراري ΔH لأنه سيتم إطلاق ضعف الطاقة إذا تفاعل مولان من الكبريت. مع هذه التغيرات تصبح المعادلة **a** كالتالي (المعادلة **c**).

c. $2S(s) + 2O_2(g) \rightarrow 2SO_2(g) \quad \Delta H = 2(-297kJ) = -594kJ$

الخطوة 3 في المعادلة المطلوبة يكون ثالث أكسيد الكبريت ناتجًا وليس مادة متفاعلة، لذا قم بعكس المعادلة **b**. حين تقوم بعكس معادلة ما، يجب أن تغير إشارة ΔH الخاصة بها فتصبح المعادلة **b** هي المعادلة **d**.

d. $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = -198\ kJ$

الخطوة 4 اجمع المعادلتين **c** و **d** للحصول على التفاعل المطلوب واجمع القيم المطابقة ل ΔH.

$$2S(s) + 2O_2(g) \rightarrow 2SO_2(g) \qquad \Delta H = -594\ kJ$$
$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \qquad \Delta H = -198\ kJ$$
$$2\cancel{SO_2}(g) + 2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2\cancel{SO_2}(g) + 2SO_3(g) \quad \Delta H = -792\ kJ$$

تكون المعادلة الكيميائية الحرارية لحرق الكبريت وتكوين ثالث أكسيد الكبريت كالتالي:

$$2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = -792\ kJ$$

يوضح الشكل 13 التغيرات في الطاقة.

McGraw-Hill Education © محفوظة لصالح مؤسسة حقوق الطبع والتأليف

تكتب المعادلات الكيميائية الحرارية غالبًا ويتم وزنها لكل مول من الناتج. يعني هذا غالبًا أنه يجب استخدام المعاملات الكسرية. فعلى سبيل المثال، تكون المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل بين الكبريت والأكسجين لتكوين مول واحد من ثالث أكسيد الكبريت هي كالتالي:

$$S(s) + \frac{3}{2} O_2(g) \rightarrow SO_3(g) \quad \Delta H = -396 kJ$$

التحقق من فهم النص **قارن** المعادلة أعلاه بالمعادلة الكيميائية الحرارية للمواد نفسها الموجودة في الصفحة السابقة.

مثال 5

قانون هس استخدم المعادلات الكيميائية الحرارية a و b أدناه لحساب ΔH لتفكك بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وهو مركب له استخدامات متعددة تتراوح من تبييض الشعر وحتى تزويد مُحرِّكات الصواريخ بالطاقة.

$$2H_2O_2(l) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

a. $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) \quad \Delta H = -572 kJ$

b. $H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O_2(l) \quad \Delta H = -188 kJ$

1 تحليل المسألة

لقد تم إعطائك معادلتين كيميائيتين مع التغير في المحتوى الحراري لهما.
تحتوي المعادلتان على جميع المواد الموجودة في المعادلة المطلوبة.

معلوم

a. $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) \quad \Delta H = -572 kJ$

b. $H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O_2(l) \quad \Delta H = -188 kJ$

مجهول

$\Delta H = ?\ kJ$

2 حساب المجهول

H_2O_2 هو مادة متفاعلة.

$H_2O_2(aq) \rightarrow H_2(g) + O_2(g) \quad \Delta H = 188 kJ$ — اعكس المعادلة b وغير إشارة ΔH.

نحتاج إلى مولين من H_2O_2.

c. $2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2(g) + 2O_2(g)$ — اضرب المعادلة المعكوسة في اثنين للحصول على المعادلة c.

ΔH للمعادلة c $= (188 kJ)(2)$ — اضرب 188kJ في اثنين للحصول على ΔH للمعادلة c.

$= 376 kJ$

c. $2H_2O_2(aq) \rightarrow 2H_2(g) + 2O_2(g) \quad \Delta H = 376 kJ$ — اكتب المعادلة c و ΔH.

اجمع المعادلتين a وc، مع إلغاء. اجمع ΔH للمعادلتين a وc.

a. $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) \quad \Delta H = -572 kJ$ — اكتب المعادلة a

c. $2H_2O_2(l) \rightarrow 2H_2(g) + 2O_2(g) \quad \Delta H = 376 kJ$ — اكتب المعادلة c

---

$2H_2O_2(l) \rightarrow 2H_2O(l) + O_2(g) \quad \Delta H = -196 kJ$ — اجمع المعادلتين a و c. واجمع ΔH.

3 تقييم الإجابة

ينتج عن جمع المعادلتين المعادلة المطلوبة.

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed Bin Rashid Smart Learning Program

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

تطبيقات

32. استخدم المعادلتين **a** و **b** لحساب ΔH للتفاعل التالي:

$$2CO(g) + 2NO(g) \rightarrow 2CO_2(g) + N_2(g) \quad \Delta H = ?$$

a. $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) \quad \Delta H = -566.0\,kJ$

b. $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g) \quad \Delta H = -180.6\,kJ$

33. تحدي ΔH للتفاعل التالي $-1789kJ$. استخدم ذلك مع المعادلة **a** لحساب ΔH للمعادلة **b**.

$$4Al(s) + 3MnO_2(s) \rightarrow 2Al_2O_3(s) + 3Mn(s) \quad \Delta H = -1789kJ$$

a. $4Al(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Al_2O_3(s) \quad \Delta H = -3352kJ$

b. $Mn(s) + O_2(g) \rightarrow MnO_2(s) \quad \Delta H = ?$

حرارة التكوين القياسية

يسمح لك قانون هس بحساب قيم ΔH المجهولة باستخدام التفاعلات المعلومة وقيم ΔH التي تم حسابها بشكل تجريبي. ومع ذلك، فتدوين قيم ΔH لجميع التفاعلات الكيميائية المعلومة سيكون مهمة ضخمة ولا نهائية. ولكن عوضًا عن ذلك، يدون العلماء التغيرات في المحتوى الحراري ويستخدمونها لنوع واحد فقط من التفاعلات – تفاعل يتكون فيه مركب من عناصره في حالتها القياسية. الحالة القياسية لمادة ما تعني حالته الفيزيائية المعتادة عند 1 atm و 298K (25°C) على سبيل المثال، في الحالات القياسية يكون الحديد صلبًا والزئبق سائل والأكسجين غاز ثنائي الذرة.

قيمة ΔH لهذا التفاعل تسمى حرارة التكوين القياسية للمركب. **حرارة التكوين القياسية** (ΔH_f°) تعرف بأنها التغير في المحتوى الحراري الذي يصاحب تكوين مول واحد من المركب من عناصره التي تكون في حالتها القياسية. ويعد تفاعل التكوين لمول واحد من SO_3 من عناصره تفاعل حرارة تكوين قياسية.

$$S(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow SO_3(g) \quad \Delta H_f^\circ = -396\ kJ$$

ناتج هذا التفاعل هو SO_3، وهو غاز خانق ينتج مطر حمضي حين يمتزج مع رطوبة الهواء الجوي. تتضح النتائج التدميرية للمطر الحمضي في **الشكل 14**.

■ **الشكل 14** ثالث أكسيد الكبريت يمتزج مع الماء في الهواء الجوي لتكوين حمض الكبريتيك (H_2SO_4)، وهو حمض قوي يصل إلى الأرض على هيئة مطر حمضي. يدمر المطر الحمضي الأشجار والعقارات ببطء.

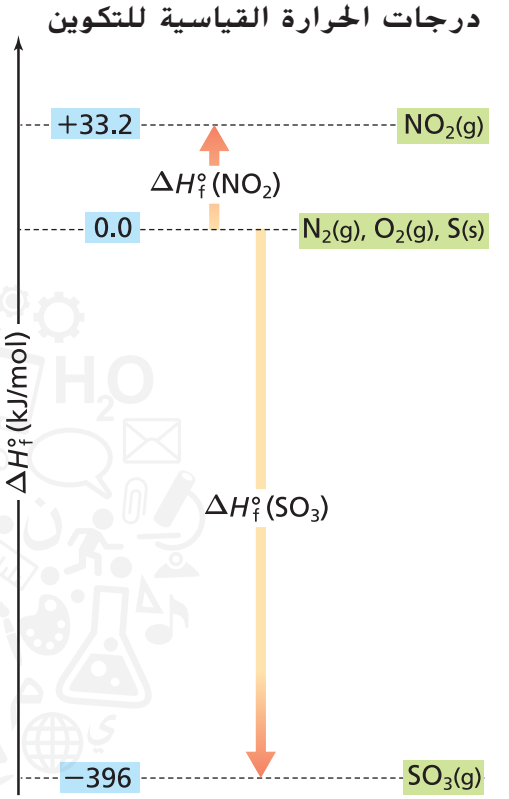
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

ما مصدر حرارة التكوين القياسية؟ حين تحدد ارتفاع جبل ما، فإنك تقوم بذلك بالنسبة لنقطة مرجعية ما– عادة ما تكون مستوى سطح البحر. بطريقة مشابهة، يتم تحديد حرارة التكوين القياسية بناء على الافتراض التالي: العناصر في حالتها القياسية تكون ΔH_f° تساوي 0.0 kJ. مع نقطة بدء صفرية، يمكن حساب حرارة التكوين القياسية للمركبات تجريبيًا وتنظيمها على تدريج أعلى وأقل من العناصر في حالاتها القياسية. فكر في الصفر على تدريج المستوى الحراري على أنه مشابه لدرجة تجمد الماء وهي 0.0°C كافة المواد التي تكون درجة حرارتها أسخن من نقطة التجمد تكون درجة حرارتها أعلى من الصفر. كافة المواد التي تكون درجة حرارتها أبرد من نقطة التجمد تكون درجة حرارتها أقل من الصفر.

تحديد حرارة التكوين من التجارب تم قياس حرارة التكوين القياسية للعديد من المركبات تجريبيًا. على سبيل المثال، لننظر إلى معادلة تكوين ثاني أكسيد النيتروجين التالية:

$$\frac{1}{2}N_2(g) + O_2(g) \rightarrow NO_2(g) \quad \Delta H_f^\circ = +33.2 \text{ kJ}$$

كلا من النيتروجين والأكسجين غازات ثنائية الذرة في حالاتها القياسية، لذا حرارة التكوين القياسية لكل منهما تساوي صفر. عندما يتفاعل غازي الأكسجين والنيتروجين معًا لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين، تكون ΔH المحسوبة تجريبيًا للتفاعل تساوي +33.2 kJ هذا يعني أنه يتم امتصاص 33.2 kJ من الطاقة في تفاعل ماص للحرارة. محتوى طاقة الناتج NO_2 33.2 kJ وهو أكبر من محتوى طاقة المواد المتفاعلة. على تدريج تكون فيه ΔH_f° للمتفاعلات تساوي 0.0 kJ فتكون ΔH_f° لـ NO_2 +33.2 kJ. **الشكل 15** يوضح أنه على تدريج حرارة التكوين القياسية تكون NO_2 أعلى من العناصر التي تكون منها بمقدار 33.2 kJ. أما ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) فيوضع عند 396 kJ أقل من الصفر على التدريج لأن تكوين $SO_3(g)$ يعد تفاعلًا طاردًا للحرارة. المحتوى الحراري لثالث أكسيد الكبريت ΔH_f°، هو 396 kJ–. **الجدول 5** يبين حرارة التكوين القياسية لبعض المركبات الشائعة. توجد قائمة أكثر تفصيلًا في **الجدول R–11**.



■ **الشكل 15** ΔH_f° للعناصر N_2 و O_2 و S هي 0.0 kJ. حين يتفاعل N_2 و O_2 لتكوين مول واحد من NO_2، يتم امتصاص +33.2 kJ/mol وبالتالي ΔH_f° لـ NO_2 هي +33.2 kJ/mol. عندما يتفاعل S و O_2 لتكوين مول واحد من SO_3، يتحرر 396 kJ/mol– لذلك فإن ΔH_f° لـ SO_3 هي 396 kJ/mol–

تنبؤ صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه.

