# 1 التركيز

## الفكرة الرئيسة

**استخدم قانون هس** للتأكد من عدم رهبة الطلاب من التعقيد الظاهري عند استخدام قانون هس عند قراءتهم هذا القسم لأول مرة، عليك بتوجيههم من خلال استخدام المثال الموجود في بداية القسم.

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

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

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

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

اسأل عن الصيغ التي يتم إلغاؤها عند جمع **c** و **d** لإنتاج المعادلة المطلوبة.
$2SO_2(g)$ يُلغى من طرفي المعادلة النهائية. ض م

# 2 التدريس

## تطوير المفاهيم

**قانون هس** ساعد الطلاب على فهم قانون هس باستخدام هذا التشبيه. افترض أنك ستذهب في رحلة طويلة بالسيارة. فإذا قدت مسافة 800 km في اليوم الأول و 720 km في اليوم الثاني و 600 km في اليوم الثالث و 680 km في اليوم الرابع، يمكنك حساب إجمالي مسافة الرحلة بجمع المسافات المقطوعة خلال الأيام.
(800 km + 720 km + 600 km + 680 km = 2800 km) وضّح أنه، إذا كان التفاعل هو مجموع تفاعلين أو أكثر، فإن إجمالي التغيرات في المحتوى الحراري لهذين التفاعلين أو أكثر هو التغير في المحتوى الحراري للتفاعل بشكل عام. ض م



### الأسئلة الرئيسة

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

### مراجعة المفردات

**المتآصل 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 |

# حساب التغير في المحتوى الحراري

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

## 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 $\Delta H$ في تفاعل ما باستخدام الكالوريميتر. يبين **الشكل 12**، تحويل الكربون من صورته التآصلية الماس، إلى صورته التآصلية الجرافيت.

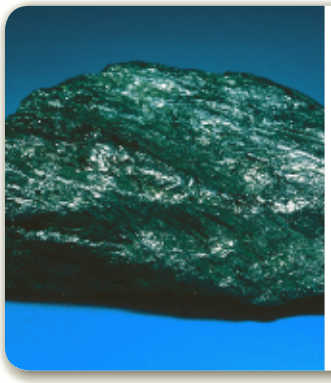
$$C(s, \text{ماس}) \rightarrow C(s, \text{جرافيت})$$

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 $\Delta H$.

لنفترض أنك تدرس تكوين ثالث أكسيد الكبريت في الهواء الجوي. ستحتاج لحساب $\Delta H$ لهذا التفاعل.

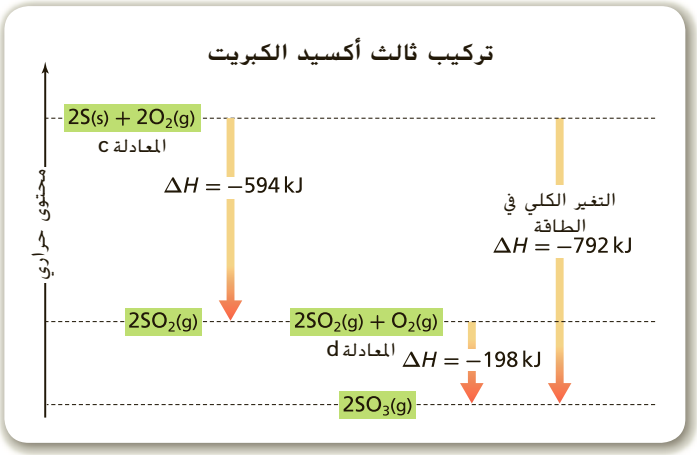
$$2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = ?$$

لسوء الحظ ينتج عن التجارب المعملية لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت وحساب $\Delta H$ مزيج من النواتج غالبًا ما تكون ثاني أكسيد الكبريت ($SO_2$) في مواقف مثل هذه. يمكنك حساب $\Delta H$ 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 $\Delta H$ 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 $\Delta H$ 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 $\Delta H$.

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

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.

## تطوير المفاهيم

**المزيد حول قانون هس** وضّح تطبيق قانون هس باستخدام هذه المعادلات العامة

$A + B \rightarrow C;\ C + D \rightarrow E + B$

وضّح كيف يمكن إزالة C و B من المعادلة بأكملها حيث إنهما موجودان بكميات متساوية في طرفي المعادلة. وضّح أن مجموع المعادلتين هو $A + D \rightarrow E$.

