

هيكل مادة الكيمياء الصف الثاني عشر

الفصل الأول

2024

أ. كوثر هندأوي

لكل أمنية موعد
حقق ذلك
بدراستك

القانون

$$\begin{array}{c} \text{Kcal} \\ \text{cal} \end{array} \begin{array}{c} \xrightarrow{\times 1000} \\ \xleftarrow{\div 1000} \end{array} \begin{array}{c} \text{J} \\ \text{cal} \end{array} \begin{array}{c} \xrightarrow{\times 4.184} \\ \xleftarrow{\times 0.239} \end{array} \begin{array}{c} \text{kJ} \\ \text{J} \end{array} \begin{array}{c} \xrightarrow{\div 1000} \\ \xleftarrow{\times 1000} \end{array}$$

1. تحتوي حبة حلوى الفواكه والشوفان على 142 Cal من الطاقة. ما مقدار هذه الطاقة بوحدة cal؟
142 Cal = 142 kcal
 بما أن \blacktriangleleft حوّل من وحدة kcal إلى وحدة cal.

$$142 \text{ kcal} \times \frac{1000 \text{ cal}}{\text{kcal}} = 142000 \text{ cal}$$

2. يُطلى تفاعل طارد للطاقة 86.5 kJ من الحرارة. ما مقدار الحرارة التي أُطلقت بوحدة kcal؟
 حوّل من وحدة kJ إلى وحدة kcal.

$$86.5 \text{ kJ} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4.184 \text{ kJ}} = 20.7 \text{ kcal}$$

3. تحفيز عرّف وحدة طاقة جديدة، وسَمّها باسمك، واجعل قيمتها عُشر شعور. ما عوامل التحويل التي تربط هذه الوحدة الجديدة مع الجول J، ومع الشعير الغذائي Cal؟

$$\begin{aligned} X \text{ وحدة} &= 0.1 \text{ cal} \\ 1 \text{ cal} &= 4.184 \text{ J} \\ X &= (0.1 \text{ cal})(4.184 \text{ J/cal}) = 0.4184 \text{ J} \\ 1 \text{ cal} &= 0.001 \text{ Cal} \\ X &= (0.1 \text{ cal})(1 \text{ Cal}/1000 \text{ cal}) = 0.0001 \text{ Cal} \end{aligned}$$

في محرك السيارة، يتحول جزء من طاقة الوضع الكيميائية للأوكتان لتقوم بهمة 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 ليعبر عن الحرارة، وهي الطاقة التي تنتقل من جسم أكثر سخونة إلى جسم أقل سخونة. عندما ينتقل الجسم الأكثر سخونة الطاقة، تنخفض درجة حرارته. عندما ينتقل الجسم الأقل سخونة الطاقة، ترتفع درجة حرارته.

قياس الحرارة

يُعتبر انتقال الطاقة والتغير في درجة الحرارة معنانيين لكيفية قياس الحرارة. تُعرف كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء النقي درجة سيليزية واحدة (1°C) بـ **السعر (cal)**. عندما يحرق جسيمك السكريات والدهون ليكوّن ثاني أكسيد الكربون والماء، فإن هذه التفاعلات 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 الزيت لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء، فسيتم إطلاق 100 kcal من الحرارة.

تناس | طاقة في النظام الدولي للوحدات SI بالجول (J) والجول الواحد يعادل 4.184 سعرة حرارية. والسعر الحراري الواحد يساوي 4.184 جول. الجول الواحد يعادل 0.239 سعرة حرارية. والسعرات الحرارية الغذائية، والجول، والكيلوجول (kJ) ومعاملات التحويل التي يمكنك استخدامها لتحويل من وحدة إلى أخرى.

الجدول 1 العلاقات بين وحدات الطاقة

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

وزارة

أي مما يلي يحتوي على أكبر كمية من السعرات الغذائية Cal؟

86.5 kJ

1000 cal

9600 J

10 Cal

Which of the following statements is true about the two figures in the table below?

أي العبارات التالية صحيحة فيما يتعلق بالشكلين في الجدول أدناه؟



1	The energy in X is greater than in Y	الطاقة في X أكبر منها في Y
2	The energy in Y is greater than in X	الطاقة في Y أكبر منها في X
3	The energy in X is 355 Cal	الطاقة في X تساوي 355 Cal
4	The energy in Y is 3.6 x 10^3 J	الطاقة في Y تساوي 3.6 x 10^3 J

How much energy in joules is supplied by a breakfast containing 170 Cal?

ما مقدار الطاقة بوحدة الجول (J) التي تُزوّدنا بها وجبة إفطار تحتوي 170 Cal؟

- 711 J
- 170 J
- 7.11 x 10⁵ J
- 1.7 x 10⁵ J

440 Cal



1. ما مقدار الطاقة بوحدة الجول (J) في الشطيرة في الصورة المقابلة؟

1840960

مثال 1

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

1 تحليل المسألة

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

معلوم

مجهول
مقدار الطاقة = 230 Cal

مقدار الطاقة = 230 Cal

2 حساب المجهول

حوّل السعرات الغذائية إلى سعرات.

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

حوّل السعرات إلى جول.

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

طبّق العلاقة 1 Cal = 1000 cal.

طبّق العلاقة 1 Cal = 4.184 J

وراري

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
الرصاصة (s)	0.129
الذهب (s)	0.129

حساب الحرارة الممتصة افترض أن درجة حرارة كتلة من الرصيف الخرساني تبلغ $5.00 \times 10^3 \text{ g}$ 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 $0.84 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$. لذا، فإن جرام واحد من الخرسانة يمتص 0.84 J عندما ترتفع حرارته (1°C) ولتحديد الحرارة التي امتصتها $5.00 \times 10^3 \text{ g}$ من الخرسانة يجب عليك ضرب 0.84 J في 5.00×10^3 ثم، نظراً لتغير درجة حرارة الخرسانة بمقدار 6.0°C ، يجب عليك ضرب الناتج من ضرب الكتلة والحرارة النوعية في 6.0°C .

معادلة حساب الحرارة

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

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

ق q تمثل الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها. c تمثل الحرارة النوعية للمادة. m تمثل كتلة العينة بالجرامات. ΔT هو التغير في درجة الحرارة $^\circ\text{C}$ أو $T_f - T_i$.

كلما كانت الحرارة النوعية قيمتها أكبر تكون بحاجة إلى كمية حرارة أعلى للتسخين بالتالي تحتاج إلى وقت حتى تبرد وتتخلص من الحرارة المكتسبة



يمكنك استخدام هذه المعادلة لحساب الحرارة التي امتصتها الكتلة الخرسانية.

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

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

يبلغ إجمالي مقدار الطاقة التي امتصتها الكتلة الخرسانية $25,000 \text{ J}$ أو 25 kJ على سبيل المقارنة، ما مقدار الحرارة التي يمتصها $5.00 \times 10^3 \text{ g}$ من الماء عندما تزيد درجة حرارته بمقدار 6.0°C ؟ إن حساب للماء هو q حصة بالنسبة للخرسانة باستثناء أنه يجب عليك استخدام الحرارة النوعية الخاصة بالماء $4.184 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$.

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

إذا قُسمت الحرارة التي امتصها الماء (130 kJ) على الحرارة التي امتصتها الخرسانة (25 kJ) ستجد أنه بالنسبة لتغير نفس الحرارة، فقد امتص الماء خمسة أضعاف مقدار الحرارة التي امتصتها الكتلة الخرسانية.

حساب الطاقة المتطلقة يمكن للمواد امتصاص الطاقة وإطلاقها على حد سواء. يمكن استخدام المعادلة السابقة لحساب الطاقة التي تطلقها المواد عندما تبرد. افترض أن قطعة خرسانية كتلتها $5.00 \times 10^3 \text{ g}$ وصلت إلى درجة حرارة 74.0°C خلال يوم مشمس وانخفضت درجة حرارتها إلى 40.0°C ليلاً. فكم كمية الحرارة التي تم تحريرها؟ احسب أولاً ΔT .

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

ثم، استخدم المعادلة لحساب كمية الحرارة.

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

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

الإشارة السالبة في الإجابة النهائية تدل على أن الطاقة متطلقة

حساب الحرارة النوعية عند بناء الجسور وتطبيقات السحب، يجب ترك فراغات بين العمامات الخرسانية المتجاورة للسماح بتمدد وانكماش العنصر بسبب الحرارة والبرودة. تغيرت درجة حرارة عينة من الحديد تبلغ كتلتها 10.0 g من 50.4°C إلى 25.0°C وبتج 114 J . فما الحرارة النوعية للحديد؟

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

معلوم
الطاقة الناتجة = -114 J
كتلة الحديد = 10.0 g
 $T_i = 50.4^\circ\text{C}$
 $T_f = 25.0^\circ\text{C}$

المجهول
الحرارة النوعية للحديد $c = ? \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$

حساب المجهول
احسب ΔT
 $\Delta T = 25.0^\circ\text{C} - 50.4^\circ\text{C} = -25.4^\circ\text{C}$

اكتب معادلة حساب كمية الحرارة.

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

عدل المعادلة لإيجاد c

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T} = \frac{-114 \text{ J}}{(10.0 \text{ g})(-25.4^\circ\text{C})} = 0.449 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

4. إذا ارتفعت درجة حرارة 3.0 g من الإيثانول من 78.8°C إلى 53.8°C ، فما كمية الحرارة التي امتصها الإيثانول؟ ارجع إلى الجدول 2-2.

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

$$q = 2.44 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)} \times 3.4 \text{ g} \times 25.0^\circ\text{C} = 4.52 \times 10^3 \text{ J}$$

5. سُخِّنت عيّنة من مادة مجهولة كتلتها 155 g من 25°C إلى 40.0°C فامتصت 5696 J من الطاقة. ما الحرارة النوعية للمادة؟ عيّن المادة بالرجوع إلى الجدول 2-2.

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

$$c = \frac{q}{m \Delta T} = \frac{5696 \text{ J}}{(155 \text{ g})(40.0 - 25.0^\circ\text{C})} = 2.45 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

6. تحفيز قطعة من الذهب النقي كتلتها 4.50 g امتصت 276 J من الحرارة، وكانت درجة حرارتها الأولية 25°C . ما درجة حرارتها النهائية؟

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

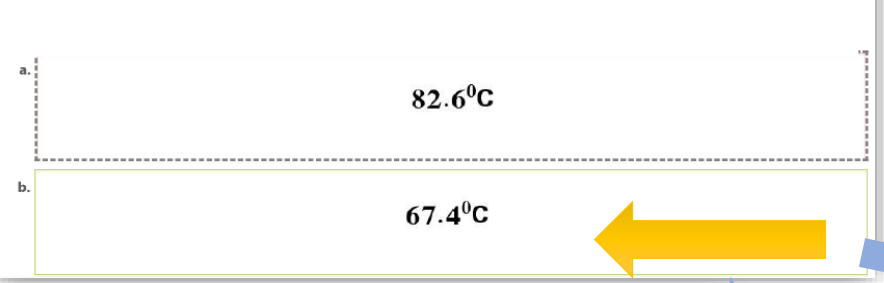
$$\Delta T = \frac{q}{cm} = \frac{276 \text{ J}}{(0.129 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C})(4.50 \text{ g})} = 475^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = T_f - 25.0^\circ\text{C} = 475^\circ\text{C}$$

$$T_f = 25.0^\circ\text{C} + 475^\circ\text{C} = 500^\circ\text{C}$$

If 250 g of ethanol at 75.0°C loses 4655 J of heat, what is the final temperature of ethanol?
(Specific Heat of ethanol = $2.44 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$)

250 من الإيثانول درجة حرارته 75.0°C كمية من الحرارة 4655 J ، فما درجة الحرارة النهائية للإيثانول؟
الحرارة النوعية للإيثانول هي $(2.44 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)})$



31 - فسر ما يأتي تفسيراً علمياً مناسباً:
عند تعرض الحديد والرصاص لنفس الكمية من الحرارة فإن درجة حرارة الرصاص تزداد أكثر من الحديد (علماً بأن الحرارة النوعية للحديد = $0.449 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$ والرصاص = $0.130 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$)

تم تسخين عينة كتلتها 355 g من مادة غير معلومة من 22.4°C إلى 43.6°C وامتصت هذه المادة خلال العملية 6.75 kJ من الطاقة. مستخدماً الجدول أدناه، ما هي المادة؟

المادة	الحديد	الألمنيوم	الفضة	الذهب
Substance	Iron	Aluminum	Silver	Gold
Specific heat $\text{J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$	0.449	0.897	0.235	0.129

- الحديد
- الفضة
- الألمنيوم
- الذهب

قياس الحرارة

هل تساءلت يوماً كيف يحصل كيميائيو التغذية على المعلومات الخاصة بالسرعات الحرارية المكتوبة على الأغذية المُعلّبة؟ يُكتب على العبوات نتائج تفاعلات الاحتراق التي تم تنفيذها في المُسَقِّرات. المُسَقِّر 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 لامتنصاص الطاقة الناتجة عن نظام التفاعل أو لتوفير الطاقة التي يمتصها النظام. تُمثل البيانات التي سيتم جمعها في تغير درجة حرارة كمية الماء. الشكل 5 يوضح نوع من أنواع المُسَقِّرات. والذي يُطلق عليه، مسعر احتراق، والذي يستخدمه كيميائيو التغذية.

تحديد الحرارة النوعية يمكنك الحصول على نتائج مرضية في تجاربك التي تُجرىها لقياس الحرارة وذلك باستخدام مسعر مصنوع من كوب بلاستيك رغوي والذي يعتبر أكثر الأجهزة بساطة من حيث استخدامه. تتميز المُسَقِّرات 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.

فولاذية تُسمى الفنبلة، والتي تكون مملوءة بالأكسجين تحت ضغط عال. يُحيط بالفنبلة كمية محددة من الماء والذي يحركه محرك منخفض الاحتكاك لضمان درجة حرارة موحدة. يبدأ التفاعل بشارة، ويتم تسجيل درجة الحرارة حتى تصل إلى حددها الأقصى. استنتج ما سبب أهمية عدم توليد المحرك لأي احتكاك؟

مسر احتراق

مسر احتراق



شكل 6 يوضح إجراء التجربة. لاحظ أن درجة الحرارة في المُسَقِّر 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.

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

شكل 6 ه. سجلت درجة حرارة ابتدائية 25.60°C لمقدار 125 g من الماء بالمُسَقِّر. تم تسخين عينة كتلتها 50.0 g من فلز غير معلوم إلى درجة حرارة 115.0°C وتم وضعها في المُسَقِّر. تنقل الحرارة من الفلز إلى الماء حتى يصبح كلاهما بنفس درجة الحرارة. تبلغ درجة الحرارة النهائية 29.30°C .

شكل 6 ه. سجلت درجة حرارة ابتدائية 25.60°C لمقدار 125 g من الماء بالمُسَقِّر. تم تسخين عينة كتلتها 50.0 g من فلز غير معلوم إلى درجة حرارة 115.0°C وتم وضعها في المُسَقِّر. تنقل الحرارة من الفلز إلى الماء حتى يصبح كلاهما بنفس درجة الحرارة. تبلغ درجة الحرارة النهائية 29.30°C .

أولاً، احسب الحرارة التي اكتسبها الماء. للقيام بذلك، نحتاج إلى معرفة الحرارة النوعية للماء $4.184\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$.

$$q_{\text{ماء}} = 4.184\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)} \times 125\text{ g} \times (29.30^\circ\text{C} - 25.60^\circ\text{C})$$

$$q_{\text{ماء}} = 4.184\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)} \times 125\text{ g} \times 3.70^\circ\text{C}$$

$$q_{\text{ماء}} = 1940\text{ J}$$

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 حرارة الابتدائية للفلز $(-85.7^\circ\text{C} = 115.0^\circ\text{C} - 29.30^\circ\text{C})$. عوض في المعادلة ووجد الحل.

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

الحرارة النوعية للفلز غير المعلوم $0.453\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$. جدول 2 يوضح أن الفلز قد يكون الحديد.