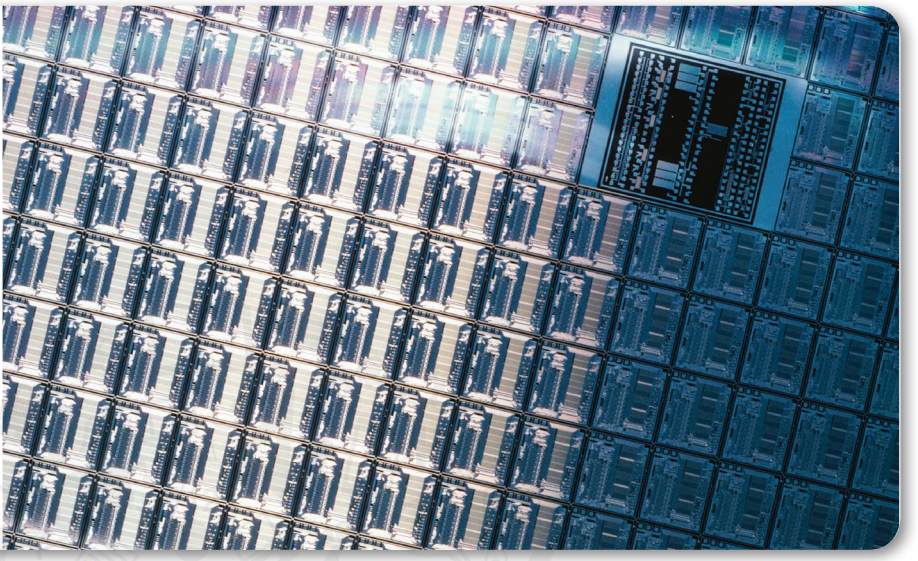
$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ **هي** $\Delta H_f^\circ = -286 \text{ kJ/mol}$

الجدول 5 حرارة التكوين القياسية

المركب	معادلة التكوين	ΔH_f° (kJ/mol)
$H_2S(g)$	$H_2(g) + S(s) \rightarrow H_2S(g)$	−21
$HF(g)$	$\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}F_2(g) \rightarrow HF(g)$	−273
$SO_3(g)$	$S(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow SO_3(g)$	−396
$SF_6(g)$	$S(s) + 3F_2(g) \rightarrow SF_6(g)$	−1220

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed bin Rashid Smart Learning Program

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



■ **الشكل 16** يستخدم سادس فلوريد الكبريت لحفر أنماط دقيقة ومعقدة أحيانًا على رقائق السيليكون في عملية إنتاج الأجهزة شبه الموصلة. وأشباه الموصلات هي مكونات هامة في الأجهزة الإلكترونية الحديثة بما في ذلك الحواسيب والهواتف الخلوية.

استخدام حرارة التكوين القياسية يمكن استخدام حرارة التكوين القياسية لحساب التغيرات في المحتوى الحراري ΔH°_{rxn} للعديد من التفاعلات في ظروف قياسية باستخدام قانون هس. لنفترض أنك ترغب في حساب ΔH°_{rxn} لتفاعل ينتج عنه سادس فلوريد الكبريت. وسادس فلوريد الكبريت هو غاز مستقر وغير نشط كيميائيًا له العديد من التطبيقات المهمة أحدها موضح في **الشكل 16**.

$$H_2S(g) + 4F_2(g) \rightarrow 2HF(g) + SF_6(g) \quad \Delta H^\circ_{rxn} = ?$$

الخطوة 1 بالرجوع إلى **الجدول 5** لمعرفة معادلة تكوين كل مركب من المركبات الثلاثة في المعادلة المطلوبة H_2S و SF_6 و $-HF$.

a. $\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}F_2(g) \rightarrow HF(g) \quad \Delta H^\circ_f = -273\ kJ$

b. $S(s) + 3F_2(g) \rightarrow SF_6(g) \quad \Delta H^\circ_f = -1220\ kJ$

c. $H_2(g) + S(s) \rightarrow H_2S(g) \quad \Delta H^\circ_f = -21\ kJ$

الخطوة 2 تصف المعادلتين **a** و **b** تكوين النواتج HF و SF_6 في المعادلة المطلوبة، لذا استخدم المعادلات **a** و **b** في الاتجاه الذي كتبت فيه.

تصف المعادلة **c** تكوين الناتج H_2S، ولكن في المعادلة المطلوبة يكون H_2S مادة متفاعلة. تعكس المعادلة **c** وتغير إشارة ΔH°_f.

$$H_2S(g) \rightarrow H_2(g) + S(s) \quad \Delta H^\circ_f = 21\ kJ$$

الخطوة 3 نحتاج لمولين من HF. اضرب المعادلة **a** والتغير في محتواها الحراري في اثنين.

$$H_2(g) + F_2(g) \rightarrow 2HF(g) \quad \Delta H^\circ_f = 2(-273) = -546\ kJ$$

الخطوة 4 اجمع المعادلات الثلاثة والتغير في محتواهم الحراري. احذف العناصر H_2 و S.

~~$H_2(g)$~~ $+ F_2(g) \rightarrow 2HF(g)$	$\Delta H^\circ_f = -546\ kJ$
~~$S(s)$~~ $+ 3F_2(g) \rightarrow SF_6(g)$	$\Delta H^\circ_f = -1220\ kJ$
$H_2S(g) \rightarrow$ ~~$H_2(g)$~~ $+$ ~~$S(s)$~~	$\Delta H^\circ_f = 21\ kJ$
$H_2S(g) + 4F_2(g) \rightarrow 2HF(g) + SF_6(g)$	$\Delta H^\circ_{rxn} = -1745\ kJ$

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

معادلة الجمع يوضح إجراء الخطوات الذي قرأته في الصفحة السابقة كيف يمكن جمع معادلات حرارة التكوين القياسية لإنتاج المعادلة المطلوبة و ΔH°_{rxn}. يمكن تلخيص الإجراء في الصياغة التالية:

معادلة الجمع

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(النواتج)} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(المواد المتفاعلة)}$$

ΔH°_{rxn} تمثل حرارة التفاعل القياسية.
Σ يمثل مجموع الحدود.
ΔH_f° (النواتج) و ΔH_f° (المواد المتفاعلة) تمثل حرارة التكوين القياسية لكافة النواتج وكافة المواد المتفاعلة.

ΔH°_{rxn} يتم الحصول عليها عن طريق طرح مجموع حرارة تكوين المتفاعلات من مجموع حرارة تكوين النواتج.

يمكنك أن ترى كيف تنطبق هذه المعادلة على التفاعل بين كبريتيد الهيدروجين والفلور.

$$H_2S(g) + 4F_2(g) \rightarrow 2HF(g) + SF_6(g)$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(2)\Delta H^\circ_f(HF) + \Delta H^\circ_f(SF_6)] - [\Delta H^\circ_f(H_2S) + (4)\Delta H^\circ_f(F_2)]$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(2)(-273\ kJ) + (-1220\ kJ)] - [-21\ kJ + (4)(0.0\ kJ)]$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = -1745\ kJ$$

مثال 6

ايجاد التغير في المحتوى الحراري من حرارة التكوين القياسية استخدم حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} لتفاعل احتراق الميثان.

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$$

1 تحليل المسألة

تم إعطاؤك معادلة واحدة وطلب منك حساب التغير في المحتوى الحراري. المعادلة

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(النواتج)} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(المتفاعلات)}$$

يمكن استخدامها مع بيانات جدول قيم حرارة التكوين القياسية.

معلوم

$\Delta H_f^\circ(CO_2) = -394\ kJ$
$\Delta H_f^\circ(H_2O) = -286\ kJ$
$\Delta H_f^\circ(CH_4) = -75\ kJ$
$\Delta H_f^\circ(O_2) = 0.0\ kJ$

مجهول

$\Delta H^\circ_{rxn} = ?\ kJ$

2 حساب المجهول

استخدم الصيغة $\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(المتفاعلات)} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(النواتج)}$

اضرب كل حرارة تكوين قياسية في معامل المادة في المعادلة الكيميائية الموزونة

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [\Delta H_f^\circ(CO_2) + (2)\Delta H_f^\circ(H_2O)] - [\Delta H_f^\circ(CH_4) + (2)\Delta H_f^\circ(O_2)]$$

عوض عن CO_2 و H_2O للنواتج، CH_4 و O_2 للمتفاعلات. اضرب H_2O و O_2 في اثنين.

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(-394\ kJ) + (2)(-286\ kJ)] - [(-75\ kJ) + (2)(0.0\ kJ)]$$

عوض عن $\Delta H_f^\circ(CO_2) = -394\ kJ$، $\Delta H_f^\circ(H_2O) = -286\ kJ$، $\Delta H_f^\circ(CH_4) = -75\ kJ$، و $\Delta H_f^\circ(O_2) = 0.0\ kJ$ في المعادلة.

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [-966\ kJ] - [-75\ kJ] = -966\ kJ + 75\ kJ = \mathbf{-891\ kJ}$$

احتراق مول واحد CH_4 ينتج عنه 891 kJ.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

3 تقييم الإجابة

القيمة المحسوبة هي نفس القيمة الواردة في **الجدول 3**.

تطبيقات

34. وضح كيف ينتج عن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلًا من التفاعلات التالية:. ليس هناك حاجة للبحث واستخدام قيم ΔH.

a. $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$

b. $SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(l)$

35. استخدم جدول قيم حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} للتفاعل التالي:

$$4NH_3(g) + 7O_2(g) \rightarrow 4NO_2(g) + 6H_2O(l)$$

36. احسب ΔH°_{comb} لحمض البيوتانويك. $C_3H_7COOH(l) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 4H_2O(l)$.
استخدم جدول قيم حرارة التكوين القياسية والمعادلة التالية:

$$4C(s) + 4H_2(g) + O_2(g) \rightarrow C_3H_7COOH(l) \quad \Delta H = -534 \text{ kJ}$$

37. تحدي ينتج عن جمع معادلتي التكوين **a** و **b** معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين والأكسجين. ويكون ناتج التفاعل هو ثاني أكسيد النيتروجين.

$$NO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow NO_2(g) \quad \Delta H^\circ_{rxn} = -58.1 \text{ kJ}$$

a. $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow NO(g) \quad \Delta H^\circ_f = 91.3 \text{ kJ}$

b. $\frac{1}{2}N_2(g) + O_2(g) \rightarrow NO_2(g) \quad \Delta H^\circ_f = ?$

ما قيمة ΔH°_f للمعادلة **b**؟

القسم 4 مراجعة

ملخص القسم

- التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما يمكن حسابه عن طريق جمع معادلتين أو أكثر من المعادلات الكيميائية الحرارية والتغيرات في محتواها الحراري.
- حرارة التكوين القياسية للمركبات يتم احتسابها اعتمادًا على حرارة التكوين القياسية لعناصرها في حالاتها القياسية.

38. الفكرة **الرئيسة** **اشرح** قانون هس وكيف يُستخدم لحساب ΔH°_{rxn}.

39. اشرح بالكلمات الصيغة التي يمكن استخدامها لحساب ΔH°_{rxn} عند استخدام قانون هس.

40. صِف كيف تعرف العناصر في حالاتها القياسية على تدريج حرارة التكوين القياسية؟

41. افحص البيانات في **الجدول 5**. ما النتيجة التي يمكن أن تستخلصها بشأن استقرار المركبات الواردة في الجدول بالنسبة للعناصر في حالاتها القياسية؟ تذكر أن انخفاض الطاقة يرتبط بالاستقرار.

42. احسب استخدم قانون هس لحساب ΔH للتفاعل التالي:

$NO(g) + O(g) \rightarrow NO_2(g) \quad \Delta H = ?$ إذا علمت التفاعلات التالية:

$$O_2(g) \rightarrow 2O(g) \quad \Delta H = +495 \text{ kJ}$$

$$2O_3(g) \rightarrow 3O_2(g) \quad \Delta H = -427 \text{ kJ}$$

$$NO(g) + O_3(g) \rightarrow NO_2(g) + O_2(g) \quad \Delta H = -199 \text{ kJ}$$

43. تفسير الرسوم العلمية استخدم البيانات أدناه لرسم مخطط لحرارة التكوين القياسية يشبه **الشكل 15** واستخدم هذا المخطط لحساب الحرارة المولية لتبخير الماء عند 298 kJ.

الماء السائل: $\Delta H^\circ_f = -285.8 \text{ kJ/mol}$

الماء في الحالة الغازية $\Delta H^\circ_f = -241.8 \text{ kJ/mol}$

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

القسم 5

تلقائية حدوث التفاعلات

الفكرة **الرئيسة** تحدد التغيرات في المحتوى الحراري والإنتروبي ما إذا كانت العملية تلقائية.