■ **سؤال الشكل 13** +792 kJ

## دفتر الكيمياء

**موازنة دفتر شيكات** اطلب إلى الطلاب وصف أوجه الشبه بين موازنة دفتر شيكات وحساب $\Delta H$ لتفاعل كيميائي باستخدام قانون هس. إذا لم يكن لديهم حساب جارٍ أو لم يعرفوا كيفية موازنة الحساب، فقدّم لهم مثالاً وبيّن لهم كيفية موازنة الحساب. اطلب إليهم إدراج وصفهم في دفاتر الكيمياء الخاصة بهم. ض م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

## مثال في الصف

**سؤال** حدد $\Delta H$ للتفاعل
$C(s, \text{جرافيت}) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO(g)$
باستخدام المعادلات الكيميائية الحرارية التالية.

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

**B.** $CO(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g)\ \Delta H = -283\ kJ$

**الإجابة** $\Delta H = -111\ kJ$
كوّن المعادلة C عن طريق عكس المعادلة B وتغيير علامة $\Delta H$.

**C.** $CO_2(g) \rightarrow CO(g) + 1/2\ O_2(g)\ \Delta H = 283\ kJ$

اجمع المعادلتين A و C لإنتاج المعادلة المطلوبة.

$1/2\ O_2(g) + (Cs, \text{جرافيت}) \rightarrow CO(g)$

إضافة قيم $\Delta H$ للمعادلات A و C يُنتج $-111\ kJ$.

**التأكد من فهم النص** تمت كتابة المعادلة المذكورة أعلاه لتكوين 1 mol من $SO_3$ باستخدام معامل كسري. تمت كتابة المعادلة الواردة بالصفحة السابقة لتكوين مولين من $SO_3$. لذلك، فإن $\Delta H$ للمعادلة الواردة بالصفحة السابقة يعتبر ضعف $\Delta H$ للمعادلة المذكورة أعلاه.

## عرض توضيحي سريع

**التحلل الطارد للحرارة**

**تحذير: يعتبر بيروكسيد الهيدروجين 30% عامل أكسدة قوياً ويمكن أن يُسبب حروقاً شديدة. ارتدِ واقياً للعين ومريول المختبر وقفازات مطاطية. نفذ العرض التوضيحي داخل خزانة الغازات.** ضع مخبارًا زجاجيًا مدرجًا سعته 100 mL في وعاء أو حوض. أضف 5 mL من بيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) و 5 mL من منظف غسيل الأطباق السائل. استخدم ملعقة صغيرة لإضافة حوالي 1 g من يوديد البوتاسيوم (KI) للمخبار. يحفز تحلل ($H_2O_2$). يتحلل $H_2O_2$ سريعًا إلى $H_2O$ و $O_2$. مطلقًا الكثير من الحرارة ومكونًا $O_2$ مع تكوّن رغوة.

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:

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

**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 $\Delta H$ لتفكك بيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) وهو مركب له استخدامات متعددة تتراوح من تبييض الشعر وحتى تزويد مُحرّكات الصواريخ بالطاقة.

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

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

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

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

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

**مجهول**

$\Delta H = ?\ kJ$

### 2 حساب المجهول

$H_2O_2$ هو مادة متفاعلة.

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

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.

$\Delta H$ c للمعادلة $= (188\ kJ)(2)$ — اضرب 188kJ في اثنين للحصول على $\Delta H$ للمعادلة c.
$= 376\ kJ$

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

اجمع المعادلتين a وc، مع إلغاء. اجمع $\Delta H$ للمعادلتين a وc.

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

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

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

### 3 تقييم الإجابة

ينتج عن جمع المعادلتين المعادلة المطلوبة.

## دفتر الكيمياء

### معادلات التكوين الكيميائية الحرارية

اطلب إلى الطلاب كتابة معادلات التكوين الكيميائية الحرارية للمركبات التالية ووضعها في دفاترهم اليومية: سيانيد الفضة ض م

| | |
|---|---|
| سيانيد الفضة (s) | $\Delta H_f^\circ = 146\ kJ/mol$ |
| هيدروكسيد المغنيسيوم (s) | $\Delta H_f^\circ = -925\ kJ/mol$ |
| خماسي فلوريد الفوسفور (g) | $\Delta H_f^\circ = -1578\ kJ/mol$ |
| $CH_3COOH(l)$ | $\Delta H_f^\circ = -484\ kJ/mol$ |