الكتلة للعينة إذا طلب لحرارة النوعية للفلز الحرارة النهائية بعد التساوي (عند فقد الحرارة من الفلز إلى الماء)

الحرارة تكون ممتصة من قبل الماء ماص

نقطة من قبل الفلز طارد

وزاري

عند وضع قطعة من سبيكة ساخنة كتلتها 360 g في 425 g من الماء البارد في مسعر حراري، تقل درجة حرارة السبيكة بمقدار 205°C ، بينما تزداد درجة حرارة الماء بمقدار 18.7°C ما الحرارة النوعية لهذه السبيكة؟

$$4.184\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$0.235\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$0.380\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$0.450\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

$$0.129\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

أي العبارات التالية غير صحيحة حول المسعر المصنوع من كوب بلاستيك رغوي؟

يستخدم لتحديد الحرارة النوعية لفلز غير معلوم

تحدث جميع التفاعلات بداخله تحت ضغط ثابت

تتمثل البيانات التي سيتم جمعها في الحرارة النوعية

يعمل في الهواء الطلق

In a 58.8 g piece of hot alloy is placed in 125 g of cold water in a calorimeter, the temperature of alloy changes from 606.1°C to 10.5°C , while the temperature of water rises by 10.5°C .

عند وضع قطعة من سبيكة ساخنة كتلتها 58.8 g في 125 g من الماء البارد في مسعر، تغيرت درجة حرارة السبيكة من 606.1°C إلى 10.5°C بينما ترتفع درجة حرارة الماء بمقدار 10.5°C .

What is the specific heat of the alloy?

Knowing that the specific heat of water at 25°C is $4.184\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$

ما الحرارة النوعية لهذه السبيكة؟

علماً بأن الحرارة النوعية عند 25°C للماء تساوي $4.184\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$

2. أي من العبارات التالية لا تنطبق على المسعر الحراري؟

- يقيس كمية الحرارة الناتجة أو الممتصة أثناء التفاعلات
- يحدد الحرارة النوعية لفلز غير معلوم
- تغير درجة حرارة كمية الماء يمثل البيانات التي يتم جمعها منه
- توليد المحرك للاحتكاك يؤدي إلى دقة في قياس درجة الحرارة

مسعر احتراق

$$0.880\text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$$

تطبيقات

12. عينة من فلز كتلتها 90.0g امتصت 25.6 J من الحرارة عندما ازدادت درجة حرارتها 1.18°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟

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

$$25.6 \text{ J} = c \times 90.0 \text{ g} \times 1.18^\circ\text{C}$$

$$c = 0.241 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$$

13. ارتفعت درجة حرارة عينة من الماء من 20.0°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟

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

$$5650 \text{ J} = 4.184 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \times m \times 26.6^\circ\text{C}$$

$$m = 50.8 \text{ g}$$

هنداوي

كوتر

مثال 3

استخدم الحرارة النوعية $0.241 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ لقطع قطعة فلزية كتلتها 4.68 g كمية من الحرارة مقدارها 256 J عندما ترفع 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 إعطاء كتلة الفلز، وكمية الحرارة التي امتصها، والتغير في درجة الحرارة. يجب عليك حساب الحرارة النوعية. استخدم المعادلة لحساب كمية الحرارة، ولكن عليك إيجاد الحرارة النوعية c .

معلوم

$$m = 4.68 \text{ g}$$

$$q = 256 \text{ J}$$

$$\Delta T = 182^\circ\text{C}$$

2 إيجاد القيمة المجهولة

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

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

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

يوضح الجدول 2 أن الفلز قد يكون السترونتيوم.

3 تقييم الإجابة

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

مجهول
الحرارة النوعية $c = ? \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$

$$Q = m c \Delta T$$

$$m \Delta T = 256 \text{ J}$$

$$4.68 \text{ g} \times 182^\circ\text{C}$$

الكتب المعادلة الخاصة بكمية الحرارة q .

أوجد قيمة c .

$$\Delta T = 182^\circ\text{C}, q = 256 \text{ J}, m = 4.68 \text{ g}$$

هنداوي

كوتر

يصف العلاقة بين الحرارة النوعية لمادة ما ومقاومة التغير في درجة الحرارة

14. ما كمية الحرارة التي تكتسبها صخرة من الجرانيت كتلتها $2.00 \times 10^3 \text{ g}$ إذا ارتفعت درجة حرارتها من 10.0°C إلى 29.0°C ، إذا علمت أن الحرارة النوعية للجرانيت $0.803 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ ؟

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

$$q = 0.803 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \times 2.00 \times 10^3 \text{ g} \times 19.0^\circ\text{C}$$

$$q = 30500 \text{ J}$$

15. تحفيز إذا فقدت 335 g من الماء، عند درجة حرارة 65.5°C كمية حرارة مقدارها 9750 J، فما درجة الحرارة النهائية للماء؟

$$q = c \times m \times \Delta T = c \times m \times (T_f - T_i)$$

$$T_f = \frac{q}{cm} + T_i$$

$$T_f = \frac{9750 \text{ J}}{(4.184 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}))(335 \text{ g})} + 65.5^\circ\text{C}$$

$$T_f = 72.45^\circ\text{C}$$

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 المادة الساخنة نتيجة للتفاعل التالي والتي تظهر في المعادلة كأحد النواتج.

نظرًا لأنك مهتم بالحرارة المنبعثة من التفاعل الكيميائي والتي تمتصها المادة، فمن المناسب أن تفكر بالمادة 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 يُعرف **الكون بأنه النظام مع المحيط**.

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

ما نوع انتقال الطاقة الذي يحدث خلال التفاعل الطارد في المادة الساخنة؟ تنتقل الحرارة الناتجة عن التفاعل من المادة 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 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.

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



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.

وزاري

في التفاعل الماص للحرارة الموضح أدناه، ما اتجاه انتقال الحرارة؟

خليط من هيدروكسيد الباريوم وبلورات ثيوسيانات الأمونيوم
a mixture of barium hydroxide and ammonium thiocyanate crystals

لوح رطب
a wet board

من الكأس إلى اللوح الرطب والماء

من الخليط إلى الكون

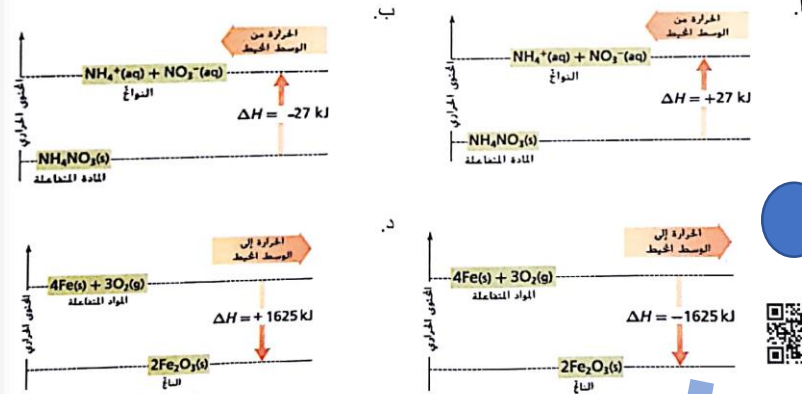
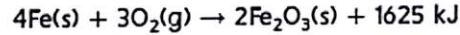
من النظام إلى المحيط

من اللوح الرطب والماء إلى الكأس

كوثر هندراوي

حراري

3. أي مخطط مما يلي يصف تفاعل الكمادة الساخنة التالي؟



كويش هيلداوي

يمكن قياس الحرارة المفقودة أو المكتسبة، في تفاعلات كثيرة، بشكل ملائم بالمُسجّر 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، وكذلك التي تحدث في الكؤوس والدوارق المفتوحة في المختبر. يرمز للطاقة المنطلقة أو الناتجة عن التفاعل الذي يحدث عند ضغط ثابت في بعض الأحيان بالرمز q_p . لقياس ودراسة تغيرات الطاقة البصاحية للتفاعلات بسهولة، فقد عرّف الكيميائيون خاصية تُسمى بالمحتوى الحراري. **المحتوى الحراري (H)** هو المحتوى الحراري لنظام ما عند ضغط ثابت.

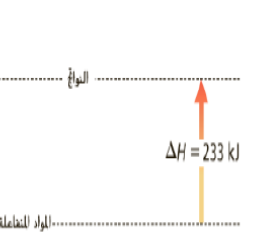
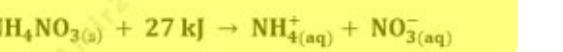
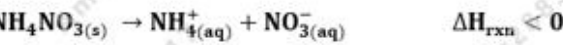
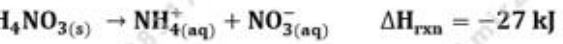
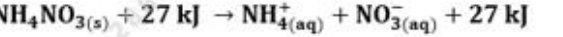
بالرغم من عدم قدرتك على قياس الطاقة المحيطة أو المحتوى الحراري المحلي للسامية، إلا أنه بوسعك قياس التغير الذي يطرأ على المحتوى الحراري وهو الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها خلال التفاعل الكيميائي. تطلق على التغير في المحتوى الحراري للتفاعل **المحتوى الحراري للتفاعل (حرارة التفاعل) (ΔH_{rxn})**. لقد تعلمت بالفعل أن الرمز الذي يسميه الحرف اليوناني (Δ) يتخذ 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:

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

وجه المقارنة	الكمادة الساخنة	الكمادة الباردة
نوع التفاعل الحادث	تفاعل طارد للحرارة	تفاعل ماص للحرارة
انتقال الطاقة الحرارية	من الكمادة الساخنة (نظام التفاعل) الي يدك الباردتين (جزء من المحيط) تستخدم الطاقة الناتجة في تدفئة اليدين الباردتين	تنتقل الحرارة من المحيط (الساق) لنظام (الكمادة الباردة) عندما توضع الكمادة الباردة علي ساق الشخص يصدر ساقه الحرارة اللازمة ويبرد نفسه
المواد المستخدمة	O_2 و Fe	NH_4NO_3
التفاعل الحادث	$4\text{Fe}(s) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3(s) + 1625 \text{ kJ}$ $4\text{Fe}(s) + 3\text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3(s) \Delta H_{rxn} = -1625 \text{ kJ}$	$27 \text{ kJ} + \text{NH}_4\text{NO}_3(s) \rightarrow \text{NH}_4^+(aq) + \text{NO}_3^-(aq)$ $27 \text{ kJ} + \text{NH}_4\text{NO}_3(s) \rightarrow \text{NH}_4^+(aq) + \text{NO}_3^-(aq)$
	التفاعل الذي يحدث في الكمادة الساخنة	العملية التي تحدث في الكمادة الباردة
	عامل طارد للحرارة $\Delta H < 0$	عملية ماصة للحرارة $\Delta H > 0$
	H المواد الناتجة > H المواد المتفاعلة	H المواد الناتجة < H المواد المتفاعلة
	ΔH تكون سالبة	ΔH تكون موجبة



9. أي من العلاقات التالية صحيحة بالنسبة للشكل المجاور؟

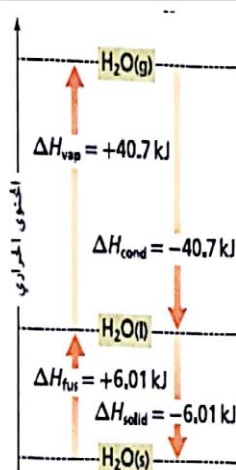
- A. فقط I فقط
 - B. I و II فقط
 - C. II و III فقط
 - D. I و II و III فقط
- $233 \text{ kJ} = H_{\text{الناتج}} + H_{\text{المتفاعلات}}$
 $H_{\text{الناتج}} > H_{\text{المتفاعلات}}$
 $H_{\text{الناتج}} = H_{\text{المتفاعلات}} + 233 \text{ kJ}$
 $H_{\text{الناتج}} = H_{\text{المتفاعلات}} + 233 \text{ kJ}$

وزاري

19. درس الشكل المجاور ثم أجب عما يلي :

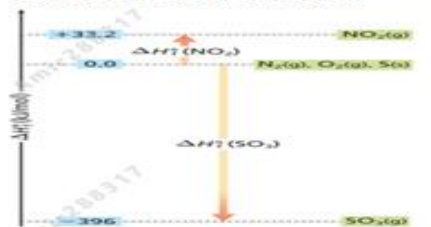
تزداد طاقة النظام عند

ماذا يحدث لطاقة النظام عند تكثف بخار الماء ثم تجمده بعد ذلك ؟



استخدمنا بيانات الشكل أدناه، أي العبارات التالية غير صحيحة؟

حرارة التكوين القياسية Standard Heat of formation



ΔH_f° لكل من $\text{N}_2(\text{g})$ و $\text{O}_2(\text{g})$ أقل من ΔH_f° لـ $\text{NO}_2(\text{g})$

ΔH_f° لـ $\text{NO}_2(\text{g})$ قيمة موجبة لأن تفاعل تكوين $\text{NO}_2(\text{g})$ ماص للحرارة

ΔH_f° لـ $\text{S}(\text{s})$ أقل من ΔH_f° لـ $\text{SO}_3(\text{g})$

ΔH_f° لـ $\text{SO}_3(\text{g})$ قيمة سالبة لأن تفاعل تكوين $\text{SO}_3(\text{g})$ تفاعل طارد للحرارة

المادة	الصيغة	ΔH_f° (kJ/mol)	$\Delta H_{\text{fus}}^\circ$ (kJ/mol)
الماء	H_2O	40.7	6.01
إيثانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	38.6	4.94
الميثانول	CH_3OH	35.2	3.22
حمض الخليك	CH_3COOH	234	11.7
الأمونيا	NH_3	23.3	5.66

تغيرات الحالة

هناك العديد من العمليات غير التفاعلات الكيميائية التي تتضمن الحرارة أو الطاقة على سبيل المثال: فكل مرة يحدث عند خروجك من حمام ساخن، سوف تراصد حيث يتغير الماء من جلدك، يرجع هذا لأن جلدك يفر الحرارة اللازمة لتغير الماء.

بمجرد تغير الحرارة من جلدك لتغير الماء، سوف تشعر بالبرودة. يطلق على الحرارة الكلية المتغير بين واحد من الحالات الحرارية المولية للتغير ΔH_{trans} وبالمثل، إذا أردت كمية من الماء البارد، يمكنك وضع مكعب من الثلج يدافئه، فبعد الماء حيث أنه يفر الحرارة اللازمة لانتصهار الثلج يطلق على الحرارة الكلية للانتصهار بين واحد من المادة المتغيرة الحرارة المولية للانتصهار ΔH_{fus} ، وأن عمليات تغير الحالة يطلق وتغير المادة المتغيرة لتغير عمليات ماصة للحرارة، فإن قيم ΔH لها تكون موجبة. ثم عرض الحرارة المولية القياسية لتغير والانتصهار لخمسة مركبات شائعة في الجدول 4.

المعادلات الكيميائية الحرارية لتغيرات حالة المادة يمكن وصف تغير الماء وانتصهار الثلج بالمعادلات التالية:



لتغير المعادلة الأولى إلى أنه قد تم امتصاص 40.7 kJ من الطاقة عند مول واحد من الماء إلى مول واحد من بخار الماء، لتغير المعادلة الثانية تم امتصاص 6.01 kJ من الطاقة عند انتصهار مول واحد من الثلج 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 العكسية للحرارة مماثلة كالتالي يتم امتصاصها في العمليات العكسية لتغير والانتصهار، لذلك، تكون الحرارة المولية للتكثف $-\Delta H_{\text{vap}}$ والحرارة المولية لتغير عن القيمة العكسية ولكن مختلفة في الإشارة. وبالمثل، فإن الحرارة المولية للتجمد $-\Delta H_{\text{fus}}$ تساوي القيمة العكسية للحرارة المولية للانتصهار ولكن مختلفة الإشارة.

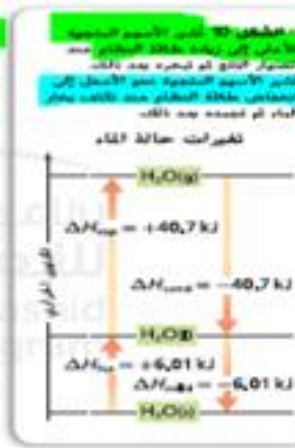
$\Delta H_{\text{cond}} = -\Delta H_{\text{vap}}$
 $\Delta H_{\text{solid}} = -\Delta H_{\text{fus}}$

تم توضيح العلاقات في الشكل 10.

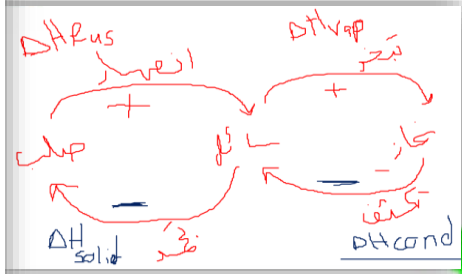
قارن بين معادلتني تكثف بخار الماء وتجمد الماء مع المعادلتين في الصفحة السابقة لتغير الماء وانتصهار الثلج.