الأسئلة الرئيسة

- ما الفرق بين العمليات التلقائية والعمليات غير التلقائية؟
- كيف تحدد التغيرات في الإنتروبي والطاقة الحرة تلقائية التفاعلات الكيميائية والعمليات الأخرى؟

مراجعة المفردات

التبخير vaporization: هو العملية التي تحتاج إلى طاقة والتي يتحول عن طريقها السائل إلى بخار.

المفردات الجديدة

العملية التلقائية spontaneous process

الإنتروبي entropy

القانون الثاني للديناميكا الحرارية second law of thermodynamics

الطاقة الحرة free energy

الكيمياء في حياتك

كيف يحدث أن تنهار بعض المباني الجديدة بينما تظل بعض المباني الأقدم أكثر ثباتًا ويبدو أنها ستظل ثابتة للأبد؟ قد يكون السبب هو معدل الصيانة والعمل الذي يتم للمبنى. وبالمثل في الكيمياء، بدون الانتقال الثابت للطاقة يكون هناك ميلًا طبيعيًا نحو حدوث اضطراب.

العمليات التلقائية

في **الشكل 17** يمكنك أن ترى صورة مألوفة لما يحدث لجسم من الحديد في حال تم تركه في الهواء الرطب. يصدأ الحديد تبعًا لنفس المعادلة الكيميائية التي تصف ما يحدث في الكمادة الساخنة التي قرأت عنها في قسم سابق من هذه الوحدة.

$$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) \quad \Delta H = -1625 \text{ kJ}$$

يتم تنشيط الكمادة الساخنة في اللحظة التي تقوم بتفعيلها فيها. وبالمثل فإن الأجسام الحديدية تصدأ سواء رغبت في ذلك أم لا.

الصدأ أمر تلقائي. أي تغيير فيزيائي أو كيميائي يبدأ في أي لحظة ويحدث دون أي تدخل خارجي يكون **عملية تلقائية.** ومع هذا، فبالنسبة للعديد من العمليات التلقائية ينبغي توفير بعض الطاقة من البيئات المحيطة من أجل بدء العملية. على سبيل المثال، قد تحتاج لاستخدام عود ثقاب لإشعال لهب بنزن في مختبر مدرستك.

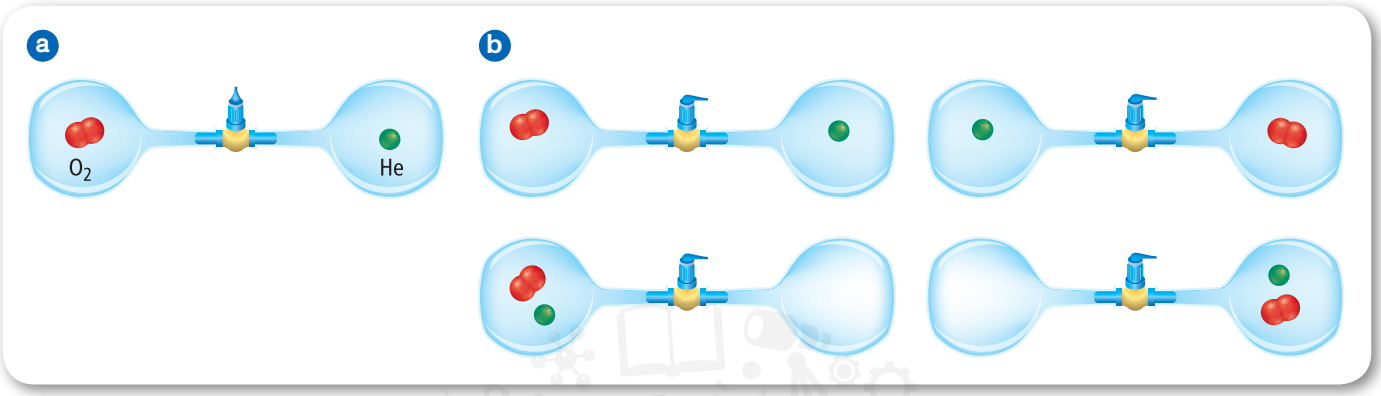
لنفترض أنك عكست اتجاه معادلة صدأ الحديد. تذكر أنك حين تغير اتجاه التفاعل فإن إشارة ΔH تتغير. ويصبح التفاعل ماصًا للحرارة

$$2Fe_2O_3(s) \rightarrow 4Fe(s) + 3O_2(g) \quad \Delta H = 1625 \text{ kJ}$$

إن عكس المعادلة لن يتسبب في تحلل الصدأ تلقائيًا ليتحول إلى حديد وأكسجين في ظل الظروف الطبيعية، تمثل المعادلة تفاعل غير تلقائي..

■ **الشكل 17** هذا الحديد الذي ترك في هذا القارب دون عناية مع وجود الكثير من الماء والأكسجين في الهواء، يتحول تلقائيًا إلى صدأ (Fe_2O_3).

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



■ **الشكل 18** في **a** يحتوي دورق على جزيء أكسجين والآخر على ذرة الهيليوم. عند فتح المحبس في **b** تتحرك جسيمات الغازين بحرية في ضعف الحجم الأصلي. يمكن وجود أربعة ترتيبات من الجسيمات والتي تمثل زيادة في الإنتروبي في أي وقت.

يعد تفاعل تكون الصدأ على الحديد تفاعلاً تلقائيًا وطاردًا للحرارة. أما التفاعل العكسي فهو تفاعل غير تلقائي وماص للحرارة. يمكنكم استنتاج أن كافة العمليات الطاردة للحرارة هي عمليات تلقائية وكافة العمليات الماصة للحرارة هي عمليات غير تلقائية. ولكن تذكر أن الثلج ينصهر في درجة حرارة الغرفة وهو عملية تلقائية ماصة للحرارة. يلعب عامل آخر غير ΔH دورًا في تحديد ما إذا كانت العملية الكيميائية تحدث بشكل تلقائي تحت مجموعة ظروف محددة. هذا العامل يسمى الإنتروبي.

ما هو الإنتروبي؟ قد لا تندهش إذا شممت رائحة الفطائر التي تخبز في المطبخ منتشرة في كل مكان بالمنزل. وأنت تعلم أن الغازات تميل للانتشار خلال الهواء الجوي. تتصرف الغازات بهذا الشكل؟ حين تنتشر الغازات، يصل النظام إلى حالة كبيرة من الإنتروبي. **الإنتروبي** (S) هو قياس عدد الطرق التي يمكن أن يتم بها توزيع الطاقة عبر نظام ما ويرتبط ذلك بحرية جسيمات النظام في الحركة وعدد الطرق التي يتم تنظيمها بها.

لننظر إلى الدورقين في **الشكل 18**. عند غلق المحبس، يحتوي دورق على جزيء واحد من الأكسجين. بينما يحتوي الآخر على ذرة واحدة من الهيليوم. عند فتح المحبس يتحرك جسيما الغازين بحرية بين الدورقين. يمكن أن ينتشر جسيم الغاز في ضعف الحجم الأصلي. يمكن العثور على الجسيمين في أي من الترتيبات الأربعة الموضحة. إنتروبي النظام يكون أكبر حين يكون المحبس مفتوحًا لأن عدد الترتيبات الممكنة للجسيمات وتوزيع طاقتها يزيد.

ومع زيادة عدد الجسيمات، يزيد عدد الترتيبات الممكنة لمجموعة من الجسيمات بشكل كبير. إذا كان عدد الجسيمات في الدورقين 10 جسيمات، فسيكون عدد الترتيبات الممكنة أكثر ب 1024 مرة مما إذا كان عدد الجسيمات نفسه موجودًا في دورق واحد. بوجه عام، يزيد عدد الترتيبات الممكنة لنظام ما في ظل الظروف الآتية: عندما يزيد الحجم، عندما تزيد الطاقة، عندما يزيد عدد الجسيمات أو عندما تزيد حرية حركة الجسيمات.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل. الاستخدام العام

النظام

الاستخدام العلمي العملية أو التفاعل المحدد الذي يتم دراسته. يتكون الكون من نظام ومحيط.

الاستخدام العام: إجراء منظم أو مرتب.
لقد قامت بتنفيذ نظام ناجح سيحصل فيه الجميع على فرص متكافئة.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية يتم تلخيص الميل نحو زيادة الإنتروبي عن طريق **القانون الثاني للديناميكا الحرارية**، والذي ينص على أن العمليات التلقائية دائما ما تستمر بالطريقة التي يزداد بها إنتروبي الكون. في بعض الأحيان يعتبر الإنتروبي هو قياس لاضطراب أو عشوائية الجسيمات التي يتكون منها نظام ما. فتعتبر الجسيمات الأكثر انتشارًا أكثر اضطرابًا مما يجعل الإنتروبي للنظام أكبر مما سيكون عليه الحال إذا كانت الجسيمات أقرب لبعضها البعض.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

التنبؤ بالتغيرات في الإنتروبي تذكر أن التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه المحتوى الحراري للمتفاعلات. التغير في الإنتروبي (ΔS) خلال تفاعل أو عملية ما هو نفس الشيء.

$$\Delta S_{\text{النظام}} = S_{\text{النواتج}} - S_{\text{المتفاعلات}}$$

إذا زاد إنتروبي النظام خلال تفاعل أو عملية ما تكون $S_{\text{المتفاعلات}} > S_{\text{النواتج}}$ وتكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة. وعلى العكس، إذا قل إنتروبي النظام خلال تفاعل أو عملية ما تكون $S_{\text{المتفاعلات}} > S_{\text{النواتج}}$ وقيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ سالبة.

يمكنك في بعض الأحيان أن تتنبأ ما إذا كانت قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة أو سالبة من خلال معادلة التفاعل أو العملية.

1. يمكن التنبؤ بالتغيرات في الإنتروبي المرتبط بتغير الحالة الفيزيائية للمادة. في المواد الصلبة تكون حركة الجسيمات محدودة. وفي السوائل تكون ذات حرية أكثر للحركة أما في الغازات فتتحرك الجسيمات بحرية كبيرة للغاية في الوعاء. وبالتالي يزيد الإنتروبي مع تغير حالة المادة من صلبة إلى سائلة ومن سائلة إلى غازية. $\Delta S_{\text{النظام}}$ تكون موجبة في حالتي تبخر الماء وانصهار الميثانول.

$$H_2O(l) \rightarrow H_2O(g) \quad \Delta S_{\text{النظام}} > 0$$

$$CH_3OH(s) \rightarrow CH_3OH(l) \quad \Delta S_{\text{النظام}} > 0$$

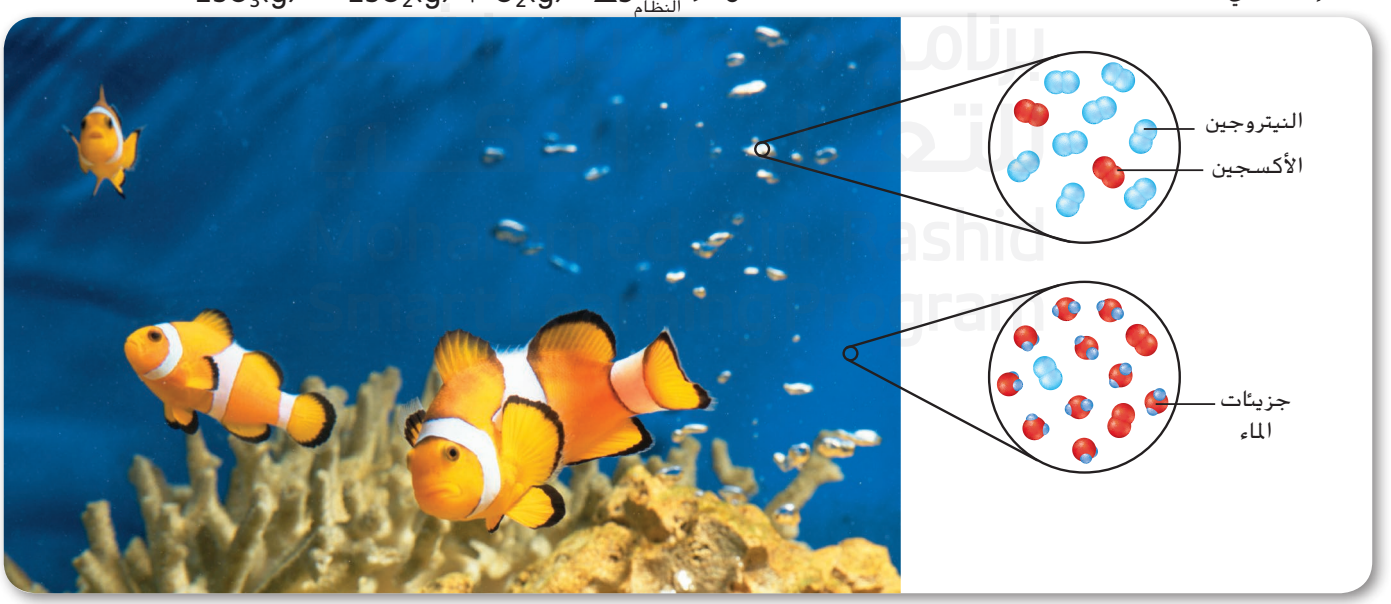
2. إن ذوبان غاز ما في مذيب ينشأ عنه دائمًا انخفاض في الإنتروبي. تتمتع جسيمات الغاز بمزيد من الإنتروبي حين تستطيع التحرك بحرية أكثر مما إذا ذابت في سائل حيث تحد من حركتها وعشوائيتها. $\Delta S_{\text{النظام}}$ تكون سالبة في حالة ذوبان الأكسجين في الماء كما يظهر في **الشكل 19**.