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

## تطبيق

**32.** استخدم المعادلتين **a** و **b** لحساب $\Delta H$ للتفاعل التالي:

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

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

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

**33. تحدي** $\Delta H$ للتفاعل التالي $-1789\text{kJ}$. استخدم ذلك مع المعادلة **a** لحساب $\Delta H$ للمعادلة **b**.

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

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

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

## حرارة التكوين القياسية

يسمح لك قانون هس بحساب قيم $\Delta H$ المجهولة باستخدام التفاعلات المعلومة وقيم $\Delta H$ التي تم حسابها بشكل تجريبي. ومع ذلك، فتدوين قيم $\Delta H$ 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 $\Delta H$ لهذا التفاعل تسمى حرارة التكوين القياسية للمركب. **حرارة التكوين القياسية** ($\Delta H_f^\circ$) 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.

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

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

## التدريس المتمايز

**متعلمون فوق المستوى** اطلب إلى الطلاب استخدام المحتوى الحراري لاحتراق السكروز (−5644 kJ/mol) والمحتوى الحراري لتكون غاز ثاني أكسيد الكربون والماء السائل لحساب $\Delta H_f^\circ$ للسكروز.

$$C_{12}H_{22}O_{11}(s) + 12O_2(g) \rightarrow 12CO_2(g) + 11H_2O(l)$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = S\Delta H^\circ_f(\text{products}) - S\Delta H^\circ_f(\text{reactants})$$

$$-5644\text{ kJ} = (12(-394\text{ kJ}) + 11(-286\text{ kJ})) - \Delta H^\circ_{f\ \text{سكروز}}$$

$$\Delta H^\circ_{f\ \text{سكروز}} = -2230\text{ kJ}$$ أم

## تطبيق

**32.** $-385.4\text{ kJ}$

**33.** لأنه تم عكس المعادلة $b$، $\Delta H$ للمعادلة $b = -521\text{ kJ}$.

## عرض توضيحي سريع

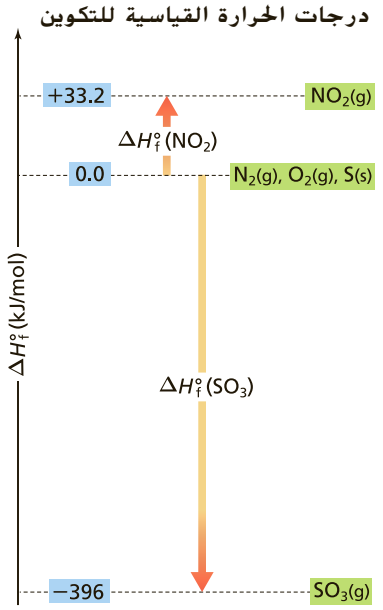
**حرق السكر** وضّح الاحتراق الطارد للحرارة لسكر المائدة برش بعض من الرماد الناعم من قطعة خشبية على مكعب سكر. يعمل الغبار الخشبي كحفاز للاحتراق. استخدم ملقطًا لوضع مكعب السكر في لهب الموقد. يمكن وضع الكربون الناتج في سلة المهملات عندما يبرد. اطلب إلى الطلاب كتابة المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق السكروز وتحوله إلى غاز ثاني أكسيد الكربون والماء السائل.

$$C_{12}H_{22}O_{11}(s) + 12O_2(g) \rightarrow 12CO_2(g) + 11H_2O(l);\ \Delta H = -5644\text{ kJ}$$

## تطبيقات الكيمياء

**مضخات التدفئة** اشرح كيف أن الكثير من المنازل في الإمارات العربية المتحدة يتم تدفئتها وتبريدها بواسطة مضخات تدفئة والتي تستخدم التبخير الماص للحرارة والتكثيف الطارد للحرارة لمركبات التبريد والتي تسمى بالهيدروكلوروفلوروكربون (HCFCs) والتي تتألف من عناصر الهيدروجين والكلور والفلور والكربون. تتميز مركبات HCFC بمحتواها الحراري العالي للتبخر والتكثيف. وضِّح أن المضخات الحرارية تشبه الثلاجة من حيث إمكانية عملها في اتجاهين. ففي فصل الصيف، تستخدم المضخات الحرارية عملية التبخير الماص للحرارة للمبرد لامتصاص الحرارة من داخل المنزل وتستخدم عملية التكثيف الطارد للحرارة للمبرد لطرد الحرارة في الهواء الخارجي. وفي فصل الشتاء، تستخدم المضخات الحرارية عملية التبخير الماص للحرارة للمبرد لامتصاص الحرارة من الهواء الخارجي البارد وتستخدم عملية التكثيف الطارد للحرارة لنقل الحرارة داخل المنزل. سيتم الإلغاء التدريجي لاستخدام مركبات HCFC نظرًا لخصائص المواد المستنفذة لطبقة الأوزون ولكن يتم تطوير مركبات أخرى لتحل محل مركبات HCFC.