يستفيد بعض المزارعين من حرارة الانتصهار الثلج لحماية البواقي والخضراوات من التجمد. فإذا تساقب وانخفض درجة الحرارة إلى حد التجمد، يقومون برشون نباتاتهم وحقولهم بالماء. عندما يتجمد الماء، شملت الحرارة (ΔH_{fus}) وبالتالي ما يؤدي إلى تسخين الهواء المحيط. بما يكفي لمنع تضرر المحاصيل. سوف تسمع بعض المزارعين في مناطق مثل المساقب الثلجية، وتستخدمه بمثابة درجات حرارة الانتصهار والتجمد.



كوتز هنداوي

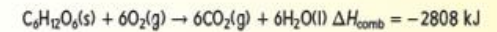


correct according to the	أي العبارات التالية غير صحيحة اعتمادًا على الشكل أدناه؟
vaporization and the	A. تكون قيم ΔH للحرارة المولية للتبخير والحرارة المولية للانتصهار موجبة
of condensation and	B. تكون قيم ΔH للحرارة المولية للتكثيف والحرارة المولية للتجمد سالبة
ive	C. تتساوى القيمة العكسية للحرارة المولية للتجمد مع القيمة العكسية للحرارة المولية للانتصهار ولكن تختلف إشارتهما
the molar enthalpy of but with opposite	D. تتساوى القيمة العكسية للحرارة المولية للتكثف مع القيمة العكسية للحرارة المولية للتبخير وتتشابه إشارتهما

وزارى

مثال 4

الطاقة الناتجة عن التفاعل يعتبر مسعر الاحتراق مقيماً 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 الجلوكوز (C₆H₁₂O₆) وفقاً للمعادلة؟



1 تحليل المسألة

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

$$q = n \times \Delta H$$

معلوم
q = ? kJ

كتلة الجلوكوز = 54.0 g C₆H₁₂O₆
 $\Delta H_{\text{comb}} = -2808 \text{ kJ}$

2 حساب المجهول

حوّل جرامات C₆H₁₂O₆ إلى مولات C₆H₁₂O₆

$$54.0 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \times \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{180.18 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 0.300 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

اضرب مولات C₆H₁₂O₆ في حرارة الاحتراق ΔH_{comb}

$$0.300 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \times \frac{-2808 \text{ kJ}}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = -842 \text{ kJ}$$

23. احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7g من الميثانول الصُّلب عند درجة انصهاره. استعن بالجدول 2-4 احسب عدد مولات الميثانول، ثم درجة الحرارة اللازمة:

$$25.7 \text{ g CH}_3\text{OH} \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{32.04 \text{ g CH}_3\text{OH}} = 0.80 \text{ mol CH}_3\text{OH}$$

$$0.80 \text{ mol CH}_3\text{OH} \times \frac{3.22 \text{ kJ}}{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}} = 2.58 \text{ kJ}$$

24. ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن بالجدول 2-4 لتحديد ΔH_{cond} . احسب عدد مولات الأمونيا، ثم درجة الحرارة المنطلقة:

$$275 \text{ g NH}_3 \times \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17.03 \text{ g NH}_3} = 16.15 \text{ mol NH}_3$$

$$16.15 \text{ mol NH}_3 \times \frac{23.3 \text{ kJ}}{1 \text{ mol NH}_3} = 376 \text{ kJ}$$

25. تخفّيزاً ما كتلة الميثان CH₄ التي يجب احتراقها لإطلاق 12.880 kJ من الحرارة؟ استعن بالجدول 2-3.

اضرب في مقلوب المحتوى الحراري، ثم في مقلوب الكتلة المولية لـ CH₄:

$$12880 \text{ kJ} = m \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{16.04 \text{ g CH}_4} \times \frac{891 \text{ kJ}}{1 \text{ mol CH}_4}$$

$$m = 12880 \text{ kJ} \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{891 \text{ kJ}} \times \frac{16.04 \text{ g CH}_4}{1 \text{ mol CH}_4}$$

$$m = 231.3 \text{ g CH}_4$$

What mass of propane (C₃H₈) in unit (g) is burned to release 9985.5 kJ of heat?

ما كتلة البروبان (C₃H₈) بوحدة (g) التي يتم حرقها لإنتاج 9985.5 kJ من الحرارة؟



The enthalpy (heat) of combustion of propane

إحراق البروبان ΔH_{comb} هي -2219 kJ/mol

$$\Delta H_{\text{comb}} = -2219 \text{ kJ/mol}$$

والكتلة المولية للبروبان (44.097 g/mol)

(Molar mass of propane = 44.097 g/mol)

27. ما كتلة البروبان (C₃H₈) التي يجب حرقها لإنتاج 3560 kJ من الحرارة؟

علمًا بأن حرارة احتراق البروبان $\Delta H_{\text{comb}}^{\circ}$ تساوي -2219 kJ/mol

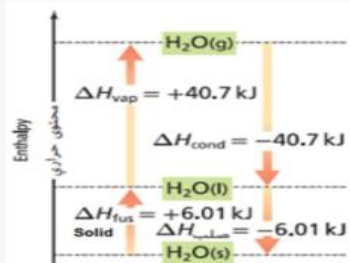
والكتلة المولية للبروبان = 44.09g/mol = 70.73g

12. موطناً الشكل المجاور، ما كمية الحرارة المنطلقة عند تكثف 63.07g

من الماء (H₂O = 18.02g/mol)؟

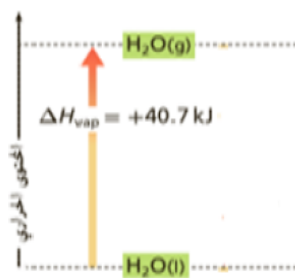
$$-142 \text{ kJ} \quad \bullet \quad 122 \text{ kJ} \quad \times$$

$$-102 \text{ kJ} \quad \times \quad 81 \text{ kJ} \quad \times$$



353

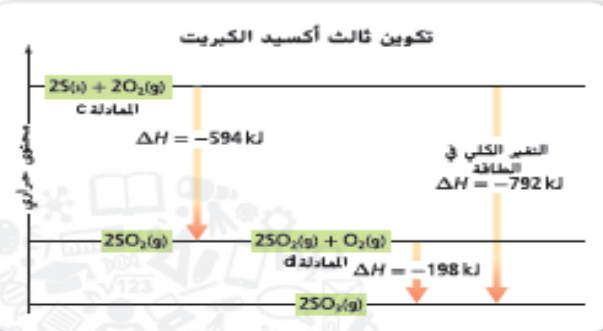
198.0



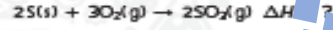
هنتاوي

وزارة

الشكل 13 يشير السهم على اليسار إلى إنتاج SO_2 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 198 kJ . التغير الكلي في الطاقة الممتص (المطلوب) موضح عن طريق السهم على اليمين. احسب التغير في المحتوى الحراري عند التفاعل SO_2 إلى S و O_2



تطبيق قانون هس كيف يمكن استخدام قانون هس لحساب التغير في الطاقة للتفاعل الذي ينتج عنه SO_2 ؟



الخطوة 1 هناك حاجة إلى المعادلات الكيميائية التي تحتوي على المواد الموجودة في المعادلة المطلوبة ويكون التغير في المحتوى الحراري معلومًا. تحتوي المعادلات a، b، c، و d على S و O_2 و SO_2 و SO_3 .

الخطوة 2 توضح المعادلات المطلوبة تتعامل مع المواد المطلوبة. لذا في كتابنا المعادلة a لتوليد من الكبريت عن طريق ضرب المعادلة a بـ 2 لتغير في المحتوى الحراري ΔH لأنه سيتم إطلاق ضعف الطاقة إذا تكافأ التغير في ΔH مع هذه التغيرات تصبح المعادلة b كالتالي (المعادلة c).

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.

الخطوة 4 اجمع المعادلتين c و d للحصول على التفاعل المطلوب واجمع التغير الطاقي ل ΔH

تكون المعادلة الكيميائية الحرارية لحرق الكبريت وتكوين ثالث أكسيد الكبريت كالتالي، يوضح الشكل B التغيرات في الطاقة.

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.



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

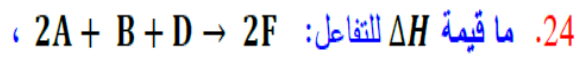
قانون هس في بعض الأحيان يكون من المستحيل أو من غير العملي حساب ΔH في تفاعل ما باستخدام الكالوريمتر. بين الشكل 12، تحويل الكربون من صورته التآصلية الماس، إلى صورته التآصلية الجرافيت.

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

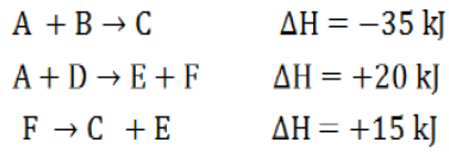
لنساء الحظ ينتج عن التجارب المعملية لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت وحساب مزيج من النواتج غالبًا ما تكون ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في مواقف مثل هذه. يمكنك حساب ΔH باستخدام قانون هس للجمع الحراري. **قانون هس** ينص على أنك إذا استطعت جمع معادلتين حراريتين أو أكثر لإنتاج معادلة نهائية للتفاعل فسيكون مجموع التغير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



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

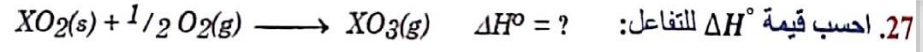


مُستخدماً التفاعلات التالية؟

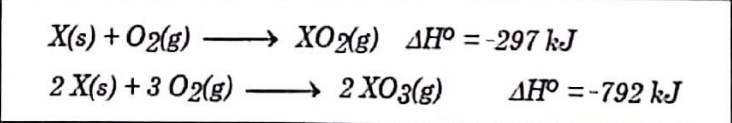


3

BONUS



مُستخدماً التفاعلات التالية؟



حسبًا المعادلات الكيميائية الحرارية a و b و c و d أدناه، ما قيمة ΔH° للتفاعل التالي؟



I	$2OF_2(g) \rightarrow O_2(g) + 2F_2(g)$	$\Delta H^\circ = -49.9 \text{ kJ}$
II	$2ClF(g) + O_2(g) \rightarrow Cl_2O(g) + OF_2(g)$	$\Delta H^\circ = +205.6 \text{ kJ}$
III	$ClF_3(g) + O_2(g) \rightarrow \frac{1}{2} Cl_2O(g) + \frac{3}{2} OF_2(g)$	$\Delta H^\circ = +266.7 \text{ kJ}$

-139 kJ

-188 kJ

+394 kJ

+422 kJ

وزارة

What is the enthalpy change ΔH for the reaction below?

$$2\text{H}_2\text{S}_{(g)} + 3\text{O}_2_{(g)} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{SO}_2_{(g)}, \Delta H = ??$$

ما مقدار التغير في المحتوى الحراري ΔH للتفاعل أدناه؟

using the following equations:

$$\text{S}_{(g)} + \text{O}_2_{(g)} \longrightarrow \text{SO}_2_{(g)}, \Delta H_f^\circ = -296.8 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H}_2_{(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2_{(g)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)}, \Delta H_f^\circ = -285.8 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H}_2_{(g)} + \text{S}_{(g)} \longrightarrow \text{H}_2\text{S}_{(g)}, \Delta H_f^\circ = -20.6 \text{ kJ/mol}$$

استخدمنا المعادلات التالية:

1	-603.2kJ
2	-562.0kJ
3	-1206.4kJ
4	-1124 kJ

33. تحفيز إذا كانت قيمة ΔH للتفاعل الآتي -1789 kJ ، فاستعمل ذلك مع المعادلة a لإيجاد ΔH للتفاعل b.

$$4\text{Al}_{(s)} + 3\text{MnO}_{2(s)} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_{3(s)} + 3\text{Mn}_{(s)} \Delta H = -1789 \text{ kJ}$$

a. $4\text{Al}_{(s)} + 3\text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_{3(s)} \Delta H = -3352 \text{ kJ}$
 b. $\text{Mn}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{MnO}_{2(s)} \Delta H = ?$

اكتب المعادلة b، واضربها في 3، ثم اجمعها مع المعادلة a:

$$4\text{Al}_{(s)} + 3\text{O}_2_{(g)} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_{3(s)} \quad \Delta H = -3352 \text{ kJ}$$

$$3\text{MnO}_{2(s)} \rightarrow 3\text{Mn}_{(s)} + 3\text{O}_2_{(g)} \quad \Delta H = -3x \text{ kJ}$$

$$4\text{Al}_{(s)} + 3\text{MnO}_{2(s)} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_{3(s)} + 3\text{Mn}_{(s)} \quad \Delta H = -3352 - 3x \text{ kJ}$$

$$-3352 - 3x \text{ kJ} = -1789 \text{ kJ}$$

وبسبب تغيير اتجاه المعادلة b، فستكون قيمة ΔH للتفاعل b:

$$\frac{-3352 + 1789}{3} = -521 \text{ kJ}$$

حرارة التكوين القياسية

يسمح لك قانون هس بحساب قيم ΔH المجهولة باستخدام التفاعلات المعروفة وقيم ΔH التي تم حسابها بشكل تجريبي. ومع ذلك، فنحن نعلم قيم ΔH لجميع التفاعلات الكيميائية المعروفة سيكون مهمة ضخمة ولا نهائية، ولكن عوضًا عن ذلك، بدون العلماء التغيرات في المحتوى الحراري ويستخدمونها لنوع واحد فقط من التفاعلات - تفاعل يتكون فيه مركب من عناصره في حالتها القياسية. الحالة القياسية لزيادة ما تعني حالته القياسية المعتادة عند 298 K (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.

$$\text{S}_{(s)} + \frac{3}{2} \text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{SO}_3_{(g)} \quad \Delta H_f^\circ = -396 \text{ kJ}$$

الناتج من التفاعل هو SO_3 وهو غاز خافت ينتج مطر حمضي حين يمتزج مع رطوبة الهواء. يوتي، تنظير النتائج التدميرية للمطر الحمضي في الشكل 14.

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 محركات الصواريخ بالطاقة.

$$2\text{H}_2\text{O}_2(l) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{O}_2(g)$$

a. $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) \Delta H = -572 \text{ kJ}$
 b. $\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2(l) \Delta H = -188 \text{ kJ}$

1 تحليل المسألة

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

معلوم $\Delta H = ? \text{ kJ}$

2 حساب المجهول

$\text{H}_2\text{O}_2(aq) \rightarrow \text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \Delta H = 188 \text{ kJ}$

نحتاج إلى مولين من H_2O_2 .
 a. $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) \Delta H = -572 \text{ kJ}$
 c. $2\text{H}_2\text{O}_2(aq) \rightarrow 2\text{H}_2(g) + 2\text{O}_2(g) \Delta H = 376 \text{ kJ}$

اجمع المعادلتين a و c. مع إلغاء اجمع ΔH للمعادلتين a و c.

اجمع المعادلتين a و c. مع إلغاء اجمع ΔH للمعادلتين a و c.

اكتب المعادلة a
 اكتب المعادلة c
 اجمع المعادلتين a و c.

32. استعمل المعادلتين a و b لإيجاد ΔH للتفاعل الآتي:

$$2\text{CO}_{(g)} + 2\text{NO}_{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)} + \text{N}_{2(g)} \quad \Delta H = ?$$

a. $2\text{CO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)} \quad \Delta H = -566.0 \text{ kJ}$
 b. $\text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{NO}_{(g)} \quad \Delta H = -180.6 \text{ kJ}$

اجمع المعادلة a إلى معكوس المعادلة b:

$$2\text{CO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)} \quad \Delta H = -566.0 \text{ kJ}$$

$$2\text{NO}_{(g)} \rightarrow \text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \quad \Delta H = +180.6 \text{ kJ}$$

$$2\text{CO}_{(g)} + 2\text{NO}_{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)} + \text{N}_{2(g)} \quad \Delta H = -566.0 \text{ kJ} + (+180.6 \text{ kJ}) = -385.4 \text{ kJ}$$

How much is ΔH of the following reaction?
 $\text{CO}_{(g)} + 2\text{H}_2_{(g)} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$

Use the thermochemical equations (a, b and c) shown below

a. $\text{CO}_{(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} \quad \Delta H = -284 \text{ kJ}$
 b. $\text{H}_2_{(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)} \quad \Delta H = -286 \text{ kJ}$
 c. $\text{CH}_3\text{OH}_{(l)} + \frac{3}{2} \text{O}_2_{(g)} \rightarrow \text{CO}_2_{(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \quad \Delta H = -727 \text{ kJ}$

ما قيمة ΔH للتفاعل التالي؟
 $\text{CO}_{(g)} + 2\text{H}_2_{(g)} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$

استخدم المعادلات الكيميائية الحرارية a، b و c الموضحة أدناه.