$$O_2(g) \rightarrow O_2(aq) \quad \Delta S_{\text{النظام}} < 0$$

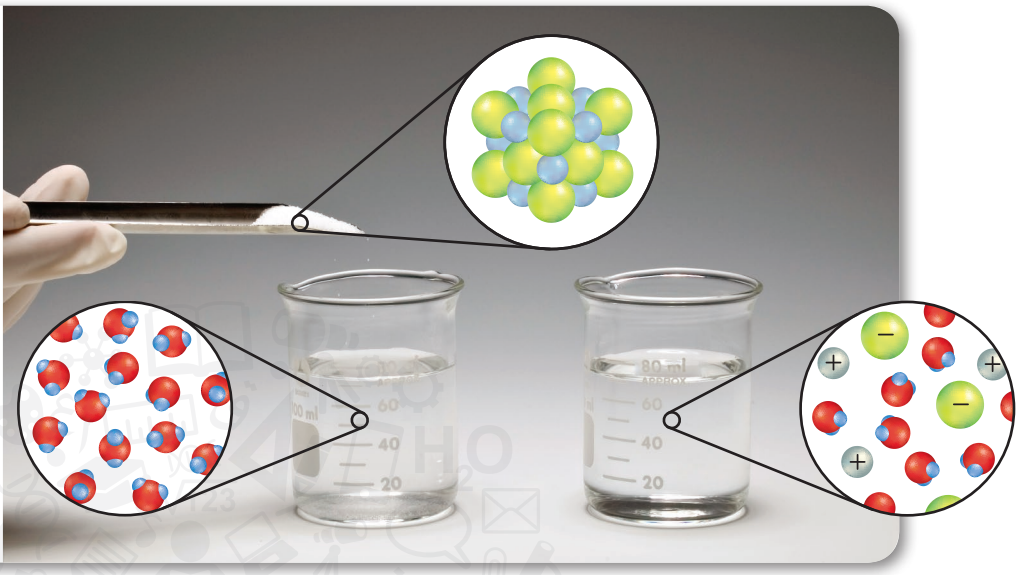
3. على افتراض عدم حدوث أي تغير في الحالة الفيزيائية فإن إنتروبي أي نظام عادة ما يزيد حين يكون عدد مولات الغازات الناتجة أكبر من عدد مولات الغازات المتفاعلة. في التفاعل التالي تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة نظرًا لأن عدد مولات الغازات الناتجة أكبر من عدد مولات الغازات المتفاعلة.

$$2SO_3(g) \rightarrow 2SO_2(g) + O_2(g) \quad \Delta S_{\text{النظام}} > 0$$

■ **الشكل 19** في الفقاعات، يمكن أن تتحرك جسيمات غازي النيتروجين والأكسجين التي يتكون منها معظم الهواء بحرية أكثر مما إذا تمت إذابتها في ماء حوض السمك.



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



■ **الشكل 20** كلوريد الصوديوم والماء السائل هي مواد نقية كل منها له درجة من النظام، وعندما يذوب كلوريد الصوديوم في الماء تزيد إنتروبي النظام لأن أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد وجسيمات الماء تختلط معًا لتكون عدد كبير من الترتيبات العشوائية.

4. مع وجود بعض الحالات الاستثنائية، يزيد الإنتروبي حين تذوب مادة صلبة أو سائلة في مذيب. تتشتت الجسيمات المذابة التي كانت مرتبطة ببعضها قبل الإذابة بداخل المذيب. تصبح الجسيمات المذابة ذات حرية أكبر في الحركة، كما يتضح في **الشكل 20** الخاص بذوبان كلوريد الصوديوم في الماء. تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة.

$$NaCl(s) \rightarrow Na^{+}(aq) + Cl^{-}(aq) \quad \Delta S_{\text{النظام}} > 0$$

5. تزيد الحركة العشوائية لجسيمات مادة ما كلما زادت درجة حرارتها. تذكر أن الطاقة الحركية للجسيمات تزيد بزيادة درجة الحرارة. زيادة الطاقة الحركية تعني حركة أسرع وعشوائية أكثر للجسيمات. لذلك تزيد إنتروبي أي مادة بزيادة درجة حرارتها. تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة.

تطبيقات

44. تنبأ بإشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ لكل تغيير من التغيرات التالية:

a. $CH_3OH(l) \rightarrow CH_3OH(aq)$

b. $C_{10}H_8(l) \rightarrow C_{10}H_8(s)$

c. $ClF(g) + F_2(g) \rightarrow ClF_3(g)$

d. $NH_3(g) \rightarrow NH_3(aq)$

45. تحدي ما تنبؤك بشأن إشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ للتفاعل

$$Fe(s) + Zn^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + Zn(s)$$

الربط بعلم الأحياء

العمليات التلقائية للأرض

إن البراكين، والمنافذ البركانية، والينابيع الساخنة، والسخانات المائية الطبيعية ما هي إلا دليل على الطاقة الحرارية في باطن الأرض. فالبراكين عبارة عن فتحات في القشرة الأرضية تتدفق منها الصخور المنصهرة (الماجما) والبخار والمواد الأخرى. حين تتحرك مياه السطح نحو الأسفل عبر القشرة الأرضية فيمكنها أن تتفاعل مع الماجما والصخور الساخنة. أما الماء الذي يعود إلى السطح على هيئة ينابيع ساخنة فتزيد درجة حرارته لتصبح أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط. السخانات المائية الطبيعية هي عبارة عن ينابيع ماء ساخن يتدفق منها الماء الساخن والبخار في الهواء أما المنافذ البركانية فيتدفق منها البخار وغازات أخرى مثل كبريتيد الهيدروجين. هذه العمليات البيئية الحرارية هي عمليات تلقائية بوضوح. هل يمكنك أن تحدد زيادة الإنتروبي في هذه العمليات؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

الإنتروبي والكون والطاقة الحرة

إذا كسرت بيضة ما ذات يوم فإنك تعلم أنك لن تستطيع عكس هذه العملية بحيث تجعل البيضة كاملة مرة أخرى. وبالمثل، تتحول أي حظيرة مهجورة تدريجيًا إلى كومة من الأخشاب المتحللة ومعلم تذكاري يذوب ببطء في ماء المطر ويتشتت داخل الأرض كما يوضح **الشكل 21**. يتغير النظام المرتب إلى فوضى في هذه العمليات وتزيد الإنتروبي في الكون.

ما تأثير الإنتروبي على تلقائية التفاعل؟ تذكر أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية ينص على أن إنتروبي الكون تزيد نتيجة للعمليات والتفاعلات التلقائية، لذلك يعد ما يلي صحيحًا في أي عملية تلقائية

$$\Delta S_{\text{الكون}} > 0$$

لأن الكون يساوي النظام مضافًا إليه المحيط، وأي تغيير في الإنتروبي للكون هو مجموع التغيرات التي تحدث في كل من النظام والمحيط.

$$\Delta S_{\text{الكون}} = \Delta S_{\text{النظام}} + \Delta S_{\text{المحيط}}$$

في الطبيعة تميل أن تكون قيمة $\Delta S_{\text{الكون}}$ موجبة في التفاعلات والعمليات في ظل الظروف التالية:

1. حين يكون التفاعل أو العملية طارد للحرارة أي قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ سالبة. تُزيد الحرارة الناتجة عن تفاعل طارد للحرارة من درجة حرارة المحيط ومن ثم تزيد إنتروبي المحيط وتصبح قيمة $\Delta S_{\text{المحيط}}$ موجبة.
2. زيادة إنتروبي النظام وبالتالي تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة.

إذا، فالتفاعلات الكيميائية الطاردة للحرارة التي يصحبها زيادة في الإنتروبي تكون جميعها تلقائية.

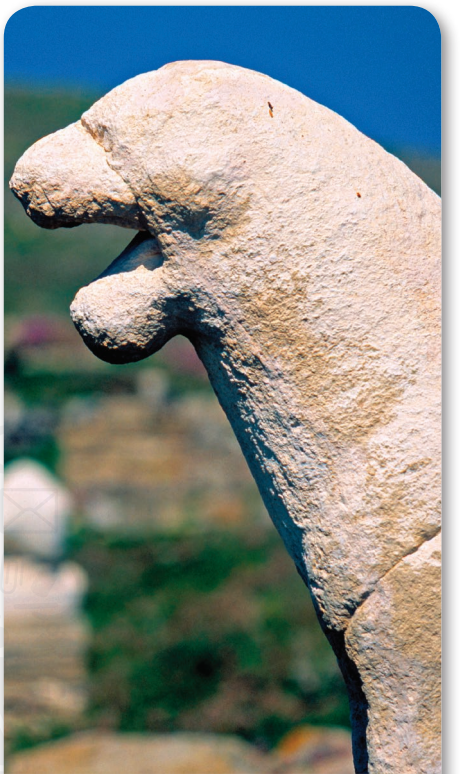
الطاقة الحرة هل يمكنك أن تحدد بالضبط ما إذا كان التفاعل تلقائيًا؟ في عام 1878، تعرف جيه ويلارد جيبس وهو عالم فيزياء بجامعة ييل، على دالة علاقة تربط بين المحتوى الحراري والإنتروبي سميت الطاقة الحرة لجيبس وهي تجيب على هذا التساؤل. بالنسبة للتفاعلات أو العمليات التي تحدث بضغط ودرجة حرارة ثابتين، فإن الطاقة الحرة لجيبس ($G_{\text{النظام}}$) الذي يطلق عليها عادة **الطاقة الحرة** تكون هي الطاقة المتاحة للقيام بالشغل. ومن ثم فإن الطاقة الحرة تكون طاقة مفيدة. وعلى النقيض فإن بعض الإنتروبي مرتبطة بطاقة تنتشر في البيئة المحيطة، كما على سبيل لمثال، الحركة العشوائية للجسيمات، ولا يمكن استعادتها للقيام بعمل مفيد. التغير في الطاقة الحرة ($\Delta G_{\text{النظام}}$) هو الفرق بين التغير في المحتوى الحراري للنظام ($\Delta H_{\text{النظام}}$) وناتج حاصل ضرب درجة الحرارة بالكلفن في التغير في الإنتروبي ($T\Delta S_{\text{النظام}}$). لحساب التغير في الطاقة الحرة يكون من الضروري عادة تحويل الوحدات لأن عادة ما يتم التعبير عن ΔS بوحدة J/K ويتم التعبير عن ΔH بوحدة kJ.

معادلة الطاقة الحرة

$$\Delta G_{\text{النظام}} = \Delta H_{\text{النظام}} - T\Delta S_{\text{النظام}}$$

$\Delta G_{\text{النظام}}$ يمثل التغير في الطاقة الحرة. $\Delta H_{\text{النظام}}$ يمثل التغير في المحتوى الحراري T هي درجة الحرارة. $\Delta S_{\text{للنظام}}$ تمثل التغير في الإنتروبي.

تعادل الطاقة الحرة الممتصة أو المنطلقة من تفاعل ما الفرق بين التغير في المحتوى الحراري وناتج حاصل ضرب التغير في الإنتروبي (بالجول لكل كلفن) في درجة الحرارة بالكلفن.