■ **سؤال الشكل 15**
$H_2O$ يجب وضعه تحت 0.0 kJ حوالي ثلاثة أرباع المسافة إلى −396 kJ.




■ **الشكل 15** $\Delta H_f^\circ$ 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 $\Delta H_f^\circ$ 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 $\Delta H_f^\circ$ 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 $\Delta H_f^\circ = -286$ kJ/mol***

**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 $\Delta H_f^\circ$ 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 $\Delta H$ المحسوبة تجريبيًا للتفاعل تساوي +33.2 kJ هذا يعني أنه يتم امتصاص 33.2 kJ من الطاقة في تفاعل ماص للحرارة. محتوى طاقة الناتج $NO_2$ وهو 33.2 kJ أكبر من محتوى طاقة المواد المتفاعلة. على تدريج تكون فيه $\Delta H_f^\circ$ للمتفاعلات تساوي 0.0 kJ فتكون $\Delta H_f^\circ$ 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 $\Delta H_f^\circ$ هو 396 kJ−. **الجدول 5** يبين حرارة التكوين القياسية لبعض المركبات الشائعة. توجد قائمة أكثر تفصيلًا في **الجدول R–11**.

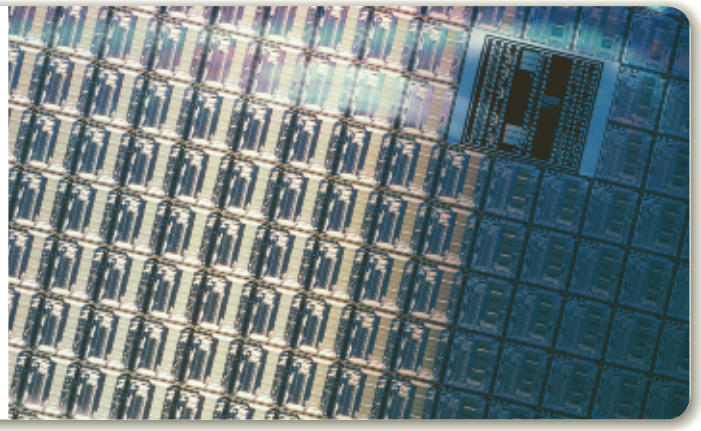
**الجدول 5 حرارة التكوين القياسية**

| المركب | معادلة التكوين | $\Delta H_f^\circ$ (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 |

## مشروع الكيمياء

**جيرمان هس** اطلب إلى الطلاب البحث في حياة جيرمان هس وتقديم النتائج التي توصلوا إليها في تقرير أو خط زمني أو رسوم. اطلب إلى الطلاب إدراج الأحداث السياسية والعلمية الكبرى والمتعددة التي عاشها هس. اسأل الطلاب عن كيفية تأثير تلك الأحداث على البحث العلمي خلال الفترة التي عاشها هس. ض م أم

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 $\Delta H^\circ_{rxn}$ للعديد من التفاعلات في ظروف قياسية باستخدام قانون هس. لنفترض أنك ترغب في حساب $\Delta H^\circ_{rxn}$ 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.** $\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}F_2(g) \rightarrow HF(g) \qquad \Delta H_f^\circ = -273\ kJ$

**b.** $S(s) + 3F_2(g) \rightarrow SF_6(g) \qquad \Delta H_f^\circ = -1220\ kJ$

**c.** $H_2(g) + S(s) \rightarrow H_2S(g) \qquad \Delta H_f^\circ = -21\ kJ$

**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 $\Delta H_f^\circ$.

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

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

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

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

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

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

## التقويم

**الأداء** اجعل الطلاب يشكلوا مجموعات (مؤيدة ومعارضة) للبحث عن ومناقشة استخدام الوقود الأحفوري باعتباره مصدرًا للطاقة وتوليد الطاقة الكهربائية في الإمارات العربية المتحدة. تأكد من أن هذه المجموعات تُدرج الاعتبارات الاقتصادية والبيئية في مناقشاتهم. ض م