كوئز هداوي

Which of the enthalpy changes in the following reactions represents a standard heat of formation (ΔH_f°)?

أي من التغيرات في المحتوى الحراري في التفاعلات التالية يُمثل حرارة تكوين قياسية (ΔH_f°)؟

1	$\frac{1}{2} \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g})$, $\Delta H = +33.2 \text{ kJ}$
2	$\text{CO}(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$, $\Delta H = -283 \text{ kJ}$
3	$2\text{S}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_3(\text{g})$, $\Delta H = -792 \text{ kJ}$
4	$2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g})$, $\Delta H = 1625 \text{ kJ}$

Which of the following represents the standard enthalpy of formation for the compound formed in the following reaction?

أي مما يلي يُمثل حرارة تكوين قياسية للمركب الناتج من التفاعلات التالية؟

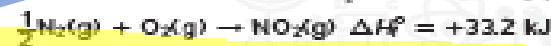
$\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$	$\Delta H = +66.4 \text{ kJ}$	
$2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g})$	$\Delta H = -568 \text{ kJ}$	
$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$	$\Delta H = -814 \text{ kJ}$	3
$\frac{1}{2} \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HF}(\text{g})$	$\Delta H = -273 \text{ kJ}$	4

أي من التغيرات في المحتوى الحراري في التفاعلات التالية لا يُمثل حرارة تكوين قياسية ΔH_f° ؟



ما مصدر حرارة التكوين القياسية؟ حين تعدد ارتفاع جبل ما، فإنك تقوم بذلك بالنسبة لنتيجة مرجعية ما - عادة ما تكون مستوى سطح البحر. بطريقة مشابهة، يتم تحديد حرارة التكوين القياسية بناءً على الافتراض التالي: العناصر في حالتها القياسية تكون ΔH_f° تساوي 0.0 kJ. مع نقطة بدء صفرية، يمكن حساب حرارة التكوين القياسية للمركبات تجريبياً وتنظيمها على تدرج أعلى وأقل من العناصر في حالتها القياسية. فكر في الصخر على تدرج 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 الصخر. كافة المواد التي تكون درجة حرارتها أبرد من نقطة التجمد تكون درجة حرارتها أقل من الصخر.

تحديد حرارة التكوين من التجارب تم قياس حرارة التكوين القياسية للعديد من المركبات تجريبياً. على سبيل المثال، لنفكر في معادلة تكوين ثاني أكسيد النيتروجين التالية:

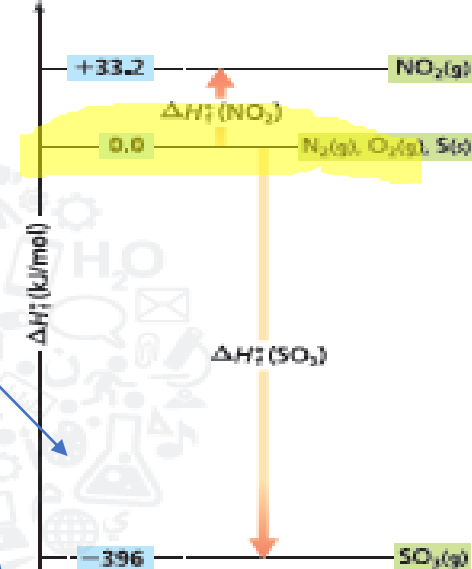


كلا من النيتروجين والأكسجين غازات ثنائية الذرة في حالتها القياسية، لذا حرارة التكوين القياسية لكل منهما تساوي صفر. عندما يتفاعل غازي الأكسجين والنيتروجين معاً لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين، تكون ΔH المحسوبة تجريبياً للتفاعل تساوي 33.2 kJ. هذا يعني أنه يتم امتصاص 33.2 kJ من الطاقة في تفاعل ما من الحرارة. محتوى طاقة الناتج NO_2 33.2 kJ وهو أكبر من محتوى طاقة المواد المتفاعلة. على تدرج تكون فيه ΔH_f° للمتفاعلات تساوي 0.0 kJ فنكون ΔH_f° لـ NO_2 +33.2 kJ. الشكل 15 يوضح أنه على تدرج 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 الصخر على التدرج لأن تكوين $\text{SO}_3(\text{g})$ يمد تفاعلاً طارداً للحرارة. المحتوى الحراري لثالث أكسيد الكبريت ΔH_f° هو 396 kJ. الجدول 5 بين حرارة التكوين القياسية لبعض المركبات الشائعة. توجد قائمة أكثر تفصيلاً في الجدول R-11.

الجدول 5 حرارة التكوين القياسية

المركب	معادلة التكوين	ΔH_f° (kJ/mol)
$\text{H}_2\text{S}(\text{g})$	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{S}(\text{g})$	-21
$\text{HF}(\text{g})$	$\frac{1}{2} \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HF}(\text{g})$	-273
$\text{SO}_3(\text{g})$	$\text{S}(\text{s}) + \frac{3}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_3(\text{g})$	-396
$\text{SF}_6(\text{g})$	$\text{S}(\text{s}) + 3\text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SF}_6(\text{g})$	-1220

درجات الحرارة القياسية للتكوين



الشكل 15 ΔH_f° للعناصر N_2 و O_2 و S في 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 في +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 في -396 kJ/mol. تبيّن كيف التوقع التقريبي فلياء على التدرج أعلاه. ΔH_f° في $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ هي $\Delta H_f^\circ = -286 \text{ kJ/mol}$

26. فسر ما يأتي تفسيراً علمياً مناسباً:

حرارة التكوين القياسية لكل من النيتروجين والأكسجين تساوي صفر.

العمليات التلقائية

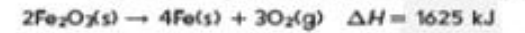
في الشكل 7 يمكنك أن ترى صورة مأخوذة لما يحدث لجسم من الحديد في حال تركه في الهواء الرطب. يبدأ الحديد تلقاً لتفس العادلة الكيميائية التي تصف ما يحدث في الكفاءة الساخنة التي قرأت عنها في قسم سابق من هذه الوحدة.



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

الصدأ أمر تلقائي. أي لتغيير 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 نحتاج لاستخدام عود ثقاب لإشعال لهب بنزين في مختبر مدرستك.

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



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



الشكل 7 في 8 يتكون الصدأ على حديد الحديد والأخرى ذرة الهيدروجين عند ذوب الحمض في 9 تتحرك جسيمات الغاز بنزول في نصف الحجم الأصلي وكان وجود أربعة ترتيبات من الجسيمات والتي تمثل زيادة في الإنتروبي في أي وقت.



تزداد الإنتروبية



بعد تفاعل تكون الصدأ على الحديد تفاعلاً تلقائياً وطاردة للحرارة. أما التفاعل العكسي فهو تفاعل غير تلقائي ومانس للحرارة. يمكنك استنتاج أن كافة العمليات الطاردة للحرارة هي عمليات تلقائية وكافة العمليات الماصة للحرارة هي عمليات غير تلقائية. ولكن ننكر أن التلح ينحسر في درجة حرارة الغرفة وهو عملية تلقائية ماصة للحرارة. يلعب عامل آخر غير ΔH في تعديده ما إذا كانت العملية الكيميائية تحدث بشكل تلقائي تحت مجموعة ظروف محددة. هو العامل يسمى الإنتروبي.

ما هو الإنتروبي؟ قد لا تتدعش إذا كنت تبحث عن المعطيات التي تعبر في المصطلح منتشرة في كل مكان بالمثل. وأنت تعلم أن تسيب الحشرات خلال الهواء الجوي. تصرف الغازات بهذا الشكل؟ حين تتدفق الغازات في النظام إلى حالة كثيرة من الإنتروبي (5) هو قياس على التوزيع الذي يمكن أن يتم بها توزيع الطاقة عبر نظام ما ويرتبط ذلك بحرية جسيمات النظام الحركة وعدد الطرق التي يتم تنظيمها بها.

لننظر إلى الدورق في الشكل 18. عند غلق المحبس يحتوي الدورق 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 مفتوحاً 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، فيسكون عدد الترتيبات الممكنة أكثر بـ 1024 مرة مما إذا كان عدد الجسيمات نفسه موجوداً 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.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية يتم تلخيص السبل نحو زيادة الإنتروبي عن طريق القانون الثاني للديناميكا الحرارية، والذي ينص على أن العمليات التلقائية تحدث ما يصغر بالدرجة التي يزداد بها إنتروبي الكون. في بعض الأحيان يعتبر الإنتروبي هو المقياس للاضطراب أو العشوائية الجسيمات التي يتكون منها النظام. مع شغل الجسيمات الأكثر انتشاراً أكثر اضطراباً منه يتحقق الإنتروبي للنظام أكثر مما سيكون عليه الحال إذا كانت الجسيمات أقرب لبعضها البعض.

هكذا اوي

In which of the following cases does the random motion (entropy) of the particles of the substance increases?
المادة؟ في أي الحالات التالية تزداد الحركة العشوائية (الإنتروبي) لجسيمات

$CO_2(g) \rightarrow CO_2(aq)$	1
$2NO_2(g) \rightarrow N_2O_4(g)$	2
$KNO_3(s) \rightarrow K^+(aq) + NO_3^-(aq)$	3
$CH_3OH(s) \rightarrow CH_3OH(l)$	4

1	1 only	1 فقط
2	2 only	2 فقط
3	2, 3	3 و 2
4	3, 4	3 و 4

وزارى

Which of the data in the following table is correct?

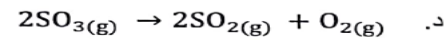
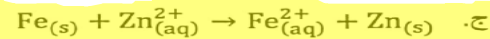
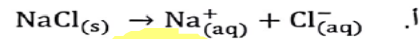
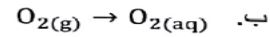
أي من البيانات الواردة في الجدول التالي صحيحة؟

الرقم Number	العملية Process	التغير في المحتوى الحراري The change in enthalpy	إشارة التغير في المحتوى الحراري The sign of the enthalpy change
1	$C_2H_5OH(s) \rightarrow C_2H_5OH(l)$	طارة للحرارة exothermic	موجبة
2	$NH_3(l) \rightarrow NH_3(g)$	ماصة للحرارة endothermic	موجبة
3	$CH_3OH(l) \rightarrow CH_3OH(g)$	ماصة للحرارة endothermic	سلبية
4	$H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$	طارة للحرارة exothermic	سلبية

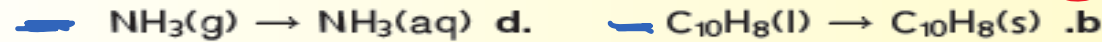
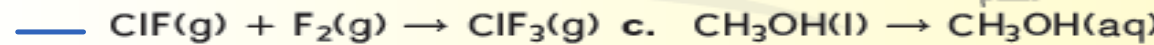
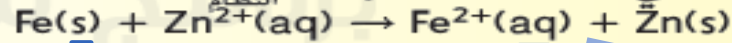
1	1 only	1 فقط
2	4 only	4 فقط
3	1, 2	2 و 1
4	3, 4	4 و 3



تزداد الإنتروبية

5. أي التفاعلات التالية لا يمكن التنبؤ بإشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ من خلال المعادلة فقط؟

تطبيقات

44. تنبأ بإشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ لكل تغيير من التغيرات التالية،45. تحدي ما تنبؤك بشأن إشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ للتفاعل

لا يمكن التنبؤ

حالة خاصة

هنداوي

كوثر

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

$$\Delta S_{\text{النظام}} = S_{\text{الناتج}} - S_{\text{المتفاعل}}$$

إذا زاد إنتروبي النظام خلال تفاعل أو عملية ما تكون إنتروبيا S و S وتكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة. وعلى العكس. إذا قل إنتروبي النظام خلال تفاعل أو عملية ما تكون إنتروبيا S و S 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 النواتج العملية 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 عملية إلى سائلة ومن سائلة إلى غازية. $\Delta S_{\text{النظام}}$ تكون موجبة في حالتي تسخين الماء والتبخار المبتدئ.



2- إن ذوبان غاز ما في مذيب ينشأ عنه دائماً انخفاض في الإنتروبي. تتسبب جسيمات الغاز بزيادة من الإنتروبي حين تستطيع التحرك بحرية أكثر مما إذا

ذابت في سائل حيث تحد من حركتها ومساواتها. $\Delta S_{\text{النظام}}$ تكون سالبة في حالة ذوبان الأكسجين في الماء كما يظهر في الشكل 19.



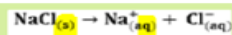
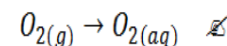
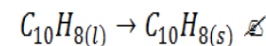
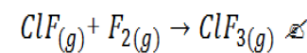
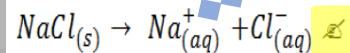
3- على افتراض عدم حدوث أي تغير في الحالة الفيزيائية فإن الإنتروبي في أي نظام عادة ما يزيد حين يكون عدد مولات الغازات الناتجة أكبر من عدد مولات الغازات المتفاعلة. في التفاعل التالي تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة نظراً لأن عدد مولات الغازات الناتجة أكبر من عدد مولات الغازات المتفاعلة.



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



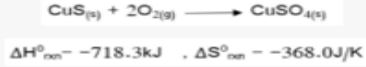
5- تزيد الحركة العشوائية لجسيمات مادة ما كلما زادت درجة حرارتها. تنقل أن الطاقة الحركية للجسيمات تزيد بزيادة درجة الحرارة. زيادة الطاقة الحركية تعني حركة أسرع وعشوائية أكثر للجسيمات. لذلك يزيد إنتروبي أي مادة بزيادة درجة حرارتها. تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة.

4. في أي التغيرات التالية تكون إشارة $\Delta S_{\text{النظام}}^\circ$ موجبة؟the following processes the ΔS_{system} sign is positive?في أي العمليات التالية تكون إشارة $\Delta S_{\text{النظام}}^\circ$ موجبة؟

بحسب تغير الطاقة الحرة ، G ، عندما يتم إعطاء ΔH ، ΔS ، ودرجة الحرارة (في Kelvin أو Celsius) محددًا ما إذا كان التفاعل تلقائيًا أم غير تلقائي

وزارة

يتفاعل كبريتيد النحاس (II) مع الأكسجين في ظل ظروف قياسية لتكوين كبريتات النحاس (II) كما في المعادلة أدناه. أي مما يأتي صحيح؟



العملية (تلقائية / غير تلقائية) Process (Spontaneous / Non-Spontaneous)	ΔG° (kJ)	
غير تلقائية / Nonspontaneous	+727.5	A
تلقائية / Spontaneous	-609.0	B
غير تلقائية / Nonspontaneous	+571.8	C
تلقائية / Spontaneous	-571.8	D

1	A
2	B
3	C
4	D

22. حدد حسابيًا ما إذا كان النظام التالي تلقائي أم غير تلقائي:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{النظام}} = 145 \text{ kJ} \quad \Delta S = +195 \text{ J/K} \quad \text{عند } 293 \text{ K}.$$

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

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

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

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

حل معادلة الطاقة الحرة.

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

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

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

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

given the information below.

$$\Delta H = -27.6 \text{ kJ} \quad \Delta S = -55.2 \text{ J/K} \quad T = 535 \text{ K}$$

following table is correct?

عملية التلقائية العملية Process spontaneity	ΔG العملية Process ΔG
غير تلقائية / nonspontaneous	+1.93 kJ
تلقائية / spontaneous	-1.93 kJ
غير تلقائية / nonspontaneous	+75.1 kJ
تلقائية / spontaneous	-75.1 kJ

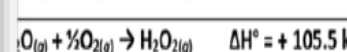
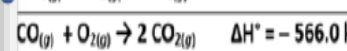
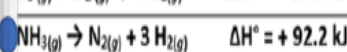
في درجة ما، إذا أعطيت المعلومات أدناه.

Which of the following reactions would you expect to be spontaneous at a higher temperature?