■ **الشكل 21** من الصعب إدراك أن هذه المنحوتة الإغريقية القديمة هي رأس لحيوان. تتشتت جسيمات الحجر الجيري التي تتفكك بفعل الرياح والطقس أو تتحلل بفعل المطر بشكل عشوائي بحيث تتفتت المنحوتة إلى جسيمات صغيرة وتزداد إنتروبي النظام.

المطويات®

خذ معلومات من هذا القسم واكتبها في مطويتك.

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed Bin Rashid Smart Learning Program

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

إشارة الطاقة حين يحدث تفاعل أو عملية ما في ظروف قياسية (298K و 1 atm) فيمكن التعبير عن التغير في الطاقة الحرة القياسي كالتالي:

$$\Delta G^\circ_{\text{النظام}} = \Delta H^\circ_{\text{النظام}} - T\Delta S^\circ_{\text{النظام}}$$

إذا كانت إشارة التغير في الطاقة الحرة ($\Delta G^\circ_{\text{النظام}}$) سالبة، يكون التفاعل تلقائيًا، إذا كانت إشارة التغير في الطاقة الحرة موجبة، يكون التفاعل غير تلقائي.

تذكر أن الطاقة الحرة هي الطاقة المتوفرة للقيام بشغل. وعلى النقيض تكون الطاقة المتعلقة بالإنتروبي غير مفيدة لأنها تشتت ولا يمكن استخدامها للشغل.

حساب تغير الطاقة الحرة كيف تؤثر التغيرات في المحتوى الحراري والإنتروبي على التغير في الطاقة الحرة وعلى تلقائية التفاعل بين النيتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا؟

المفردات

المفردات الأكاديمية

يُظهر

يعرض بوضوح

الناس مستعدون لعرض طريقة عمل الجهاز

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

$$\Delta H^\circ_{\text{النظام}} = -91.8\ \text{kJ}\quad \Delta S^\circ_{\text{النظام}} = -197\ \text{J/K}$$

يقل إنتروبي النظام بسبب تفاعل 4 مولات من الجسيمات الغازية بينما ينتج مولين فقط من الجسيمات الغازية فتكون قيمة $\Delta S^\circ_{\text{النظام}}$ سالبة. يميل النقص في إنتروبي النظام إلى جعل التفاعل غير تلقائي ولكن التفاعل يكون طاردًا للحرارة ($\Delta H^\circ_{\text{النظام}}$ سالبة) والذي يميل لجعل التفاعل تلقائيًا. أي الميلين سيطغى على الآخر، يجب أن نحسب $\Delta G^\circ_{\text{النظام}}$ للتفاعل. أولًا نحول $\Delta S^\circ_{\text{النظام}}$ إلى كيلو جول.

$$\Delta S^\circ_{\text{النظام}} = -197\ \text{J/K} \times \frac{1\ \text{kJ}}{1000\ \text{J}} = -0.197\ \text{kJ/K}$$

الآن بالتعويض في المعادلة .

$$\Delta G^\circ_{\text{النظام}} = \Delta H^\circ_{\text{النظام}} - T\Delta S^\circ_{\text{النظام}}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{النظام}} = -91.8\ \text{kJ} - (298\ \text{K})(-0.197\ \text{kJ/K})$$

$$\Delta G^\circ_{\text{النظام}} = -91.8\ \text{kJ} + 58.7\ \text{kJ} = -33.1\ \text{kJ}$$

$\Delta G^\circ_{\text{النظام}}$ لهذا التفاعل سالبة، لذا فالتفاعل تلقائي.

يُظهر التفاعل بين الهيدروجين والنيتروجين أن إنتروبي النظام يمكن أن تقل أثناء العملية التلقائية. ومع ذلك لن يحدث ذلك إلا إذا زادت إنتروبي البيئة المحيطة بأكبر من المقدار الذي انخفضت به إنتروبي النظام. ومن ثم فإن إنتروبي الكون (النظام + البيئة المحيطة) دائما يزيد في أي عملية تلقائية. يوضح **الجدول 6** كيف تعتمد تلقائية التفاعل على إشارات $\Delta S^\circ_{\text{النظام}}$ و $\Delta H^\circ_{\text{النظام}}$.

الجدول 6 تلقائية التفاعل $\Delta G_{\text{النظام}} = \Delta H_{\text{النظام}} - T\Delta S_{\text{النظام}}$

$\Delta H_{\text{النظام}}$	$\Delta S_{\text{النظام}}$	$\Delta G_{\text{النظام}}$	تلقائية التفاعل
سالب	موجب	سالب دائمًا	تلقائي دائمًا
سالب	سالب	موجب أو سالب	تلقائي في درجات حرارة منخفضة
موجب	موجب	موجب أو سالب	تلقائي في درجات حرارة عالية
موجب	سالب	موجب دائمًا	غير تلقائي دائمًا

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مثال 7

تحديد تلقائية التفاعل لعملية معينة $\Delta H_{\text{النظام}} = 145\ \text{kJ}$ و $\Delta S_{\text{النظام}} = 322\ \text{kJ}$. هل العملية تلقائية عند 382 K؟

1 تحليل المسألة

يجب أن تقوم بحساب $\Delta G_{\text{النظام}}$ لتقرر بشأن التلقائية.

معلوم

$T = 382\ \text{K}$

$\Delta H_{\text{النظام}} = 145\ \text{kJ}$

$\Delta S_{\text{النظام}} = 322\ \text{J/K}$

مجهول

إشارة $\Delta G_{\text{النظام}} = ?$

2 حساب المجهول

حول $\Delta S_{\text{النظام}}$ إلى kJ/K

$$322\ \cancel{\text{J}}/\text{K} \times \frac{1\ \text{kJ}}{1000\ \cancel{\text{J}}} = 0.322\ \text{kJ/K}$$

حول $\Delta S_{\text{النظام}}$ النظام إلى kJ/k.

حل معادلة الطاقة الحرة.

$$\Delta G_{\text{النظام}} = \Delta H_{\text{النظام}} - T\Delta S_{\text{النظام}}$$

اكتب معادلة الطاقة الحرة.

$$\Delta G_{\text{النظام}} = 145\ \text{kJ} - (382\ \cancel{\text{K}})(0.322\ \text{kJ}/\cancel{\text{K}})$$

بالتعويض

$$\Delta G_{\text{النظام}} = 145\ \text{kJ} - 123\ \text{kJ} = \mathbf{22\ kJ}$$

بما أن $\Delta G_{\text{النظام}}$ موجبة، إذا فإن العملية غير تلقائية.

3 تقييم الإجابة

بما أن ΔH موجبة ودرجة الحرارة ليست عالية بما يكفي لجعل الجزء الثاني من المعادلة أكبر من الأول تكون $\Delta G_{\text{النظام}}$ موجبة.

تطبيقات

46. حدد ما إذا كان كل تفاعل من التفاعلات التالية تلقائيًا:

a. $\Delta H_{\text{النظام}} = 365\ \text{kJ},\ T = 388\ \text{K},\ \Delta S_{\text{النظام}} = -55.2\ \text{J/K}$

b. $\Delta H_{\text{النظام}} = 452\ \text{kJ},\ T = 165\ \text{K},\ \Delta S_{\text{النظام}} = 55.7\ \text{J/K}$

c. $\Delta H_{\text{النظام}} = -75.9\ \text{kJ},\ T = 273\ \text{K},\ \Delta S_{\text{النظام}} = 138\ \text{J/K}$

d. $\Delta H_{\text{النظام}} = -27.6\ \text{kJ},\ T = 535\ \text{K},\ \Delta S_{\text{النظام}} = -55.2\ \text{J/K}$

47. تحدي إذا علمت أن $\Delta S_{\text{النظام}} = -36.8\ \text{J/K}$ و $\Delta H_{\text{النظام}} = -144\ \text{kJ}$ لتفاعل ما، حدد أعلى درجة حرارة بالكلفن يكون التفاعل عندها تلقائيًا.

القسم 5 مراجعة

ملخص القسم

- الإنتروبي هو مقياس الاضطراب أو العشوائية في نظام ما.
- دائمًا ما ينتج عن العملية التلقائية زيادة في إنتروبي الكون.
- الطاقة الحرة هي الطاقة المتاحة للقيام بالشغل. تشير إشارة التغير في الطاقة الحرة إلى ما إذا كان التفاعل تلقائيا أم لا.

48. الفكرة **الرئيسة قارن** بين التفاعلات التلقائية والتفاعلات غير التلقائية.

49. صِف كيف تتغير إنتروبي نظام ما إذا أصبح النظام أكثر اضطرابًا خلال عملية ما.

50. قرِّر هل تزيد أو تقل إنتروبي أي نظام ما عند ذوبان مكعب من السكر في كوب من الشاي؟ عرف النظام وفسر إجابتك.

51. حدِّد ما إذا كان النظام التالي تلقائي أم غير تلقائي

$\Delta H_{\text{النظام}} = -20.5\ \text{kJ},\ T = 298\ \text{K},\ \Delta S_{\text{النظام}} = -35.0\ \text{J/K}$

52. لخِّص استعن بالعناوين الرأسية الزرقاء والحمراء لتلخيص هذا القسم. تحت كل عنوان قم بتلخيص الأفكار الرئيسة التي تمت مناقشتها

برنامج محمد بن راشد للتعلم الذكي
Mohammed Bin Rashid Smart Learning Program

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

كيف تعمل؟

القيادة في المستقبل:
السيارات ذات المرونة في استعمال الوقود

لن تقوم محطات خدمة السيارات في المستقبل الذي ليس ببعيد بتقديم أنواع مختلفة من الجازولين فقط ولكنها ستقوم أيضًا بضخ وقود من نوع E85. هذا الوقود يمكن استخدامه في السيارات المرنة في استعمال الوقود أو المعروفة بـ FFV. تعمل السيارات التقليدية بوقود جازولين 100% أو بخليط من 10% إيثانول و90% جازولين. إلا أن السيارات المرنة في استعمال الوقود يمكنها أن تعمل بهذه الأنواع وأيضًا بالنوع E85 والذي هو عبارة عن 85% إيثانول. يتميز وقود E85 بأنه لا يعتمد بصورة كبيرة على الوقود الأحفوري.

1 الموارد المتجددة E85 هو عبارة عن 15% جازولين و85% إيثانول.الإيثانول (C_2H_5OH) وقود متجدد يمكن إنتاجه محليًا.

2 الفائدة البيئية مقارنة بالجازولين فإن حرق E85 يمكن أن يقلل من انبعاث غازات الاحتباس الحراري كثاني اكسيد الكربون وأكسيدات النيتروجين.

3 شروط الاحتراق يحتاج محرك السيارات ذات الوقود المرن الذي يحرق وقود E85 خليط أكثر كثافة (مزيد من الوقود وهواء أقل) من الحجم المماثل له في الجازولين. لذا يجب أن تكون محاقن وقود سيارات FFV قادرة على حقن كمية من الوقود أكثر بنسبة 30%.

4 منع الأضرار محتوى الإيثانول في وقود E85 كبير بما يكفي للإضرار ببعض المواد التي تستخدم في تصنيع السيارات التقليدية. لذلك يصنع خزان وقود السيارات من النوع FFV من الفولاذ. كما أن خطوط الوقود مصنوعة أيضًا من الفولاذ أو تكون مبطنة بمواد غير نشطة كيميائيًا.

الكتابة في الكيمياء

اكتب المعادلات الكيميائية الحرارية للاحتراق الكامل لمول واحد من الأوكتان (C_8H_{18})، وهو من مكونات الجازولين، ولاحتراق مول واحد من الإيثانول.

$$\Delta H_{comb}\ C_8H_{18} = -5471 kJ/mol$$

$$\Delta H_{comb}\ C_2H_5OH = -1367 kJ/mol.$$

أيهما يطلق أكبر كمية طاقة لكل مول من الوقود؟ أيهما يطلق طاقة أكبر لكل كيلو جرام من الوقود؟ ناقش أهمية نتائجك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مختبر الكيمياء

قياس السعرات الحرارية

الخلفية: احتراق رقاقة بطاطا ينتج عنه طاقة تكون مخزنة في المواد التي تحتوي عليها الرقاقة. باستخدام المُسعِّر ستقوم بحساب مقدار الطاقة الذي تحتوي عليه رقاقة البطاطس.