**التعلم التعاوني**

## التعلم بالوسائل البصرية

**الجدول 5** اطلب إلى الطلاب اختيار ثلاثة تفاعلات، بخلاف تفاعل تكوين $NO_2(g)$ والذي تم عرضه في شكل 15، من قائمة جدول 5 ورسم رسوم بيانية توضح تغيرات الطاقة في هذه التفاعلات. اطلب إليهم استخدام شكل 15 كنموذج لرسومهم البيانية. ض م

## دفتر الكيمياء

**الكيميائية إلى الكيميائية الحرارية** اطلب إلى الطلاب اختيار خمس معادلات من التطبيق الوارد في وحدة التفاعلات الكيميائية. اطلب إليهم البحث عن حرارة التكوين لجميع المواد المتفاعلة والمواد الناتجة وحساب $\Delta H$ لكل تفاعل. وأخيرًا، اطلب إليهم تحويل كل معادلة كيميائية إلى أخرى كيميائية حرارية. يجب على الطلاب تلخيص النتائج التي توصلوا إليها في جداول وإدراج هذه الجداول في دفاتر الكيمياء الخاصة بهم. ض م

## مثال في الصف

**سؤال** استخدم حرارة التكوين القياسية من الجدول R-11 لحساب $\Delta H^\circ_{rxn}$ التفاعل التالي:

$$CH_4(g) + 2Cl_2(g) \rightarrow CCl_4(l) + 2H_2(g)$$

**الإجابة**

$$\Delta H^\circ_{rxn} = -53.6\ kJ$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = -128.2\ kJ - (-74.6\ kJ)$$

$$= -53.6\ kJ$$

## تطبيق

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

تكوين NO: $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$

تكوين $NO_2$: $N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2$

NO هي مادة متفاعلة في المسألة، لذا أضف معادلة تكوين NO العكسية إلى معادلة تكوين $NO_2$:

$$2NO + N_2 + 2O_2 \rightarrow N_2 + O_2 + 2NO_2$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

**b.** $H_2(g) + S(s) + 2O_2(g) \rightarrow H_2SO_4(l)$

$$SO_3(g) \rightarrow S(s) + \frac{3}{2}O_2(g)$$

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

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

**35.** $-1398\ kJ$

**36.** $-2186\ kJ$

**37.** $33.2\ kJ$

**معادلة الجمع** يوضح إجراء الخطوات الذي قرأته في الصفحة السابقة كيف يمكن جمع معادلات حرارة التكوين القياسية لإنتاج المعادلة المطلوبة و $\Delta H^\circ_{rxn}$. يمكن تلخيص الإجراء في الصياغة التالية:

### معادلة الجمع

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

$\Delta H^\circ_{rxn}$ تمثل حرارة التفاعل القياسية.

$\Sigma$ يمثل مجموع الحدود.

$\Delta H^\circ_f$ (النواتج) و $\Delta H^\circ_f$ (المواد المتفاعلة) تمثل حرارة التكوين القياسية لكافة النواتج وكافة المواد المتفاعلة.

$\Delta H^\circ_{rxn}$ 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

**إيجاد التغير في المحتوى الحراري من حرارة التكوين القياسية** استخدم حرارة التكوين القياسية لحساب $\Delta H^\circ_{rxn}$ 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 | مجهول |
|---|---|
| $\Delta H^\circ_f(CO_2) = -394\ kJ$ | $\Delta H^\circ_{rxn} = ?\ kJ$ |
| $\Delta H^\circ_f(H_2O) = -286\ kJ$ | |
| $\Delta H^\circ_f(CH_4) = -75\ kJ$ | |
| $\Delta H^\circ_f(O_2) = 0.0\ kJ$ | |

### 2 حساب المجهول

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

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

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

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 $\Delta H^\circ_f(CO_2) = -394\ kJ$، $\Delta H^\circ_f(H_2O) = -286\ kJ$، $\Delta H^\circ_f(CH_4) = -75\ kJ$ و $\Delta H^\circ_f(O_2) = 0.0\ kJ$ 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.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

## 3 تقييم الإجابة

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

### تطبيق

**34.** وضح كيف ينتج عن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلًا من التفاعلات التالية:. ليس هناك حاجة للبحث واستخدام قيم $\Delta H$.