أي من التفاعلات التالية تتوقع أن يكون تلقائيًا في درجات حرارة عالية؟ (استخدم الجدول أدناه)

ΔG_{system}	Reaction spontaneity
always -	always spontaneous
- or +	Spontaneous at lower temperature
- or +	Spontaneous at higher temperature
always +	never spontaneous

تلقائية التفاعل	$\Delta G_{\text{النظام}}$	$\Delta S^{\circ}_{\text{النظام}}$	$\Delta H^{\circ}_{\text{النظام}}$
تلقائي دائمًا	سالب دائمًا	+	-
تلقائي في درجات حرارة منخفضة	موجب أو سالب	-	-
تلقائي في درجات حرارة عالية	موجب أو سالب	+	+
غير تلقائي دائمًا	موجب دائمًا	-	+



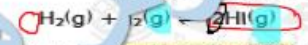


الفلزات المتعادلة
التي لها جهد اختزال
منخفضة جداً
تتفاعل مع
الأكسجين في
الهواء لتكوين
أكاسيدها.

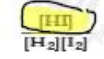
كيف يمكنك تفسير قيمة ثابت الإزتان؟ تذكر أن الكسر الذي يكون فيه البسط أكبر من المقام تكون قيمته أكبر من 1. أما الكسر الذي يكون فيه البسط أصغر من المقام فتكون قيمته أقل من 1. على سبيل المثال، فإن رين النسبتين 5/1 و 1/5. إن المعدد خمسة أكبر من مُعْصَم. وحيث أنه يتم وضع تراكيز المواد الناتجة في بسط معادلة ثابت الإزتان، فإن القيمة العددية للثابت Keq الكبيرة، تعني أن خليط الإزتان يحتوي على مواد ناتجة أكبر من المواد المتفاعلة. وبالعكس، عندما تكون القيمة العددية للثابت Keq أقل من 1 فهذا يعني أن خليط الإزتان يحتوي على مواد متفاعلة أكبر من المواد الناتجة.

$Keq > 1$ تراكيز المواد الناتجة أكبر من تراكيز المواد المتفاعلة عند الإزتان.
 $Keq < 1$ تراكيز المواد المتفاعلة أكبر من تراكيز المواد الناتجة عند الإزتان.

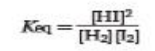
تعايير الإزتان المتجانس: للحصول على غاز يوديد الهيدروجين من خلال تفاعل إزتان غاز الهيدروجين مع اليود، وللمواد العضوية مركباته استخدامات مهمة في الأدوية، كما هو موضح في الشكل 6. يكتب تعبير ثابت الإزتان لتفاعل الهيدروجين مع اليود لتكون يوديد هيدروجين.



تعرف هذا التفاعل باسم الإزتان المتجانس، وتعني يعني أن المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في الحالة الفيزيائية نفسها. وكل المواد المتفاعلة في التفاعل هي غازات، بدايةً، مع تركيز المادة الناتجة في البسط وتقسيمها إلى المواد المتفاعلة في المقام.

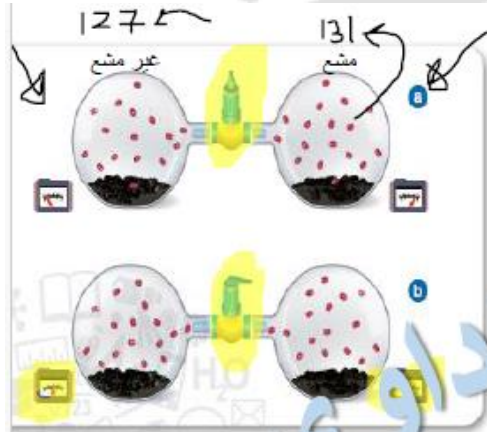


تصبح المعادلة مساوية لـ Keq عندما تقوم بإضافة المعاملات من المعادلة الكيمائية الموزونة كأسس.



إن Keq لهذا الإزتان عند درجة حرارة 731 K يساوي 49.7. لاحظ أن 49.7 ليس لها أي وحدة. ومن المعتاد عند كتابة تعبيرات ثابت الإزتان، حذف الوحدات.

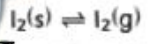
$$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$



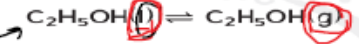
الشكل 6. يتم فصل يوديد اليود المتلصقة إشعاعياً في الدورق الموجود جهة اليمين عن اليود غير النشط إشعاعياً في الدورق الموجود جهة اليسار. لاحظ القراءات الموجودة على أجهزة كشف الإشعاع: a. بعد فتح المحبس لفترة، توضح أجهزة كشف الإشعاع أن هناك جزيئات تتحلل إشعاعياً في كلا الدورقين من اليودات أن الحبيبات قد تحركت ذهاباً وإياباً بين الدورقين وبين الحالتين الصلبة والغازية.

يمكن توضيح الطبيعة الديناميكية للإزتان الكيمياء بوضع كتل متساوية من بلورات اليود في دورقين متصلين، كما هو موضح في الشكل 6a. يحتوي الدورق الموجود جهة اليسار على جزيئات يود متكونة بالكامل من المشع اليود-127. أما الدورق الموجود جهة اليمين، فيحتوي على جزيئات يود متكونة بالكامل من النظير المشع اليود-131. تشير عدادات الإشعاع إلى الاختلاف في مستويات النشاط الإشعاعي داخل كل دورق. يمثل كل دورق نظاماً مغلقاً، لا تستطيع المادة المتفاعلة أو الناتجة الخروج منها. الجدير ذكره أن هذا الإزتان يحدث عند درجة حرارة 127 K و 1 atm في كلا الدورقين.

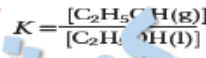
تفتقر جزيئات اليود في العنبلة الأمامية، المسماة بالتساوي، من اليود من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية. وفي العنبلة الخلفية، تعود جزيئات اليود الغازية إلى الحالة الصلبة. إضافة إلى ذلك يحدث إزتان صلب-غاز في كل دورق. عند فتح المحبس الموجود في الأنبوب والذي يربط بين الدورقين، كما في الشكل 6b، يمكن أن ينتقل بخار اليود ذهاباً وإياباً بين الدورقين، وبعد فترة من الوقت، تشير القراءات على عدادات كشف الإشعاع إلى أن الدورق الموجود جهة اليسار يحتوي على عدد من جزيئات اليود-131 النشطة إشعاعياً نفسها كما في الدورق الموجود جهة اليمين في الحالتين الغازية والصلبة. تشير الأدلة إلى أن جزيئات اليود تتغير بشكل دائم من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية وفقاً للعنبلة الأمامية، وأن جزيئات اليود الغازية تعود مرة أخرى إلى الحالة الصلبة وفقاً للعنبلة الخلفية. تشير القراءات الثابتة على كلا جهازي كشف الإشعاع إلى حدوث الإزتان في الحجم الكلي للدورقين.



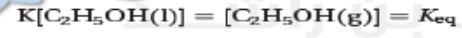
تعايير الإزتان غير المتجانس: لقد تعلمت أن تكتب تعبير ثابت الإزتان Keq الخاصة بالإزتان المتجانس، وهو الإزتان الذي تكون فيه المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في الحالة الفيزيائية نفسها. وحين تتواجد المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في أكثر من حالة فيزيائية، يسمى الإزتان **غير متجانس**. عندما يتم وضع الإيثانول في دورق مغلق، ينشأ حالة إزتان سائل-غاز، كما هو موضح في الشكل 8.



كتابة تعبير ثابت الإزتان لهذه العملية، ستقوم بصياغة نسبة المواد الناتجة إلى المواد المتفاعلة. وعند درجة حرارة معينة، تصبح النسبة قيمة ثابتة K.



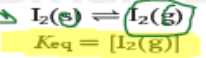
لاحظ أن تركيز الإيثانول السائل من المقام وهو مادة نغية، وبهذا يكون تركيزه هو كثافته المعبر عنها بالمولات لكل لتر. تذكر أنه عند درجة حرارة معينة، تبقى الكثافة ثابتة، وبغض النظر عن كمية صغيرة من C₂H₅OH الموجودة، يبقى تركيزها ثابتاً. وبهذا فإن أسس وجود في المقام ثابت ويمكن دمجه مع K في التعبير الخاص بـ Keq.



إن تعبير ثابت الإزتان لتغير الحالة هذا هو



تعد المواد الصلبة أيضاً مواد نغية ذات تراكيز ثابتة، لذلك يتم تبسيط حالات الإزتان التي تحتوي على المواد الصلبة بالطريقة نفسها. تذكر التجربة التي تحتوي على تسامي بلورات اليود في الشكل 6.



يعتمد ثابت الإزتان، Keq فقط على تركيز غاز اليود في النظام.

تعايير الإزتان مواد كيميائية

لا تفضل بعض الأنظمة الكيميائية كثيراً إلى التفاعل، في حين هناك أنظمة تفضل التفاعل حتى تكتمل. وتصل معظم التفاعلات إلى حالة إزتان مع عدم استهلاك بعض المواد المتفاعلة، فإذا لم يتم استهلاك كل المواد المتفاعلة، فإن كمية المواد الناتجة تكون أقل من الكمية المتوقعة من خلال المعادلة الكيميائية الموزونة. لذا في معادلة تفاعل الأمونيا ينتج إنتاج 2 mol من الأمونيا عند تفاعل 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين. ونظراً إلى أن التفاعل يصل إلى حالة إزتان، يتم الحصول على أقل من 2 mol من الأمونيا.

$$Keq = \frac{[ناتج]^x}{[متفاعل]^y}$$

قانون الإزتان الكيمياء في عام 1864 صاغه الكيميائيان الروسيان كاتو ماكسيميليان جولدميرج وبيرتر واج متأ على تطوير قانون الإزتان الكيمياء، والذي ينص على أنه في ظل درجة حرارة معينة، قد يصل النظام كيمياء إلى حالة إزتان تكون فيها نسب تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة ثابتة. أسس المعادلة التالية تفاعل في حالة إزتان،



في حال كان التفاعل على هذا التفاعل، يتم الحصول على النسبة التالية:

$$Keq = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

إن مسرعات الإزتان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى نسبة التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة مع رفع كل تركيز إلى أسس يساوي معامل ذلك المادة في المعادلة الكيميائية الموزونة.

يتمثل ثابت الإزتان Keq القيمة العددية لنسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة مع رفع كل تركيز إلى الأسس الكيمياء لمعامله في المعادلة الموزونة. وتكون قيمة Keq ثابتة فقط عند درجة حرارة محددة.

$$M = \frac{n}{V} = \frac{mol}{L}$$

تكون في التوازن
Keq = [C₂H₅OH]
Keq = [C₂H₅OH]
Keq = [C₂H₅OH]

$$Keq = \frac{1}{1}$$

وزاري

In the following table, what is the correct equilibrium constant expression for the corresponding reaction?

في الجدول التالي، ما تعبير ثابت الإتزان الصحيح للتفاعل الذي يُقابله؟

تعبير ثابت الإتزان	التفاعل	
$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$	$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$	A
$\frac{[Na_2CO_3][CO_2][H_2O]}{[NaHCO_3]^2}$	$2NaHCO_3(s) \rightleftharpoons Na_2CO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$	B
$\frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$	$CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$	C
$\frac{[CaCO_3]}{[CaO]}$	$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$	D

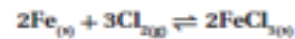
1

2

3

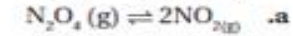
4

4. تحفيز يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد III FeCl₃. اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الإتزان للتفاعل.

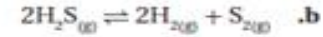


$$K_{eq} = \frac{1}{[Cl_2]^3}$$

1. اكتب تعبير ثابت الإتزان للمعادلات الآتية:



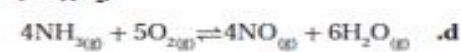
$$K_{eq} = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$



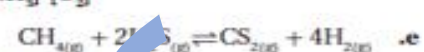
$$K_{eq} = \frac{[H_2]^2[S_2]}{[H_2S]^2}$$



$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$



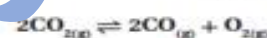
$$K_{eq} = \frac{[NO]^4[H_2O]^6}{[NH_3]^4[O_2]^5}$$



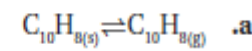
$$K_{eq} = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][S_2]^2}$$

2. تحفيز اكتب المعادلة الكيميائية التي تعبر عنها تعبير ثابت الإتزان الآتي:

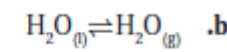
$$K_{eq} = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$$



3. اكتب تعبير ثابت الإتزان غير المتجانس لكل مما يلي:



$$K_{eq} = [C_{10}H_{8(g)}]$$



$$K_{eq} = [H_2O_{(g)}]$$



$$K_{eq} = [CO_{2(g)}]$$



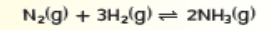
$$K_{eq} = \frac{[CO_{(g)}][H_{2(g)}]}{[H_2O_{(g)}]}$$



$$K_{eq} = \frac{[CO_{2(g)}]}{[CO_{(g)}]}$$

مثال 1

تعايير ثابت الإتزان للتفاعلات المتجانسة يتم إنتاج ملايين الأطنان من الأمونيا (NH₃) سنوياً لاستخدامها في تصنيع منتجات مثل الأسمدة والألياف الصناعية. ويمكن أن تكون قد استخدمت الأمونيا في منزلك كمنظف. فهي تستعمل في تنظيف الزجاج. ويتم تصنيع الأمونيا من عناصرها، وهي الهيدروجين والنيتروجين. وذلك باستخدام طريقة هابر. اكتب تعبير ثابت الإتزان للتفاعل التالي.



1 تحليل المسألة

توفّر المعادلة الخاصة بالتفاعل المعلومات اللازمة لكتابة تعبير ثابت الإتزان. ويشير الإتزان بأنه متجانس لأن المواد المتفاعلة والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

إن تعبير ثابت الإتزان هو

$$K_{eq} = \frac{[C]^c}{[A]^a[B]^b}$$

المعلوم

1 = N₂ . [A] = [N₂]

3 = H₂ . [B] = [H₂]

2 = NH₃ . [C] = [NH₃]

المجهول

K_{eq} = ?

2 حساب المجهول

ضع صيغة لنسبة تركيز الناتج إلى تراكيز المواد المتفاعلة.

$$K_{eq} = \frac{[C]^c}{[A]^a[B]^b}$$

اكتب تعبير ثابت الإتزان.

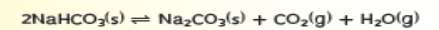
$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]^1[H_2]^3}$$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

قم بالتعويض عن a = 1 و b = 3 و c = 2.

مثال 2

تعايير ثابت الإتزان غير المتجانس بالإضافة إلى استخداماته في الخبز وكخباز للخبوذة وفي التنظيف. غالباً ما يتم وضع مسحوق الخبز في علب متباعدة في التلاجات لتجديد الهواء كما هو مبين في الشكل 9. اكتب تعبير ثابت الإتزان لتفاعل مسحوق الخبز (بيكربونات الصوديوم).



1 تحليل المسألة

لقد ورد ضمن المعطيات أنه ثمة إتزان غير متجانس يتضمن غازات ومواد صلبة. لذا نحذف المواد الصلبة من تعبير ثابت الإتزان.

المعلوم

1 = Na₂CO₃ . [C] = [Na₂CO₃]

1 = CO₂ . [D] = [CO₂]

1 = H₂O . [E] = [H₂O]

2 = NaHCO₃ . [A] = [NaHCO₃]

المجهول

تعبير ثابت الإتزان = ?

2 حساب المجهول

ضع صيغة لنسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة.

$$K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d[E]^e}{[A]^a[B]^b}$$

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^1[CO_2]^1[H_2O]^1}{[NaHCO_3]^2}$$

قم بالتعويض عن a = 2 و b = 2 و c = 1 و d = 1 و e = 1.

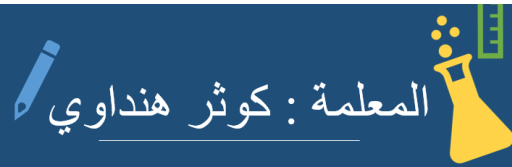
$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3][CO_2][H_2O]}{[NaHCO_3]^2}$$

احذف الأطراف التي تتضمن مواد صلبة.

$$K_{eq} = [CO_2][H_2O]$$

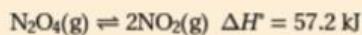
هنداوي

كوثر



وزاري

جميع التغيرات التالية تُسبب انزياح الاتزان إلى جهة اليسار في التفاعل
أثناء عدا.....