السؤال: كم عدد السعرات الحرارية في رقاقة البطاطس؟

المواد

رقاقة بطاطس كبيرة أو أي وجبات خفيفة أخرى
كأس سعة 250 mL
مخبار مدرج 100 mL
طبق تبخير
ثيرموميتر
حامل حلقات مع حلقة
مشبك معدني
أعواد الثقاب
ساق تقليب
الميزان

احتياطات السلامة

تحذير: قد لا تبدو الأجسام الساخنة وكأنها ساخنة. لا تقم بتسخين الأواني الزجاجية المكسورة أو المتشققة أو المتصدعة. لا تأكل أي أصناف يتم استخدامها في المختبر.

الإجراءات

1. اقرأ تعليمات السلامة لهذه التجربة قبل البدء في العمل.
2. قس كتلة رقاقة البطاطا وسجلها في جدول البيانات.
3. ضع رقاقة البطاطا في طبق تبخير على القاعدة المعدنية للحامل الحلقي. اضبط وضعية الحلقة والمشبك المعدني بحيث تصبح أعلى رقاقة البطاطا بـ 10 cm.
4. قس كتلة كأس فارغ سعة 250 mL وسجلها في جدول البيانات.
5. مستخدمًا مخبار مدرج، قس 50 mL من الماء وقم بوضعه في الكأس. قس كتلة الكأس والماء وسجلها في جدول البيانات.
6. قس درجة الحرارة الأولية للماء وسجلها.
7. ضع الكأس على المشبك المعدني على الحامل الحلقي واستخدم عود ثقاب لإشعال رقاقة البطاطا من أسفل.
8. قلِّب الماء في الكأس بلطف بينما تحترق الرقاقة. قس أعلى درجة حرارة تم الحصول عليها في الماء وسجلها.
9. **التنظيف والتخلص من الفضلات** اغسل جميع معدات المختبر وأعدها إلى مكانها المخصص.

التحليل والنتائج

1. **صنّف**. هل التفاعل ماص للحرارة أم طارد للحرارة؟ فسر كيف تعرف ذلك.
2. **لاحظ واستدل** صف المادة المتفاعلة والمواد الناتجة في التفاعل الكيميائي. هل تم استنفاذ مادة التفاعل (رقاقة البطاطا) بالكامل؟ ما الدليل الذي يدعم إجابتك؟
3. **احسب** ما كتلة الماء والتغير في درجة حرارته. استخدم المعادلة $q = c \times m \times \Delta T$ لحساب مقدار الحرارة الذي انتقل للماء عن طريق حرق الرقاقة بالجول.
4. **احسب** حول كمية الحرارة من جول/ للرقاقة إلى سعر حراري/ للرقاقة.
5. **احسب** باستخدام المعلومات الموجودة على علبة رقائق البطاطا احسب كتلة حصة واحدة بالجرام. احسب عدد السعرات الحرارية في حصة واحدة. استخدم بياناتك لحساب عدد السعرات الحرارية الناتجة عن احتراق حصة واحدة.
6. **تحليل الخطأ** قارن سعراتك الحرارية التي حسبتها لكل حصة بالقيمة الواردة على عبوة الرقائق. احسب النسبة المئوية للخطأ.
7. احسب متوسط نتائج مجموعات طلاب الصف وقارنها مع القيمة الواردة على علبة الرقائق. لم ستؤدي المزيد من البيانات إلى نتائج أكثر دقة؟

التوسع في الاستقصاء

تنبأ هل تمتلك كافة رقائق البطاطا نفس عدد السعرات الحرارية؟ ضع خطة لاختبار أنواع مختلفة من العلامات التجارية لرقائق البطاطا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 1 دليل الدراسة

الفكرة **الرئيسة** عادة ما تمتص التفاعلات الكيميائية الطاقة أو تطلقها.

القسم 1 الطاقة

الفكرة **الرئيسة** الطاقة يتغير شكلها وتنتقل ولكنها دائمًا محفوظة.

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
- الطاقة الكيميائية الكامنة هي طاقة مخزنة في الروابط الكيميائية لمادة ما نتيجة ترتيب الذرات والجسيمات.
- تنطلق الطاقة الكيميائية الكامنة أو تُمتص على شكل حرارة أثناء العمليات أو التفاعلات الكيميائية.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

المفردات

- **الطاقة**
- **قانون حفظ الطاقة**
- **الطاقة الكامنة الكيميائية**
- **الحرارة**
- **سعر حراري**
- **جول**
- **الحرارة النوعية**

القسم 2 الحرارة

الفكرة **الرئيسة** التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما هو التغير في المحتوى الحراري للنواتج مطروحا منه التغير في المحتوى الحراري للمتفاعلات.

- في الكيمياء الحرارية يعرف الكون بأنه النظام والمحيط.
- الحرارة المفقودة أو المكتسبة بواسطة نظام ما خلال التفاعل أو العملية التي يتم تنفيذها تحت ضغط ثابت يسمى التغير في المحتوى الحراري (ΔH).
- عندما تكون ΔH موجبة، يكون التفاعل ماصًا للحرارة. عندما تكون ΔH سالبة، يكون التفاعل طاردًا للحرارة.

المفردات

- **الكالوريميتر "المُسعر"**
- **الكيمياء الحرارية**
- **النظام**
- **المحيط**
- **الكون**
- **التغير في المحتوى الحراري**
- **حرارة التفاعل**

القسم 3 المعادلات الكيميائية الحرارية

الفكرة **الرئيسة** تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن كمية الحرارة الناتجة أو الممتصة خلال التفاعلات الكيميائية.

- تتضمن المعادلة الكيميائية الحرارية الحالات الفيزيائية للمتفاعلات والنواتج وتحدد التغير في المحتوى الحراري.
- الحرارة المولية للتبخير، ΔH_{vap}، هو مقدار الطاقة المطلوبة لتبخير مول واحد من السائل.
- الحرارة المولية للانصهار، ΔH_{fus}، هو مقدار الطاقة المطلوبة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

المفردات

- **المعادلة الكيميائية الحرارية**
- **حرارة التفاعل**
- **الحرارة المولية للتبخير**
- **الحرارة المولية للانصهار**

القسم 4 حساب التغير في المحتوى الحراري

الفكرة **الرئيسة** يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما باستخدام قانون هس.

- التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما يمكن حسابه عن طريق جمع معادلتين أو أكثر من المعادلات الكيميائية الحرارية والتغيرات في محتواها الحراري.
- حرارة التكوين القياسية للمركبات يتم احتسابها اعتمادًا على حرارة التكوين القياسية لعناصرها في حالاتها القياسية.

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma\, \Delta H^\circ_f \text{(النواتج)} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{(المتفاعلات)}$$

المفردات

- **قانون هس**
- **حرارة التكوين القياسية**

القسم 5 تلقائية حدوث التفاعلات

الفكرة **الرئيسة** تحدد التغيرات في المحتوى الحراري والإنتروبي ما إذا كانت العملية تلقائية.

- الإنتروبي هو مقياس الاضطراب أو العشوائية في نظام ما.
- غالبًا ما ينشأ عن العمليات التلقائية زيادة في إنتروبي الكون.
- الطاقة الحرة هي الطاقة المتاحة للشغل. تشير إشارة التغير في الطاقة الحرة إلى ما إذا كان التفاعل تلقائيًا أم لا.

$$\Delta G_{\text{النظام}} = \Delta H_{\text{النظام}} - T\Delta S_{\text{النظام}}$$

المفردات

- **عملية تلقائية**
- **الإنتروبي**
- **القانون الثاني للديناميكا الحرارية**
- **الطاقة الحرة**

McGraw-Hill Education © حقوق الطبع والتأليف محفوظة لصالح مؤسسة

القسم 1

إتقان المفاهيم

53. قارن وميز بين درجة الحرارة والحرارة.

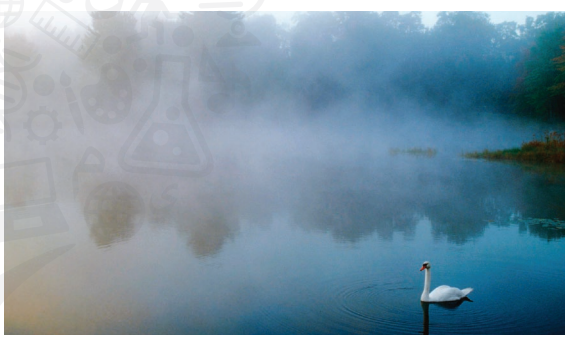
54. كيف تتغير طاقة الوضع الكيميائية لنظام ما خلال تفاعل ماص للحرارة؟

55. صف الحالة التي توضح تغير طاقة الوضع إلى طاقة حركية.

56. سيارات كيف تتحول الطاقة الموجودة في الجازولين وتتحرر عندما يحترق في محرك سيارة؟

57. تغذية كيف يمكن مقارنة السعر الغذائي بالسُعر؟ ما العلاقة بين السُعر الغذائي والكيلو سعر؟

58. ما الكمية التي وحدتها J/(g•°C)؟



■ **الشكل 22**

59. صف ما يمكن أن يحدث **في الشكل 22** حين يكون الهواء أعلى سطح البحيرة أبرد من الماء.

60. الحرارة النوعية للإيثانول هي 2.44 J/(g•°C). ماذا يعني هذا؟

61. اشرح كيف يتم حساب كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة جسم ما.

إتقان حل المسائل

62. تغذية عنصر غذائي يحتوي على 124 Cal. ما عدد السعرات الموجودة في هذا العنصر الغذائي؟

63. كم جول يتم امتصاصها في عملية تمتص 0.5720 kcal؟

64. المواصلات يستخدم الإيثانول كمادة تضاف إلى الجازولين. يحرر احتراق واحد مول من الإيثانول 1367 kJ من الطاقة. كم عدد السعرات الحرارية التي تُطلَق من هذا التفاعل؟

65. لتبخير 2.00 g من الأمونيا، نحتاج إلى 656 cal. كم كيلو جول يلزم لتبخير نفس الكتلة من الأمونيا؟

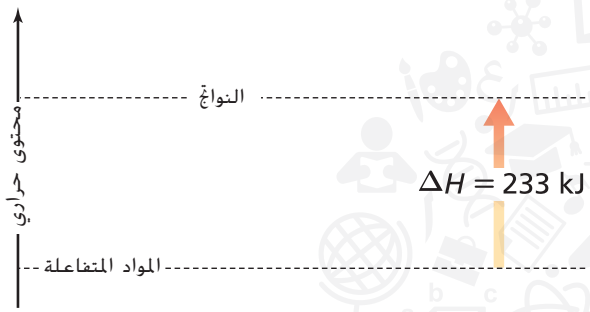
66. يحرر مول واحد من الإيثانول 326.7 Cal من الطاقة أثناء الاحتراق. كم كيلو جول يتحرر؟

67. علم المعادن مسمار كتلته 25.0 g مصنوع من سبيكة يمتص 250 J من الحرارة عندما تتغير درجة حرارته من 25.0°C إلى 78.0°C. فما الحرارة النوعية للسبيكة؟

القسم 2

إتقان المفاهيم

68. لم يستخدم كوب من البلاستيك الرغوي كمسعر خاص بالطلاب بدلًا من دورق زجاجي عادي؟



■ **الشكل 23**

69. هل التفاعل الموضح في **الشكل 23** ماص للحرارة أم طارد للحرارة؟ كيف يمكنك معرفة ذلك؟

70. اذكر مثالين على الأنظمة الكيميائية وعرف الكون بالنسبة لهذه الأمثلة.

71. في ظل أي ظروف تكون كمية الطاقة (q) المنطلقة أو الممتصة في تفاعل كيميائي مساوية للتغير في المحتوى الحراري (ΔH)؟

72. التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما ΔH له قيمة سالبة. إلام يشير ذلك فيما يتعلق بطاقة الوضع الكيميائية لنظام ما قبل وبعد التفاعل؟

73. ما إشارة ΔH لتفاعل طارد للحرارة؟ ولتفاعل ماص للحرارة؟

إتقان حل المسائل

74. كم جولًا من الحرارة تفقده كتلة جرانيت مقدارها 3850 kg عندما تقل درجة حرارتها من 41.2°C إلى −12.9°C؟ الحرارة النوعية للجرانيت هي 0.803 J/(g•°C).