**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 $\Delta H^\circ_{rxn}$ للتفاعل التالي:

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

**36.** احسب $\Delta H^\circ_{comb}$ لحمض البيوتانويك. $C_3H_7COOH(l) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 4H_2O(l)$.
استخدم جدول قيم حرارة التكوين القياسية والمعادلة التالية:

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

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

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

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

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

ما قيمة $\Delta H^\circ_f$ 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 $\Delta H^\circ_{rxn}$.

**39. اشرح** بالكلمات الصيغة التي يمكن استخدامها لحساب $\Delta H^\circ_{rxn}$ عند استخدام قانون هس.

**40. صف** 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 $\Delta H$ للتفاعل التالي:
$NO(g) + O(g) \rightarrow NO_2(g) \quad \Delta H = ?$ إذا علمت التفاعلات التالية:

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

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

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

**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 K.

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

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

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

# 3 التقويم

## التحقق من الاستيعاب

اسأل الطلاب هل تكون العناصر في حالاتها القياسية ذات طاقة تساوي صفر؟ لا اسأل، "إذا كان الأمر كذلك، فلماذا تُحدد العناصر في حالتها القياسية محتويات حرارية صفرية؟" إنها تُحدد محتويات حرارية صفرية لإرساء قيمة قياسية يمكن مقارنتها بالمحتويات الحرارية للمركبات أو المحتويات الحرارية للعناصر في حالتها غير القياسية. ض م

## إعادة التدريس

اسأل الطلاب عن كيفية استخدامهم بيانات حرارة التكوين لحساب $\Delta H$ لكل تفاعل لا يستطيعون تنفيذه. اكتب معادلة التفاعل. ثم استخدم الصيغة $\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma\Delta H^\circ_f(\text{products}) - \Sigma\Delta H^\circ_f(\text{reactants})$. ض م

## التوسع

وفّر للطلاب هذه البيانات: $\Delta H^\circ_f$ (الكربون، الجرافيت) = 0.0 kJ/mol, $\Delta H^\circ_f$ (الكربون، الماس) = 1.9 kJ/mol. اطلب إليهم كتابة معادلة تحويل الجرافيت إلى ماس وحدد $\Delta H_{rxn}$. C(جرافيت) → C(ماس); $\Delta H_{rxn}$ = 1.9 kJ − 0.0 kJ = 1.9 kJ. اسأل عن الحالة القياسية للكربون. الجرافيت ض م

### التقويم

**المعرفة** اطلب إلى الطلاب كتابة معادلة تكوين نيترات النحاس (II) الصلب. $Cu(s) + N_2(g) + 3O_2(g) \rightarrow Cu(NO_3)_2(s)$ اسأل الطلاب ماذا يُسمى تغير المحتوى الحراري للمعادلة. حرارة تكوين نيترات النحاس (II) الصلبة ض م

## القسم 4 مراجعة

**38.** ينص قانون هس على أنه إذا تم جمع معادلتين أو أكثر إلى معادلة كلية، فإن $\Delta H^\circ_{rxn}$ المعادلة الكلية، ستصبح مجموع قيم $\Delta H^\circ_{rxn}$ المعادلات التي تم جمعها.

**39.** $\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma\Delta H^\circ_f(\text{products}) - \Sigma\Delta H^\circ_f(\text{reactants})$.
يعادل المحتوى الحراري للتفاعل في ظل الظروف القياسية (298 K و 1 atm) مجموع حرارة التكوين القياسية للمواد الناتجة ناقص مجموع حرارة التكوين القياسية للمواد المتفاعلة.

**40.** يتم تخصيص حرارة تكوين تساوي صفر لهذه المواد.

**41.** تعتبر جميع المركبات المدرجة بالجدول 5 أكثر ثباتًا من العناصر المكونة لها.

**42.** $NO(g) + O(g) \rightarrow NO_2(g)$.
$\Delta H = -233\ kJ$

**43.** سوف تعرض الرسوم الماء السائل عند 285.8 kJ/mol أقل من 0.0 kJ وماء غازي عند 241.8 kJ/mol أقل من 0.0 kJ. حرارة التبخر هي فرق الطاقة بين الحدين أو −241.8 kJ − (−285.8 kJ) = 44.0 kJ.