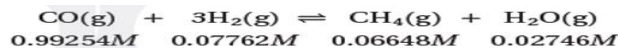


Lowering the system temperature

خفض حرارة النظام

Increasing the pressure

زيادة الضغط

Reducing the concentration of N_2O_4 تقليل تركيز N_2O_4 Reducing the concentration of NO_2 تقليل تركيز NO_2 

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.06648)(0.02746)}{(0.99254)(0.07762)^3} = 3.933$$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.06648)(0.02746)}{(0.99254)(0.07762)^3} = 3.933$$

لاحظ أن بالرغم من أن قيمة K_{eq} لم تتغير، فإن موضع الاتزان الجديد يحقق النتيجة المطلوبة - وهي زيادة تركيز غاز الميثان. وتلخص نتائج هذه التجربة في الجدول 2.

هل يمكنك توقع هذه النتيجة باستخدام مبدأ لوشاتيليه؟ نعم، لأن زيادة تركيز أول أكسيد الكربون يحدّ جديداً مندوّلاً على الاتزان. فيستجيب نظام الاتزان للجهد الجديد عن طريق استهلاك جسيمات أول أكسيد الكربون بسرعة أكبر، وهذه الاستجابة تُسبب إزاحة نحو اليمين، وتُشكل المزيد من CH_4 و H_2O (الشكل 12).

ملاحظة: هذه المتفاعلة تتحول إلى المواد الناتجة بزيادة تركيز المتفاعلات.

الجدول 2 عند الاتزان للتفاعل: $\text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$					
موضع الاتزان	$[\text{CO}]_{\text{eq}} (\text{M})$	$[\text{H}_2]_{\text{eq}} (\text{M})$	$[\text{CH}_4]_{\text{eq}} (\text{M})$	$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{eq}} (\text{M})$	K_{eq}
1	0.30000	0.10000	0.05900	0.02000	3.933
2	0.99254	0.07762	0.06648	0.02746	3.933

إزالة النواتج لنترض أنه بدلاً من زيادة المادة المتفاعلة، قرر الكيميائي إزالة الناتج (H_2O) بإضافة عامل مجفف في وعاء التفاعل. تذكر أن العامل المجفف هو المادة التي تمتص الماء. ماذا يتوقع مبدأ لوشاتيليه أن يحدث للاتزان استجابةً لنقصان تركيز الماء؟ ستتم إزاحة الاتزان في الاتجاه الذي سيميل إلى جعل تركيز الماء يعود إلى طبيعته. وهذا يعني أن الاتزان ستتم إزاحته نحو اليمين وتكوين مزيد من المادة الناتجة.

فكر كيف يتم الاحتفاظ برفوف المتاجر مملوءة بالمنتجات كما هو موضح في الشكل 11. عندما يشتري شخص أي صنف من علب الخبز فإن وظيفة ما أن يعوض تناقص السلع أياً كانت. وبالمثل، فإن تناقص الناتج يحفز الاتزان على إنتاج المزيد من الناتج. خلال إنتاج كميات أكبر من الماء، مما يعني أنه في أي اتجاه يؤدي إزاحة الناتج إلى الإزاحة نحو اليمين وإنتاج المزيد من المواد الناتجة.

إضافة المواد الناتجة يمكن أيضاً إزاحة موضع الاتزان نحو اليسار، نحو المادة المتفاعلة، حيث يتوقع مبدأ لوشاتيليه أنه إذا تمت إضافة مادة ناتجة إلى التفاعل عند الاتزان، سيؤدي ذلك إلى إزاحة التفاعل نحو اليسار. ومن ثم تخفيف الجهد عن طريق تحويل النواتج إلى مواد متفاعلة، إذا تم إزالة أحد المواد المتفاعلة، ستحدث إزاحة مماثلة نحو اليسار.

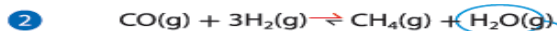
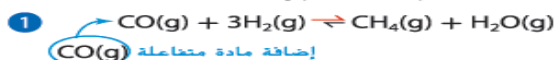
لكي تتوقع أثر جهد ما في الاتزان بحسب مبدأ لوشاتيليه، لاحظ معادلة التفاعل. و بين الشكل 12 أثر التغيير في التراكيز على الاتزان.

الشكل 12 إضافة أو إزالة المادة المتفاعلة أو المادة الناتجة تعمل على إزاحة الاتزان في الاتجاه الذي يخفف من الجهد. لاحظ الأسهم غير المتساوية، والتي تشير إلى اتجاه الإزاحة. صف كيف ستتم إزاحة الاتزان في التفاعل إذا أضفت H_2 وإذا أزلت CH_4 ؟



إزاحة الاتزان إلى اليمين

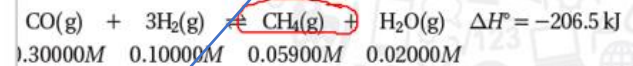
إزاحة الاتزان إلى اليسار



المثل 12 تأثير زيادة تركيز مادة المتفاعلة على موضع الاتزان. لاحظ أن زيادة تركيز أول أكسيد الكربون يحدّ جديداً مندوّلاً على الاتزان. فيستجيب نظام الاتزان للجهد الجديد عن طريق استهلاك جسيمات أول أكسيد الكربون بسرعة أكبر، وهذه الاستجابة تُسبب إزاحة نحو اليمين، وتُشكل المزيد من CH_4 و H_2O (الشكل 12).

مبدأ لوشاتيليه

إذا كانت النواتج الثانوية لعملية صناعية هي غازات أول أكسيد الكربون و الهيدروجين، كما يعتقد كيميائي أحد الشركات أن هذه الغازات يمكن دمجهما لإنتاج وقود غاز الميثان (CH_4)، فعندما يوضع CO و H_2 في وعاء مغلق عند 1200 K يصل هذا التفاعل المتطارد للحرارة ($\Delta H = -206.5 \text{ kJ}$) إلى حالة الاتزان (حالة الاتزان رقم 1).



وعند التعويض عن هذه التراكيز في تعبير الاتزان فإن ثابت الاتزان يساوي 3.933.

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.05900)(0.02000)}{(0.30000)(0.10000)^3} = 3.933$$

ولأن تركيز غاز الميثان بمقدار 0.05900 mol/L في خليط الاتزان منخفض جداً لن تكون له أي فائدة عملية، فهل يستطيع الكيميائي أن يغير في موضع الاتزان. وبالتالي يزيد من كمية غاز الميثان؟ هذه الحالة مشابهة لحالة عذاء يجري على جهاز المشي كما هو موضح في الشكل 10. إذا زاد العذاء من سرعة جهاز المشي، يجب أن يزيد هو من سرعته أيضاً لاستعادة حالة الاتزان.

في العام 1888، اكتشف الكيميائي الفرنسي هنري لويس لوشاتيليه أن هناك طرائق للسيطرة على الاتزان لجعل التفاعلات أكثر إنتاجية. وقدم اقتراحاً يسمى الآن **مبدأ لوشاتيليه أو انزياح الاتزان**: إذا تم بدل جيد على نظام في حالة اتزان، تتم إزاحة النظام في الاتجاه الذي يخفف من هذا الجهد، والجهد هو أي نوع من التغيير على نظام في حالة اتزان مما يسبب اضطراب الاتزان.

تطبيق مبدأ لوشاتيليه

كيف تستطيع كيميائية صناعية تطبيق مبدأ لوشاتيليه لزيادة إنتاجها من غاز الميثان؟ ستحتاج إلى تعديل أي من العوامل التي من شأنها أن تؤدي إلى إزاحة الاتزان إلى جانب ناتج التفاعل.

التغيرات في التركيز تعديل تراكيز المواد الداخلة في التفاعل أو النواتج يؤثر في الاتزان. درست سابقاً عن نظرية التصادم، التي تنص على أن الجسيمات يجب أن تصادم من أجل أن تتفاعل، ويعتمد عدد التصادمات بين الجسيمات المتفاعلة على تركيز الجسيمات، لذلك ربما يستطيع الكيميائي أن يغير الاتزان عن طريق تغيير التراكيز.

إضافة المواد المتفاعلة لنترض أنه تم إضافة كمية من أول أكسيد الكربون إلى وعاء التفاعل، لرفع تركيز أول أكسيد الكربون من 0.30000 M إلى 1.00000 M . إن التركيز الكبير لغاز أول أكسيد الكربون سيزيد على الفور عدد التصادمات الفعالة بين CO وجسيمات H_2 ويؤثر في الاتزان. مما يزيد سرعة التفاعل الأمامي، كما هو موضح بالسهم الطويل الذي يشير إلى اليمين.



مع مرور الزمن، تقل سرعة التفاعل الأمامي، مع انخفاض تراكيز CO و H_2 ، وفي وقت نفسه، تزداد سرعة التفاعل العكسي كلما تم إنتاج المزيد من جسيمات CH_4 و H_2O . في نهاية المطاف، يتم تحييد موضع الاتزان (موضع 2).

وزاري

فيما يتعلق بأنظمة الاتزان الواردة في الجدول أدناه.

أي مما يأتي صحيح؟

$H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$	1
$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$	2
$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$	3
$2N_2H_4(g) + 2NO_2(g) \rightleftharpoons 3N_2(g) + 4H_2O(g)$	4

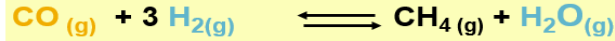
تقليل حجم وعاء التفاعل يُسبب إزاحة الاتزان 1 إلى اليمين

زيادة حجم وعاء التفاعل يسبب إزاحة الاتزان 4 إلى اليسار

تقليل حجم وعاء التفاعل يسبب إزاحة الاتزان 2 إلى اليسار

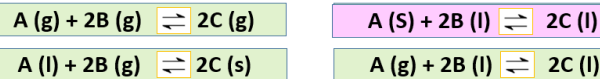
زيادة حجم وعاء التفاعل يسبب إزاحة الاتزان 3 إلى اليمين

تأثير زيادة الضغط

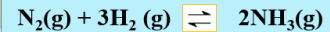


زيادة الضغط في حالة عدم تساوي المولات يؤدي إلى الإزاحة باتجاه عدد المولات الأقل ..

أياً من التفاعلات التالية المتزنة لا يؤثر فيها تغيير الضغط أو الحجم؟



أياً من التالي يحدث عند زيادة حجم وعاء التفاعل في الاتزان التالي



ينزاح الاتزان نحو اليمين

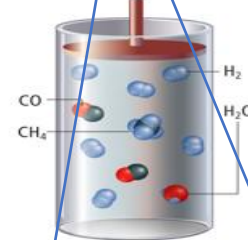
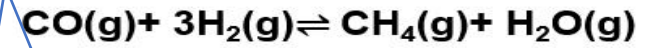
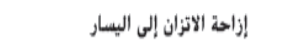
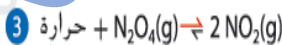
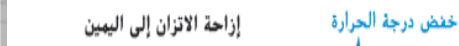
تزداد كمية الأمونيا

ينزاح الاتزان نحو اليسار

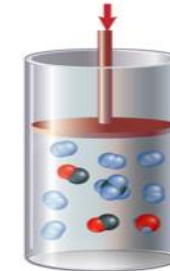
تقل كمية الهيدروجين

تفاعل طارد للحرارة

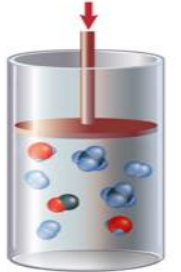
إزاحة الاتزان إلى اليسار



التفاعل بين H_2 و CO في حالة اتزان .



ضغط المكبس إلى اسفل يقلل حجم الوعاء و يزيد الضغط .



تتكون المزيد من النواتج نتيجة اختلاف حجم الوعاء و الضغط مما يخفف من الجهد على النظام .

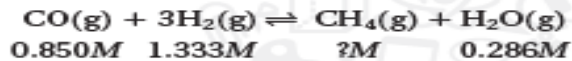
الضغوط المبدولة بواسطة الغاز المثالي تعتمد على عدد جسيمات الغاز التي تتصادم مع جدران الوعاء. كلما ازدادت جسيمات الغاز الموجودة في الوعاء، ازداد الضغط. وكلما ازداد عدد جسيمات الغاز عند درجة حرارة ثابتة، ازداد ضغط الغاز. وإذا قل عدد جسيمات الغاز، قل ضغط الغاز. فكل ضغط الغاز، يف تُطبق هذه العلاقة بين عدد جسيمات الغاز والضغط على تفاعل تكوين غاز الأتزان؟

عدد مولات المواد المتفاعلة مقابل عدد مولات المواد الناتجة قارن عدد مولات المواد المتفاعلة الغازية في المعادلة بعدد مولات المواد الناتجة الغازية. عند تكوين مولين من المواد الناتجة الغازية، تستهلك أربعة مولات من المواد المتفاعلة الغازية. حيث يقل العدد الكلي بمقدار مولين. إذا قمت بتطبيق مبدأ لوشاتلييه، يمكنك أن ترى أن الاتزان يمكن أن يخفف الجهد الواقع عليه نتيجة زيادة الضغط من خلال الإزاحة نحو اليمين. الشكل 13 يبين أن هذه الإزاحة تقلل من عدد مولات الغاز، وبالتالي فإن الضغط داخل وعاء التفاعل يقل. وعلى الرغم من أن الإزاحة نحو اليمين لا تقلل من الضغط إلى قيمته الأصلية، إلا أن لها التأثير المطلوب - وهو تكوين المزيد من غاز الميثان المنتج.

تغيير الحجم (والضغط) على نظام في حالة اتزان، سيؤدي إلى إزاحة الاتزان فقط في حال كان عدد مولات المواد المتفاعلة الغازية يختلف عن عدد مولات المواد الناتجة الغازية. أما إذا كان عدد مولات الغاز هو نفسه على طرفي المعادلة فإن التغيرات في الحجم والضغط ليس لها أي تأثير على الاتزان.

حساب التراكيز عند الاتزان

كيف يمكن استخدام تعبير ثابت الاتزان لحساب تركيز ناتج ما؟ إذا كانت قيمة ثابت الاتزان K_{eq} لتفاعل تكون غاز الميثان CH_4 من تفاعل غازي H_2 و CO تساوي 3.933 عند درجة حرارة مقدارها 1200 K، يمكنك حساب تركيز غاز الميثان إذا كانت قيم تراكيز H_2 و CO و H_2O معروفة لديك.



$$0.850M \quad 1.333M \quad ?M \quad 0.286M$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$

وللحصول على قيمة $[CH_4]$ اضرب طرفي المعادلة في $[CO][H_2]^3$ واقسم الطرفين على $[H_2O]$.

$$[CH_4] = K_{eq} \times \frac{[CO][H_2]^3}{[H_2O]}$$

عوّض التراكيز المعلومة وقيمة K_{eq} (3.933).

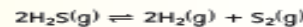
$$[CH_4] = 3.933 \times \frac{(0.850)(1.333)^3}{(0.286)} = 27.7 \text{ mol/L}$$

إن تركيز CH_4 عند الاتزان يساوي 27.7 mol/L.

هل هذه الكمية الناتجة 27.7 mol/L عملية، بحيث يمكن تحويل المتبقي من H_2 و CO إلى ميثان؟ يعتمد ذلك على تكلفة الميثان. يوضّح الشكل 16 ناقلة ضغط تنقل الغاز الطبيعي، والذي يتكوّن أساسًا من الميثان، إلى الموانئ حول العالم.

مثال 4

حساب تراكيز الاتزان عند درجة حرارة 1405 K، يتحلل كبريتيد الهيدروجين. ذو الرائحة الكريهة المائلة لرائحة البيض العاسد، إلى هيدروجين وجزء كبريت حسب المعادلة التالية. وثابت الاتزان للتفاعل 2.27×10^{-3} .



ما تركيز غاز الهيدروجين إذا كان تركيز $[S_2] = 0.0540 \text{ mol/L}$ و $[H_2S] = 0.184 \text{ mol/L}$ ؟

1 تحليل المسألة

تم إعطاؤك قيمة K_{eq} وتركيزي مادتين من ثلاثة في تعبير ثابت الاتزان. لذا يمكنك حساب قيمة $[H_2]$ وبما أن قيمة K_{eq} أقل من واحد، فإن تركيز $[H_2]$ سيكون أقل من تركيز $[H_2S]$. وهو تركيز المادة المتفاعلة H_2S .

المعلوم

$$K_{eq} = 2.27 \times 10^{-3}$$

$$[S_2] = 0.0540 \text{ mol/L}$$

$$[H_2S] = 0.184 \text{ mol/L}$$

2 حساب المجهول

$$\frac{[H_2]^2[S_2]}{[H_2S]^2} = K_{eq}$$

قم بحل المعادلة للحصول على $[H_2]$.

$$[H_2]^2 = K_{eq} \times \frac{[H_2S]^2}{[S_2]}$$

$$[H_2] = \sqrt{K_{eq} \times \frac{[H_2S]^2}{[S_2]}}$$

$$[H_2] = \sqrt{(2.27 \times 10^{-3}) \times \frac{(0.184)^2}{(0.0540)}}$$

$$[H_2] = 0.0377 \text{ mol/L}$$

عوّض واقسم واحسب الجذر التربيعي.