75. حمام سباحة حمام سباحة أبعاده هي 20.0 m × 12.5 m ملئ بالماء حتى عمق 3.74 m فإذا كانت درجة الحرارة الأولية هي 18.4°C. فما مقدار الحرارة الذي يجب إضافته للماء لرفع درجة الحرارة إلى 29.0°C؟ افترض أن كثافة الماء 1.000 g/mL.

76. ما كمية الحرارة التي تمتصها قطعة من الرصاص كتلتها 44.7 g حين ترتفع درجة حرارتها بمقدار 65.4°C.

77. تحضير الطعام عند وضع 10.2 g من زيت الكانولا (اللفت) في قدر "وعاء" عند درجة حرارة 25.0°C، فإنه يحتاج إلى 3.34 kJ من الحرارة لتسخينه لدرجة حرارة 196.4°C. فما الحرارة النوعية لزيت الكانولا؟

78. السبائك عند وضع قطعة من سبيكة ساخنة كتلتها 58.8 g في 125 g من الماء البارد في كالوريميتر، تقل درجة حرارة السبيكة بمقدار 106.1°C، بينما ترتفع درجة حرارة الماء بمقدار 10.5°C. ما الحرارة النوعية لهذه السبيكة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 3

إتقان المفاهيم

79. ما إشارة $\Delta H_{\text{النظام}}$ لكل تغير من تغيرات الحالة الفيزيائية التالية:

a. $C_2H_5OH(s) \rightarrow C_2H_5OH(l)$

b. $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$

c. $CH_3OH(l) \rightarrow CH_3OH(g)$

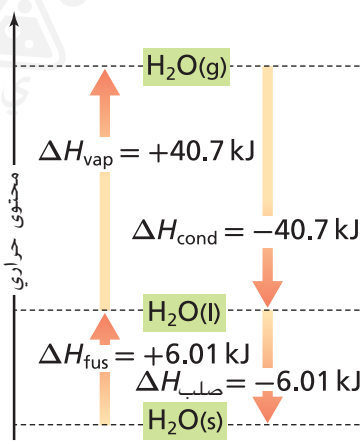
d. $NH_3(l) \rightarrow NH_3(s)$

80. الحرارة المولية لانصهار الميثانول تبلغ 3.22kJ/mol ماذا يعني هذا؟

81. فسر كيف يمكن للعرق أن يساعد في تبريد جسمك.

82. اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الميثان. وظف **جدول 3.**

إتقان حل المسائل



■ **الشكل 24**

83. وظف **الشكل 24** لحساب كمية الحرارة اللازمة لتبخير 4.33 mol من الماء عند درجة حرارة 100°C.

84. **زراعة** يتم رش الماء على مناطق في الأرض الزراعية خلال الليالي الباردة. إذا كان متوسط مقدار الماء الذي يتجمد في كل منطقة هو 11.8 g. فما كمية الحرارة الناتجة؟

85. **شواء** ما كتلة البروبان (C_3H_8) التي يجب حرقها لإنتاج 4560 kJ من الحرارة؟ حرارة احتراق البروبان ΔH_{comb} تساوي −2219 kJ/mol.

86. **التسخين بالفحم** ما كمية الحرارة المتحررة عند حرق 5.00 kg من الفحم إذا كان محتوى الكربون بالفحم 92% بحسب الكتلة والمواد الأخرى في الفحم لا تتفاعل؟ ΔH_{comb} للكربون هي −394 kJ/mol.

87. ما كمية الطاقة المتحررة عند تكثف 1255 g من الماء على هيئة سائل عند درجة حرارة 100°C؟

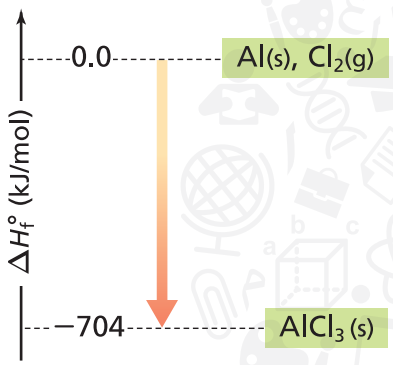
88. عينة أمونيا (ΔH_{solid} = -5.66 kJ/mol) يتحرر منها 5.66 kJ من الحرارة أثناء تحولها للحالة الصلبة عند درجة الانصهار. ما كتلة العينة؟

القسم 4

إتقان المفاهيم

89. بالنسبة لمركب معلوم، ما الذي تصفه حرارة التكوين القياسية؟

90. كيف تتغير قيمة ΔH في معادلة كيميائية حرارية حين يتم مضاعفة كافة كميات المواد ثلاث مرات ويتم عكس المعادلة؟



■ **الشكل 25**

91. استعن **بالشكل 25** لكتابة المعادلة الكيميائية الحرارية لتكوين واحد مول من كلوريد الألمنيوم من عناصره في حالتها القياسية.

إتقان حل المسائل

92. وظّف جدول قيم حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} للتفاعل التالي:

$$P_4O_6(s) + 2O_2(g) \rightarrow P_4O_{10}(s)$$

93. استخدم قانون هس والمعادلات الكيميائية الحرارية التالية لتكوين المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل، $C(s, \text{جرافيت}) \rightarrow C(s, \text{ماس})$ ما قيمة ΔH للتفاعل؟

a. $C(s, \text{جرافيت}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -394\ kJ$

b. $C(s, \text{ماس}) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -396\ kJ$

94. استخدم قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري للتفاعلين التاليين لحساب ΔH للتفاعل $2A + B_2C_3 \rightarrow 2B + A_2C_3$.

$$2A + \frac{3}{2}C_2 \rightarrow A_2C_3 \quad \Delta H = -1874\ kJ$$

$$2B + \frac{3}{2}C_2 \rightarrow B_2C_3 \quad \Delta H = -285\ kJ$$

القسم 5

إتقان المفاهيم

95. في أي ظروف يحتمل أن يصبح التفاعل الكيميائي الماص للحرارة والذي تزداد فيه إنتروبي النظام تلقائيًا؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

96. تنبأ كيف يتغير إنتروبي النظام للتفاعل $CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ فسر إجابتك.

97. أي من هذه التفاعلات تتوقع أن يكون تلقائيًا في درجات حرارة عالية نسبيًا؟ وأيهم تتوقع أن يكون تلقائيًا في درجات حرارة منخفضة نسبيًا؟ فسر إجابتك.

a. $2NH_3(g) \rightarrow N_2(g) + 3H_2(g)$ $\Delta H_{النظام} = 92\ kJ$

b. $2NO_2(g) \rightarrow N_2O_4(g)$ $\Delta H_{النظام} = -58\ kJ$

c. $CaCO_3(g) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ $\Delta H_{النظام} = 178\ kJ$

98. وضح كيف يغير تفاعل طارد للحرارة إنتروبي البيئة المحيطة به؟ هل التغير في المحتوى الحراري لهذا التفاعل يزيد أم يقل $\Delta G_{النظام}$؟

إتقان حل المسائل

99. احسب $\Delta G_{النظام}$ لكل عملية، ووضح ما إذا كانت العملية تلقائية أم غير تلقائية.

a. $\Delta H_{النظام} = 145\ kJ,\ T = 293\ K,\ \Delta S_{النظام} = 195\ J/K$

b. $\Delta H_{النظام} = -232\ kJ,\ T = 273\ K,\ \Delta S_{النظام} = 138\ J/K$

c. $\Delta H_{النظام} = -15.9\ kJ,\ T = 373\ K,\ \Delta S_{النظام} = -268\ J/K$

100. احسب درجة الحرارة التي تكون عندها $\Delta G_{النظام} = 0$ إذا كان $\Delta S_{النظام} = 55.2\ J/K$ و $\Delta H_{النظام} = 4.88\ kJ$.

101. بالنسبة لتغير الحالة $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$ تكون $\Delta G^\circ_{النظام} = 8.557\ kJ$ و $\Delta H^\circ_{النظام} = 44.01\ kJ$. ما قيمة $\Delta S^\circ_{النظام}$ لهذا التغير؟

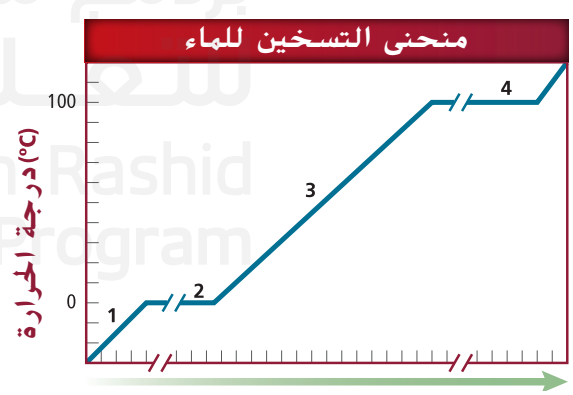
102. هل تفاعل تحويل كبريتيد النحاس (II) إلى كبريتات النحاس(II) في ظل ظروف قياسية تلقائي؟

$CuS(s) + 2O_2(g) \rightarrow CuSO_4(s)$. $\Delta H^\circ_{rxn} = -718.3\ kJ,\ \Delta S^\circ_{rxn} = -368 J/K$.

فسر إجابتك.

103. احسب درجة الحرارة التي تكون عندها $\Delta G^\circ_{النظام} = -34.7\ kJ$ إذا كان $\Delta H^\circ_{النظام} = 28.8\ kJ$ و $\Delta S^\circ_{النظام} = 22.2\ kJ$.

مراجعة عامة



■ **الشكل 26**

104. أُضيفت حرارة بشكل مستمر لعينة من الماء لإنتاج المنحنى الحراري في **الشكل 26**. وضح ما يحدث في الأقسام 1, 2, 3 و 4 على المنحنى.

105. ركوب الدرّاجات صف التحول في الطاقة الذي يحدث حين ينحدر راكب دراجة على منحنى طويل، ثم يقاوم لصعود المنحدر.

106. المشي لمسافات طويلة تخيل أنك قررت في يوم بارد أن تأخذ معك ترموس من الحساء الساخن وأنت تتنزه سيرًا لمسافة طويلة. وضح لم ينبغي عليك غسل الترموس بالماء الساخن أولا قبل وضع الحساء الساخن فيه.

107. فرّق بين حرارة تكوين كل من $H_2O(g)$و $H_2O(l)$. لم يكون من الضروري تحديد الحالة الفيزيائية للماء في المعادلة الكيميائية الحرارية التالية:

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O\ (l\ or\ g)\ \Delta H = ?$

التفكير الناقد

■ **الشكل 27**

108. حلل كلا الصورتين في **الشكل 27** بحسب طاقة الوضع للحالة الظاهرة في الصورة وطاقة الوضع الكيميائية والطاقة الحركية والحرارة.

109. طبق يعد كلوريد الفوسفور مادة أولية في تحضير مركبات الفوسفور العضوية. وضح كيف يمكن استخدام المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b لتحديد التغير في المحتوى الحراري للتفاعل $PCl_3(l) + Cl_2(g) \rightarrow PCl_5(s)$.

a. $P_4(s) + 6Cl_2(g) \rightarrow 4PCl_3(l)$ $\Delta H = -1280\ kJ$

b. $P_4(s) + 10Cl_2(g) \rightarrow 4PCl_5(s)$ $\Delta H = -1774\ kJ$

110. احسب لنفترض أن هناك قطعتين من الحديد كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى تمامًا وهما موضوعتان في كالوريميتر. إذا كانت درجتي الحرارة الابتدائية للقطعة الأكبر وللقطعة الأصغر هما 90°C و 50°C على التوالي، ما هي درجة حرارة القطعتين حين يحدث الاتزان الحراري؟ وظف **الجدول 2** لمعرفة الحرارة النوعية للحديد.

111. تنبأ أي من المركبين، غاز الميثان (CH_4) أو بخار الميثانال (CH_2O)، يمتلك حرارة احتراق أكبر. فسر إجابتك. (تلميح: اكتب وقارن بين المعادلات الكيميائية الحرارية لتفاعلي الاحتراق.)