اضرب واقسم واحسب الجذر التربيعي.

التركيز عند الاتزان لغاز الهيدروجين H_2 يساوي 0.0377 mol/L.

تطبيقات

18. ينتج الميثانول حسب المعادلة، $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$. فإذا كانت قيمة $K_{eq} = 10.5$.

عند درجة حرارة معينة، احسب التراكيز التالية:

a. في خليط اتزان يحتوي على H_2 0.933 mol/L و CH_3OH 1.32 mol/L.

b. في خليط اتزان يحتوي على H_2 1.09 mol/L و CH_3OH 0.325 mol/L.

c. في خليط اتزان يحتوي على H_2 0.0661 mol/L و CO 3.85 mol/L.

19. تحدي في التفاعل العام $A + B \rightleftharpoons C + D$ حتى يصل إلى حالة الاتزان. إذا كان تركيز A عند الاتزان يساوي

B في دورق حجمه 1 L حتى يصل إلى حالة الاتزان. إذا كان تركيز A عند الاتزان يساوي

0.450 mol/L، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟ وما قيمة K_{eq} ؟

استناداً إلى الحسابات الكيميائية للمعادلة، فإن تركيز

B يساوي 0.450 M، في حين إن تركيز كل من C، و D

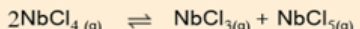
يساوي: $1.00 - 0.450 = 0.550 \text{ M}$.

$$K_{eq} = \frac{(0.550)(0.550)}{(0.450)(0.450)} = 1.49$$

وزاري

يصل التفاعل أدناه إلى حالة الاتزان عند درجة حرارة معينة،

at a certain temperature



concentrations are:

$$[NbCl_3] = 0.450 \text{ mol/L}, \quad [NbCl_5] = 0.0380 \text{ mol/L}$$

of $NbCl_4$?

و $K_{eq} = 6.90 \times 10^{-4}$ ، إذا كانت تراكيز الاتزان هي:

ما تركيز $NbCl_4$ ؟

5.65 mol/L

1.69 mol/L

4.98 mol/L

2.75 mol/L

a. في خليط اتزان يحتوي على H_2 0.933 mol/L و CH_3OH 1.32 mol/L.

$$K_{eq} = \frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$$

$$10.5 = \frac{(1.32)}{[CO](0.933)^2}$$

$$[CO] = 0.144 \text{ M}$$

b. في خليط اتزان يحتوي على H_2 1.09 mol/L و CH_3OH 0.325 mol/L.

$$K_{eq} = \frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$$

$$10.5 = \frac{(0.325)}{(1.09)[H_2]^2}$$

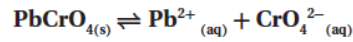
$$[H_2] = 0.169 \text{ M}$$

c. في خليط اتزان يحتوي على H_2 0.0661 mol/L و CO 3.85 mol/L.

$$K_{eq} = \frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$$

$$10.5 = \frac{[CH_3OH]}{(3.85)(0.0661)^2}$$

$$[CH_3OH] = (10.5)(3.85)(0.0661)^2 = 0.177 \text{ M}$$

.a $PbCrO_4$ 

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CrO_4^{2-}]$$

$$2.33 \times 10^{-13} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{2.33 \times 10^{-13}} = 4.8 \times 10^{-7} M$$

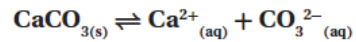
.b $AgCl$ 

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-]$$

$$1.8 \times 10^{-10} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{1.8 \times 10^{-10}} = 1.3 \times 10^{-5} M$$

.c $CaCO_3$ 

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$$

$$3.4 \times 10^{-9} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{3.4 \times 10^{-9}} = 5.8 \times 10^{-5} M$$

حساب الإذابة المولارية استخدم قيمة K_{sp} من الجدول 3 لحساب ذائبية كربونات النحاس ($CuCO_3$) بوحدة mol/L عند 298 K.

1 تحليل المسألة

تم إعطاؤك ثابت حاصل إذابة $CuCO_3$. ترتبط تراكيز أيون النحاس وأيون الكربونات بعلاقة واحد إلى واحد مع ذائبية $CuCO_3$ المولارية. استخدم s لتمثيل ذائبية $CuCO_3$ المولارية. ثم استخدم تعبير ثابت حاصل الإذابة لإيجاد قيمة الإذابة. ولأن K_{sp} في صورة 10^{-10} . يمكنك توقع أن تكون الإذابة المولارية تساوي جذر K_{sp} التربيعي أو حوالي 10^{-5} .

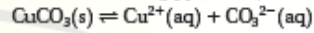
المجهول

$$s = ? \text{ mol/L}$$

المعلوم

$$K_{sp}(CuCO_3) = 2.5 \times 10^{-10}$$

2 حساب المجهول



$$K_{sp} = [Cu^{2+}][CO_3^{2-}] = 2.5 \times 10^{-10}$$

$$s = [Cu^{2+}] = [CO_3^{2-}]$$

$$(s)(s) = s^2 = 2.5 \times 10^{-10}$$

$$s = \sqrt{2.5 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

إن ذائبية $CuCO_3$ المولارية في الماء عند 298 K تساوي $1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$.

تقييم الإجابة

تعد القيمة K_{sp} على 10^{-10} من حيث الحجم. وبالتالي تم التعبير عن الإجابة بشكل صحيح لأقرب رقمين معنويين. كما هو متوقع. ذائبية $CuCO_3$ تساوي $1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$.

تطبيقات

20. استخدم البيانات الموجودة في الجدول 3 لحساب الإذابة المولارية لمركبات الأيونية التالية عند درجة حرارة 298 K.

21. تحدي إذا كانت قيمة K_{sp} لكربونات الرصاص (II) ($PbCO_3$) تساوي 7.40×10^{-14} عند 298 K. فما ذائبية كربونات الرصاص بوحدة g/L؟

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CO_3^{2-}] = 7.40 \times 10^{-14}$$

$$(s)(s) = 7.40 \times 10^{-14}$$

$$s = \sqrt{7.40 \times 10^{-14}} = 2.72 \times 10^{-7} M$$

$$s = 2.72 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \times 267.2 \text{ g/mol}$$

$$= 7.27 \times 10^{-5} \text{ g/L}$$

ملاحظات:

- المركبات الأيونية تذوب في الماء.
- هناك مركبات ذائبيتها عالية مثل البجيرات التي تحتوي على كمية كبيرة من الأملاح.

3. هناك مركبات ذائبيتها منخفضة مثل AgI , $BaSO_4$.

ماذا تعني العبارة التالية:

$$K_{sp}(BaSO_4) = 1.1 \times 10^{-10}$$

أي أن كل $1.1 \times 10^{-10} \text{ mol}$ من $BaSO_4$ تذوب في 1L من الماء النقي.



كتابة تعابير ثابت حاصل الإذابة يُسمى تعبير ثابت الاتزان للمركبات الضليلة الذوبان ثابت حاصل الإذابة K_{sp} . وهو ناتج ضرب تراكيز الأيونات الذائبة كل منها مرفوع لأس يساوي معاملها في المعادلة الكيميائية. تذكر أن تركيز المادة النقية يُعبّر عن كثافتها بوحدة المول لكل لتر mol/L والذي يكون ثابتاً عند درجة حرارة معينة. لذلك، في حالات الاتزان غير المتجانسة، تُحذف المواد الصلبة والسوائل النقية من تعابير الاتزان.

يمكنك الآن كتابة تعبير ثابت حاصل الإذابة لكربونات الباريوم ($BaSO_4$) الذائبة في الماء. عندما تكون قيمة K_{sp} لعملية الذوبان هذه 1.1×10^{-10} عند 298 K.

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = 1.1 \times 10^{-10}$$

تشير قيمة K_{sp} الصغيرة لـ $BaSO_4$ إلى أن النواتج لا تزداد تراكيزها في حالة الاتزان. إذ يكون تركيز أيونات الباريوم في حالة الاتزان $1.0 \times 10^{-5} M$ فقط. وبالتالي يمكن للمريض، مثل ذلك الذي يظهر في الشكل 18، تناول محلول كبريتات الباريوم بأمان.

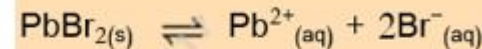
كما يعد ثابت حاصل الإذابة لهيدروكسيد المغنيسيوم المضاد للحموضة ($Mg(OH)_2$) مثلاً آخر.



$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2$$

ما ذائبية بروميد الرصاص $PbBr_2$ عند 298 K (بوحدة mol/L)؟

$$K_{sp} = 6.6 \times 10^{-6}$$



0.018

0.024

0.030

0.012

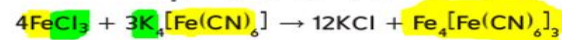
وزاري

الجدول 4 تراكيز الأيون

المحلول الأصلي (mol/L)	الخليط (mol/L)
[Fe ³⁺] = 0.10	[Fe ³⁺] = 0.050
[Cl ⁻] = 0.30	[Cl ⁻] = 0.15
[K ⁺] = 0.40	[K ⁺] = 0.20
[Fe(CN) ₆ ⁴⁻] = 0.10	[Fe(CN) ₆ ⁴⁻] = 0.050

نص الكتاب + مثال 7 + التطبيقات

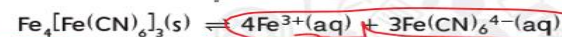
توقع الرواسب افترض أنه قد تم خلط أحجام متساوية من محاليل مائية تركيز كل منها 0.10 M من المحاليل المائية لكلوريد الحديد الثلاثي (III) (FeCl₃) وحديد سداسي سيانيد البوتاسيوم K₄[Fe(CN)₆]. سيتكوّن راسب كما هو موضح في الشكل 19 وقد يحدث تفاعل الإحلال المزدوج التالي:



يمكنك استخدام K_{sp} لتوقع ما إذا كان سيتكوّن راسب عند خلط أي محلولين أیوین أم لا.

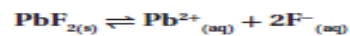
في التفاعل أعلاه، من المحتمل تكوّن راسب في حال كان الناتج KCl أو Fe₄[Fe(CN)₆]₃ له ذائبة قليلة. تعلم أنّ KCl مركب ذائب ولا يمكن أن يترسب، لكن قيمة K_{sp} لـ Fe₄[Fe(CN)₆]₃ رقم صغير للغاية، 3.3×10^{-41} ، مما يجعل Fe₄[Fe(CN)₆]₃ يترسب إذا كانت تراكيز أيوناته كبيرة بدرجة كافية. ماذا تعني كبيرة بدرجة كافية؟

من الممكن أن يحدث اتزان ما بين Fe₄[Fe(CN)₆]₃ الصلب المترسب وأيوناته في المحلول، Fe³⁺ و Fe(CN)₆⁴⁻ كما هو مبين في المعادلة التالية:



عند خلط المحلول FeCl₃ والمحلول K₄[Fe(CN)₆]. إذا كانت تراكيز أيونات Fe³⁺ و Fe(CN)₆⁴⁻ أكبر من تراكيزها الناتجة في المحلول المشبع لـ Fe₄[Fe(CN)₆]₃، ستزاح الاتزان في هذه الحالة إلى اليسار، ويترسب Fe₄[Fe(CN)₆]₃(s). لتوقع ما إذا كان سيتكوّن راسب عند خلط محلولين معًا، يجب عليك أولاً حساب تراكيز الأيونات.

25. استعمل قيم K_{sp} من الجدول 3-4 لتوقع هل سيتكوّن راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل التالية أم لا:



$$Q_{sp} = [\text{Pb}^{2+}][\text{F}^{-}]^2 = (0.050 \text{ M})(0.015 \text{ M})^2 = 1.12 \times 10^{-5}$$

$$K_{sp} = 3.3 \times 10^{-8}$$

سيتكوّن راسب من PbF₂، لأن: $K_{sp} < Q_{sp}$



$$Q_{sp} = [\text{Ag}^{+}]^2[\text{SO}_4^{2-}] = (0.0050 \text{ M})^2(0.125 \text{ M}) = 3.1 \times 10^{-6}$$

$$K_{sp} = 1.2 \times 10^{-5}$$

لن يتكوّن راسب من Ag₂SO₄، لأن: $K_{sp} > Q_{sp}$

26. تحفيز هل يتكوّن راسب عند إضافة 250 mL من 0.20 M MgCl₂ إلى 750 mL من 0.0025 M NaOH؟

احسب تراكيز كل من Mg²⁺ و OH⁻، ثم احسب Q_{sp} وقارنه بـ K_{sp}.

$$[\text{Mg}^{2+}] = 0.20 \text{ M} \times \frac{250 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} = 0.050 \text{ M}$$

$$[\text{OH}^{-}] = 0.0025 \text{ M} \times \frac{750 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} = 0.0019 \text{ M}$$

$$Q_{sp} = [\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^{-}]^2 = (0.050 \text{ M})(0.0019 \text{ M})^2 = 1.8 \times 10^{-7}$$

$$K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$$

سيتكوّن راسب، لأن: $K_{sp} < Q_{sp}$

يحدّد امكانية تشكّل الراسب أم لا (عن طريق الحساب وتوظيف العلاقة بين K_{sp} و Q_{sp})

عند خلط 62.6 mL من المحلول المائي 0.0322 M CaCl₂ و 31.3 mL من المحلول المائي 0.0145 M NaOH أي مما يأتي صحيح؟

$$K_{sp} \text{ للمركب } \text{Ca}(\text{OH})_2 = 5.0 \times 10^{-6}$$

$$Q_{sp} = 4.55 \times 10^{-5} \text{ ويتكون راسب}$$

$$Q_{sp} = 5.01 \times 10^{-7} \text{ ولا يتكون راسب}$$

$$Q_{sp} = 7.50 \times 10^{-8} \text{ ولا يتكون راسب}$$

$$Q_{sp} = 1.03 \times 10^{-7} \text{ ويتكون راسب}$$

If an equal volumes of the solutions 0.0322 M CaCl₂ and 0.0145 M NaOH are mixed, a precipitate of Ca(OH)₂ is predicted. Which of the following is true?

Solubility Product Constants at 298 K for the compound Ca(OH)₂ (K_{sp} = 5.0 × 10⁻⁶)

1	Q _{sp} = 8.5 × 10 ⁻⁷ and a precipitate will not form	Q _{sp} = 8.5 × 10 ⁻⁷ ولا يتكون راسب
2	Q _{sp} = 2.6 × 10 ⁻⁵ and a precipitate will form	Q _{sp} = 2.6 × 10 ⁻⁵ ويتكون راسب
3	Q _{sp} = 4.9 × 10 ⁻¹⁰ and a precipitate will form	Q _{sp} = 4.9 × 10 ⁻¹⁰ ويتكون راسب
4	Q _{sp} = 2.5 × 10 ⁻⁴ and a precipitate will not form	Q _{sp} = 2.5 × 10 ⁻⁴ ولا يتكون راسب

إذا تم خلط حجوم متساوية من محلول CaCl₂ تركيزه 0.0322 M ومحلول NaOH تركيزه 0.0145 M يتوقع أن يتكون راسب من Ca(OH)₂. أي مما يأتي صحيح؟

ثابت حاصل الإذابة عند 298 K للمركب Ca(OH)₂ هو (K_{sp} = 5.0 × 10⁻⁶)

الحجم المتساوي للمادتين: الحجم الغير متساوي للمادتين:

يتم قسمة كل من التركيز للمادة على 2 يتم استخدام القانون التالي لتوحيد الحجم: تركيز المادة * حجمها

الحجم الكلي

يتم خلط 750 mL من 0.0025 M NaOH و 250 mL من 0.20 M MgCl₂ هل سيتكوّن راسب عند إضافة 250 mL من 0.20 M MgCl₂ إلى 750 mL من 0.0025 M NaOH؟

مثال 7: توفّر تراكيز راسب توفّر ما إذا كان سيتكوّن راسب PbCl₂ عند إضافة 100 mL من 0.0100 M NaCl إلى 100 mL من 0.0200 M Pb(NO₃)₂ علماً بأن K_{sp} للمركب يساوي 1.7 × 10⁻⁵.