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مسألة تحدّي

112. تم تحليل عينة غاز طبيعي ووجد أنها تحتوي على 88.4% ميثان (CH_4) و11.6% إيثان (C_2H_6) بحسب الكتلة. فإذا كانت حرارة احتراق الميثان $-891\ kJ/mol$ وينتج عن احتراقه ثاني أكسيد كربون (CO_2) وماء سائل (H_2O). اكتب معادلة احتراق غاز الإيثان التي ينتج عنها ثاني أكسيد الكربون وماء. احسب حرارة الاحتراق القياسية للإيثان مستخدمًا قيم حرارة التكوين القياسية الموجودة في جدول قيم حرارة التكوين القياسية. باستخدام الناتج وحرارة الاحتراق القياسية للميثان الموجودة في **الجدول 3**، احسب الطاقة المتحررة من احتراق كيلوجرام من الغاز الطبيعي.

مراجعة تراكمية

113. اكتب اسم المركبات الجزيئية التالية:

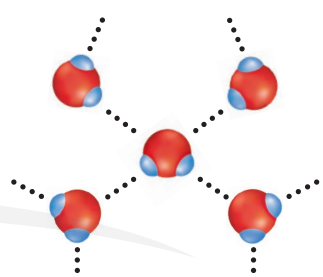
a. SO_3 c. S_2Cl_2

b. P_4O_{10} d. CS_2

114. حدد الكتلة المولية للمركبات التالية:

a. $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

b. $Fe(OH)_3$



■ **الشكل 28**

115. ما نوع الرابطة الكيميائية التي تمثلها الخطوط المتقطعة في **الشكل 28؟**

116. ما مولارية المحلول الذي يحضر بإذابة 25.0 g من ثيوسيانات الصوديوم (NaSCN) في كمية كافية من الماء لعمل محلول حجمه 500 mL؟

الكتابة في الكيمياء

117. وقود بديل استخدم عدة مصادر لتوضيح كيف يتم إنتاج الهيدروجين ونقله واستخدامه كوقود للسيارات. لخص مزايا وعيوب استخدام الهيدروجين كوقود بديل لمحركات الاحتراق الداخلي.

118. طاقة الرياح أجر بحثًا عن استخدام الرياح كمصدر للطاقة الكهربائية. اشرح مزايا وعيوب استخدامها.

DBQ أسئلة تعتمد على المستند

زيت الطهي قامت مجموعة بحث جامعية بحرق أنواع من زيوت الطهي في مسعر احتراق لتحديد ما إذا كان هناك علاقة بين حرارة الاحتراق وعدد الروابط الثنائية في جزيء الزيت. عادة يحتوي زيت الطهي على سلاسل طويلة من ذرات الكربون تتصل ببعضها إما عن طريق رابطة أحادية أو رابطة ثنائية. أي سلسلة ليس بها رابطة ثنائية يقال أنها مشبعة، والتي تحتوي على رابطة ثنائية واحدة على الأقل فهي زيوت غير مشبعة. حرارة الاحتراق للزيوت الأربعة تظهر في **الجدول 7**. استنتج الباحثون أن النتائج تنحرف بمقدار 0.6% واستنتجوا أنه لا يمكن التنبؤ بأن هناك رابط بين التشبع وحرارة الاحتراق عن طريق التجربة المستخدمة.

تم الحصول على البيانات من الموقع: حرارة الاحتراق للزيوت. أبريل 1998 جامعة بنسلفانيا.

الجدول 7 نتائج احتراق الزيوت

نوع الزيت	ΔH_{comb} (kJ/mol)
زيت الصويا	40.81
زيت الكانولا	41.45
زيت الزيتون	39.31
زيت زيتون بكر استثنائي	40.98

119. أي من الزيوت المختبرة توفّر أكبر قدر من الطاقة لكل وحدة كتلة عند الاحتراق؟

120. وفقًا للبيانات، ما كمية الطاقة التي تنتج من حرق 0.554 kg من زيت الزيتون؟

121. افترض أنه تم حرق 12.2 g من زيت الصويا واستخدمت الطاقة الناتجة جميعها في تسخين 1600 Kg من الماء درجة حرارته الابتدائية 20°C. ما هي درجة الحرارة النهائية للماء؟

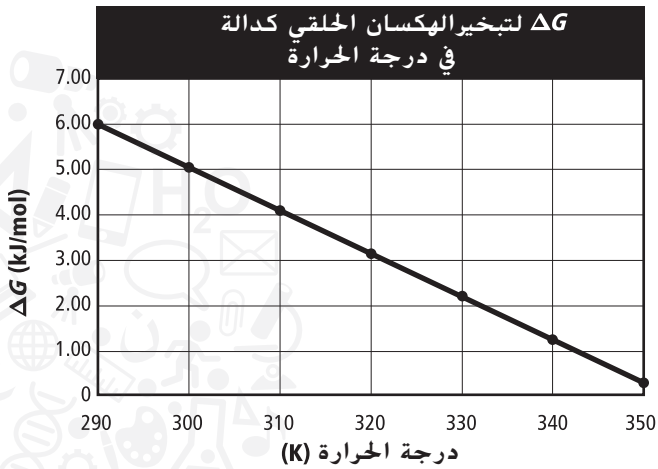
122. يمكن استخدام الزيوت كوقود. كم جرام من زيت الكانولا يجب حرقها لتوفير الطاقة اللازمة لتبخير 25 g من الماء؟ ($\Delta H_{vap} = 40.7 kJ/mol$).

برنامج محمد بن راشد للتعلم الإلكتروني
Mohammed Bin Rashid Smart eLearning Program

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

اختيار من متعدد

استخدم الرسم البياني أدناه للإجابة على الأسئلة من 1 إلى 3.



1. في نطاق درجات الحرارة الموضحة، فإن تبخر الهكسان الحلقي
A. لا يحدث مطلقًا.
B. سوف يحدث تلقائيًا.
C. غير تلقائي.
D. يحدث فقط في درجات الحرارة العالية .

2. ما الطاقة الحرة القياسية لتبخير الهكسان الحلقي ΔG°_{vap} عند 300 K؟

A. 5.00 kJ/mol **C.** 3.00 kJ/mol
B. 4.00 kJ/mol **D.** 2.00 kJ/mol

3. عندما يتم رسم ΔG°_{vap} مقابل درجة الحرارة فإن ميل الخط يساوي ΔS°_{vap} فما قيمة ΔS°_{vap}؟

A. −50.0 J/mol·K **C.** −5.0 J/mol·K
B. −10.0 J/mol·K **D.** −100 J/mol·K

4. ما الذي يكونه فلز الإيتريوم، والذي عدده الذري 39؟
A. أيونات موجبة
B. أيونات سالبة.
C. كلٌّ من الأيونات الموجبة والسالبة.
D. لا يكوّن أي أيونات على الإطلاق

5. تبعًا للتفاعل $2Al + 3FeO \rightarrow Al_2O_3 + 3Fe$ ما النسبة المولية بين أكسيد الحديد(II) وأكسيد الألمنيوم؟

A. 2:3 **C.** 3:2
B. 1:1 **D.** 3:1

استخدم الجدول أدناه للإجابة على السؤال 6.

السالبية الكهربائية للعناصر المختارة						
H						
2.20						
Li	Be	B	C	N	O	F
0.98	1.57	2.04	2.55	3.04	3.44	3.98
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
0.93	1.31	1.61	1.90	2.19	2.58	3.16

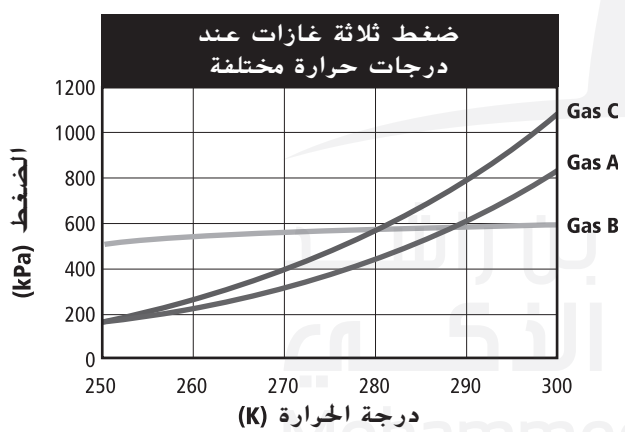
6. ما الرابطة الأكثر قطبية؟

A. H–H **C.** H–N
B. H–C **D.** H–O

7. العنصر Q لديه تأكسد2+، بينما العنصر M لديه تأكسد 3−. ما الصيغة الصحيحة لمركب مكون من العنصرين M و Q؟

A. Q_2M_3 **C.** Q_3M_2
B. M_2Q_3 **D.** M_3Q_2

استعن بالرسم البياني أدناه للإجابة على السؤال 8



8. ما ضغط الغاز B عند 295 K؟

A. 500 kPa **C.** 700 kPa
B. 600 kPa **D.** 900 kPa

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

أسئلة ذات إجابات قصيرة

استعن بالشكل أدناه للإجابة على الأسئلة 9 إلى 11.

$\cdot\dot{S}:$ $:\dot{Cl}:$ $:\dot{Ar}:$ $K\cdot$ $\dot{Ca}\cdot$

9. فسِّر عدم إحتمالية تكوين الأرجون لمركب.

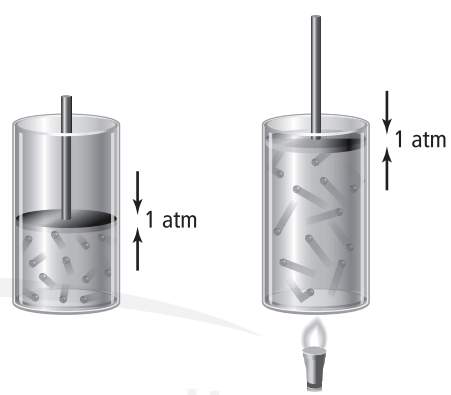
10. ما الصيغة الكيميائية لكلوريد الكالسيوم؟ فسِّر سبب تكون هذا المركب الأيوني باستخدام الترميز النقطي للإلكترون الموضح أعلاه.

11. استعن بالترميز النقطي للإلكترون لتفسير الشحنة الكهربائية للكبريت عندما يُكّون أيون.

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

استعن بالمعلومات المذكورة أدناه للإجابة على الأسئلة 12 و 13.

تشغل عينة من الغاز حجم معين عند ضغط 1 atm. إذا ظل الضغط ثابتًا، ستؤدي الحرارة إلى تمدد الغاز، كما هو موضح أدناه.



12. اذكر قانون الغاز الذي يصف سبب شغل الغاز في العلبة الثانية لحجم أكبر عن الغاز في العلبة الأولى.

13. إذا كان حجم الغاز في العلبة الأولى 2.1 L عند درجة حرارة 300.0 K. فلأي مدى يجب تسخين العلبة الثانية لتصل إلى حجم 5.4 L؟ اعرض ما أعددته والجواب النهائي.

اختبار الكفاءة الدراسية (SAT) في مادة: الكيمياء

14. الحرارة النوعية للإيثانول 2.44 J/g•°C. فكم كيلو جول من الطاقة يلزم لتسخين 50.0 g من الإيثانول من −20.0°C إلى 68.0°C؟

A. 10.7 kJ
B. 8.30 kJ
C. 2.44 kJ
D. 1.22 kJ
E. 5.86 kJ

15. إذا تم وضع 300 g من رقائق الألمنيوم في فرن وتم تسخينها من 20.0°C إلى 662.0°C وامتصت 1723 J من الحرارة، فما الحرارة النوعية للألمنيوم؟

A. 0.131 J/g•°C
B. 0.870 J/g•°C
C. 0.897 J/g•°C
D. 2.61 J/g•°C
E. 0.261 J/g•°C

استعن بالجدول أدناه للإجابة على السؤالين 16 و 17.

بيانات الكثافة والسالبية الكهربائية للعناصر

العنصر	الكثافة (g/ml)	السالبية الكهربائية
الألمنيوم	2.698	1.6
الفلور	1.696×10^{-3}	4.0
الكبريت	2.070	2.6
النحاس	8.960	1.9
المغنيسيوم	1.738	1.3
الكربون	3.513	2.6

16. عينة من فلز معين كتلتها 9.250 g وحجمها 5.250 mL. فما هو هذا الفلز؟

A. الألمنيوم
B. المغنيسيوم
C. الكربون
D. النحاس
E. الكبريت

17. أي عنصرين يُحتمل أن يكونا رابطة أيونية؟

A. الكربون والكبريت
B. الألمنيوم والمغنيسيوم
C. النحاس والكبريت
D. المغنيسيوم والفلور
E. الألمنيوم والكربون

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education