هنتاوي

مثال 7

توقع تكوّن راسب توفّر ما إذا كان سيتكوّن راسب PbCl₂ عند إضافة 100 mL من 0.0100 M NaCl إلى 100 mL من 0.0200 M Pb(NO₃)₂ علماً بأن K_{sp} للمركب يساوي 1.7 × 10⁻⁵.

تحليل المسألة

تم إعطاؤك أحجاماً متساوية من محلولين بتركييزات معلومة. يمكنك حساب تراكيز أيونات Pb²⁺ و Cl⁻ في المحلول الناتج عن خلطها. من التراكيز الأولية للمحاليل.

المعلوم

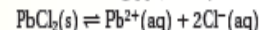
100 mL 0.0100 M NaCl

100 mL 0.0200 M Pb(NO₃)₂

K_{sp} = 1.7 × 10⁻⁵

المجهول
Q_{sp} > K_{sp}?

حساب المجهول



$$Q_{sp} = [\text{Pb}^{2+}][\text{Cl}^{-}]^2$$

يخفف مزج المحاليل تراكيزها إلى النصف.

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{0.0200 \text{ M}}{2} = 0.0100 \text{ M}$$

$$[\text{Cl}^{-}] = \frac{0.0100 \text{ M}}{2} = 0.00500 \text{ M}$$

$$Q_{sp} = (0.0100)(0.00500)^2 = 2.5 \times 10^{-7}$$

$$Q_{sp} (2.5 \times 10^{-7}) < K_{sp} (1.7 \times 10^{-5})$$

اكتب معادلة ذوبان PbCl₂.

اكتب تعبير الحاصل الأيوني، Q_{sp}.

اكتب [Pb²⁺] على 2.

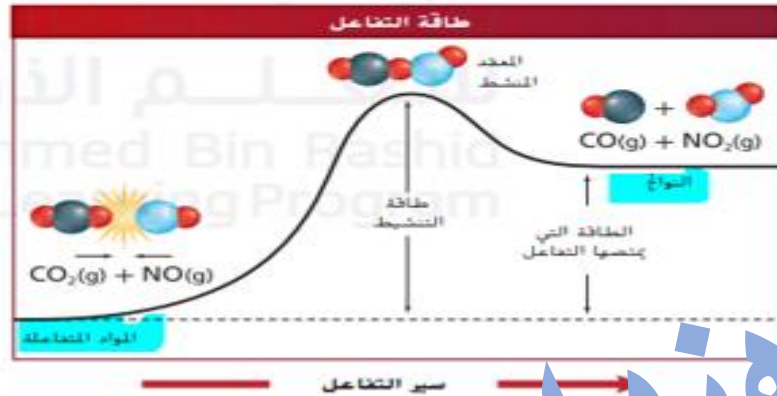
اكتب [Cl⁻] على 2.

عوض عن [Cl⁻] و [Pb²⁺] بـ 0.0100 M و 0.00500 M

قارن Q_{sp} بـ K_{sp}.

بالنسبة إلى كثير من التفاعلات، فإن العملية من المواد المتفاعلة إلى النواتج قابلة للانعكاس الشكل 6 يوضح التفاعل العكسي الماص للحرارة بين CO_2 و NO لإعادة تكوين CO و NO_2 . وفي هذا التفاعل، تكون المواد المتفاعلة عند مستوى طاقة منخفض، ويجب أن تتغلب على طاقة تنشيط كبيرة لإعادة تكوين CO و NO_2 . ويتطلب ذلك إدخال طاقة أكبر من التفاعل الأمامي، وإذا حدث هذا التفاعل العكسي، CO و NO_2 سيتكونان مرة أخرى عند مستوى أعلى من الطاقة.

الشكل 6 في التفاعل العكسي الماص للحرارة، تكون جزيئات المواد المتفاعلة عند مستوى من الطاقة أقل من ذلك الذي تكون عنده النواتج. ولكي تتفاعل المواد المتفاعلة، يجب أن تكتسب طاقة كافية للتغلب على حاجز طاقة التنشيط. ونشكل نواتج ذات طاقة أكبر.



التأكد من فهم الرسم البياني قارن بين الشكلين 5 و 6 لتحديد ما إذا كانت طاقة الأمامي أكبر أم أ التناقص للتنشيط للتفاعل.

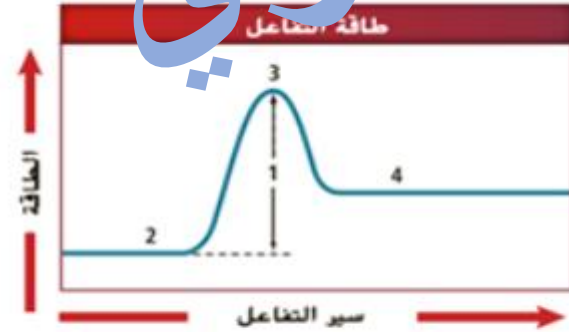
وزاري

أي مما يلي يمثلها الرقم (3) في الشكل أدناه؟

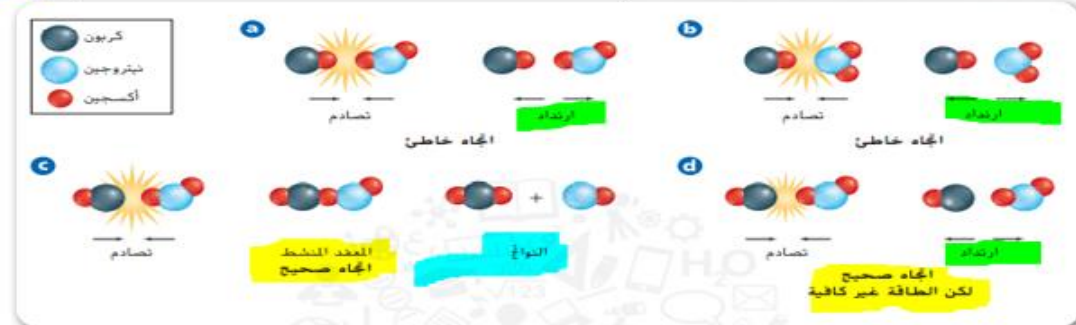


A. المواد المتفاعلة
B. المواد الناتجة
C. طاقة التنشيط
D. المعدن المنشط

أي مما يلي يمثلها رقم (1) في الشكل أدناه؟



A. المواد المتفاعلة
B. المواد الناتجة
C. طاقة التنشيط
D. المعدن المنشط



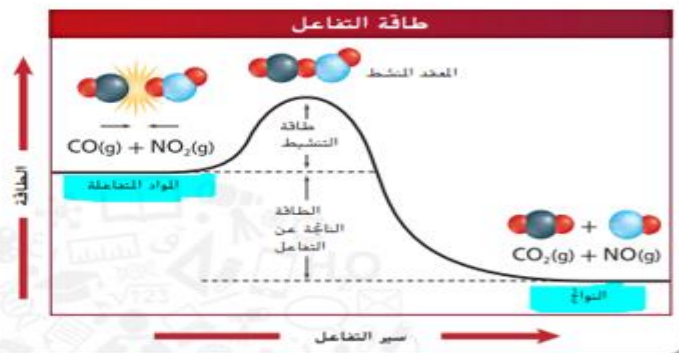
الشكل 4 هذا الشكل يوضح أربعة احتمالات مختلفة للتصادم بين جزيئات CO وجزيئات NO_2 . لا ينتج عن التصادمات في **a** و **b** تفاعل لأن الجزيئات ليست في وضع يسمح لها بتكوين الروابط المتعددة الصحيحة في **c** في الاتجاه الصحيح ويحدث التفاعل على الرغم من أن الجزيئات في **d** تقع أيضا في الاتجاه الصحيح. إلا أن ليس لديها طاقة كافية لحدوث التفاعل.

الجدول 1 ملخص نظرية التصادم

- يجب حدوث تصادم بين المواد المتفاعلة (الذرات أو الأيونات أو الجزيئات).
- يجب أن تصادم المواد المتفاعلة في الاتجاه الصحيح.
- يجب أن تصادم المواد المتفاعلة بطاقة كافية لتشكيل معقدًا منشطًا.

الشكل 5 عندما يحدث تفاعل طارد للحرارة، تصادم الجزيئات بطاقة كافية للتغلب على حاجز طاقة التنشيط. وتكون الجزيئات معقدًا نشطًا، ثم تطلق الطاقة وتكون النواتج عند مستوى أقل من الطاقة.

التأكد من فهم الرسم البياني فسر كيف يمكنك أن تعرف من الرسم البياني أن التفاعل المذكور تفاعل طارد للحرارة. التفاعل طارد للحرارة: طاقة المتفاعلات < طاقة النواتج



الشكل 5 يوضح مخطط الطاقة لسير التفاعل بين أول أكسيد الكربون و ثاني أكسيد النيتروجين. يفرز هذا المخطط طاقة تنشيط التفاعل. يمكن اعتبار طاقة التنشيط بمثابة الحاجز الذي يجب على المواد المتفاعلة أن تخرجه لتكوين النواتج. وفي هذه الحالة، فإن جزيئات CO و NO_2 تصادم بطاقة كافية للتغلب على هذا الحاجز وتكون النواتج عند مستوى أقل من الطاقة. تذكر أن التفاعلات التي تنفذ الطاقة تسمى بالتفاعلات الطاردة للحرارة.

كتابة قوانين سرعة التفاعل

في القسم 1، تعلمت كيفية حساب متوسط سرعة تفاعل كيميائي. الكلية متوسط مهمة لأن معظم التفاعلات الكيميائية تبطئ عند استهلاك المواد المتفاعلة ويتبقى جسيمات أقل عدداً لتتصادم. بحسب الكيميائيون النتائج الكمية لنظرية التصادم في معادلة تسمى قانون السرعة. قانون السرعة يعبر عن العلاقة بين سرعة تفاعل كيميائي وتركيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة محددة. على سبيل المثال التفاعل $A \rightarrow B$ عبارة عن تفاعل من خطوة واحدة. قانون السرعة لهذا التفاعل يعبر عنه كما يلي:

قانون السرعة لتفاعل من خطوة واحدة

$Rate = k [A]$ $[A]$ تمثل تركيز مادة التفاعل؛ k هو الثابت، $Rate$ تمثل السرعة. سرعة التفاعل من خطوة واحدة هي ناتج ضرب تركيز المادة المتفاعلة في الثابت.

الرمز k هو ثابت السرعة النوعية وهو قيمة عددية تقيم علاقة بين سرعة التفاعل وتراكيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة محددة. ثابت السرعة النوعية مميز لكل تفاعل وله وحدات قياس مختلفة، مثل: s^{-1} أو $L^2/(mol^2 \cdot s)$ أو $L/(mol \cdot s)$ يجب تحديد قانون السرعة تجريبياً كما هو



موضح في الشكل 15. يمكن استخدام تحديد سرعة التفاعل لتحديد سرعة التفاعل. يتم سحب عينات من خليط التفاعل على فترات منتظمة والتفاعل يحدث. يتم حقن العينات فوراً في كروماتوجرافيا الغاز والتي تفصل المكونات

وحدة قياس k رتبة التفاعل

رتبة التفاعل	وحدة قياس k
0	$mol/L \cdot s$ (or $mol L^{-1} s^{-1}$)
1	$1/s$ (or s^{-1})
2	$L/mol \cdot s$ (or $L mol^{-1} s^{-1}$)
3	$L^2 / mol^2 \cdot s$ (or $L^2 mol^{-2} s^{-1}$)

إذا علمت إن وحدة ثابت السرعة النوعية K هي $(M^{-1}s^{-1})$ ، يكون قانون السرعة: $R=K[A]$ ✓ $R=K[A][B]$ ✓ $R=K[A]^2[B]$ ✗ $R=K[A]^3$ ✗
أي القوانين التالية يخالف القوانين الثلاثة الأخرى: $R=K[A]^2$ ✗ $R=K[A][B]^2$ ✗ $R=K[A]^2[B]$ ✗ $R=K[A]^3$ ✗

يوضح قانون السرعة أن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع التركيز المولاري للمادة A . ثابت السرعة النوعية k لا يتغير مع التركيز ومع ذلك، فإن k يتغير مع درجة الحرارة. قيمة كبيرة من k تعني أن A يتفاعل بسرعة ليكون B .

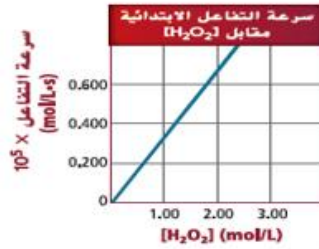
قوانين سرعة التفاعل من الرتبة الأولى في المعادلة $Rate = k [A]$ من المعروف أن الترميز $[A]$ هو نفسه $[A]$. بالنسبة للمادة المتفاعلة A ، الأس 1 يسمى رتبة التفاعل في $[A]$. رتبة التفاعل لمادة متفاعلة والتي يمكن تحديدها من خلال معرفة تأثير تغير تركيز المادة المتفاعلة على سرعة التفاعل. على سبيل المثال، قانون السرعة لتفكك H_2O_2 يتم التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$Rate = k[H_2O_2]$$

حيث أن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع تركيز H_2O_2 مرفوع للقوة واحد $([H_2O_2]^1)$. لهذا سيكون تفاعل تفكك H_2O_2 من الرتبة الأولى في H_2O_2 . ولأن التفاعل من الرتبة الأولى في H_2O_2 ، فإن سرعة التفاعل تتغير بنفس النسبة التي يتغير بها تركيز H_2O_2 . وبالتالي، إذا انخفض تركيز H_2O_2 إلى نصف قيمته الأصلية، فإن سرعة التفاعل تنخفض أيضاً بعامل النصف.

تذكر أن سرعة التفاعل تحدها البيانات التجريبية، ولأن رتبة التفاعل تعتمد على سرعة التفاعل، فإن رتبة التفاعل تحدد أيضاً بالتجربة. وأخيراً ولأن ثابت السرعة k يصف سرعة التفاعل، فإنه يجب تحديده أيضاً بالتجربة. الرسم البياني في الشكل 16 يوضح كيف أن سرعة التفاعل تتغير مع تركيز H_2O_2 .

مباشرة بين تركيز H_2O_2 وسرعة تفككه.



التأكد من فهم الرسم البياني تطبيق باستخدام الرسم البياني. حدد سرعة التفاعل الابتدائية عندما يكون $[H_2O_2]$ يساوي 1.50 mol/L .

قيمة k في قانون السرعة لتفاعل معين؟

- تختلف باختلاف درجة الحرارة ✓
- تختلف مع مرور الزمن
- تبقى ثابتة تحت كل الظروف
- تختلف باختلاف التركيز

قوانين سرعة التفاعل لرتب أخرى



القانون العام للسرعة

يمثل كل من $[A]$ و $[B]$ تركيزي المادتين المتفاعلتين A و B . الرموز الأسية m و n هي رتب التفاعل في المتفاعلات.

$$Rate = k[A]^m[B]^n$$

سرعة التفاعل تساوي حاصل ضرب k في تراكيز من المواد المتفاعلة التي يرفع كل منها إلى أس (رتبة) تحدد تجريبياً.

مهم : نوجد الرتب من خلال الحل التجريبية وليس من المعاملات

من الطرق التجريبية المعروفة لتحديد رتبة التفاعل طريقة تسمى السرعات

الابتدائية. تحدد طريقة السرعات الابتدائية رتبة التفاعل بمقارنة السرعات

الابتدائية للتفاعل بتركيز مختلفة للمادة المتفاعلة. السرعة الابتدائية تقيس سرعة

سير التفاعل في اللحظة التي تختلط فيها المواد المتفاعلة ذات التركيزات المعلومة

الجدول 2 السرعات الابتدائية التجريبية
النواتج $aA + bB \rightarrow$

تجربة	التركيز الابتدائي [A](M)	التركيز الابتدائي [B](M)	السرعة الابتدائية (mol/(L · s))
1	0.100	0.100	2.00×10^{-3}
2	0.200	0.100	4.00×10^{-3}
3	0.200	0.200	16.00×10^{-3}

لإيجاد رتبة التفاعل للمادة A نأخذ التجريبتين 1 و 2 لأن تركيز المادة B فيها ثابت، تطبق القانون

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{k_2}{k_1} \times \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^m \times \left[\frac{B_2}{B_1} \right]^n$$

$$\frac{4 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = \frac{k_2}{k_1} \times \left[\frac{0.200}{0.100} \right]^m \times \left[\frac{0.100}{0.100} \right]^n$$

$$2 = (2)^m$$

$$\Rightarrow m = 1$$

$$R = k[A]^1[B]^2$$

معادلة السرعة

$$\frac{R_3}{R_2} = \frac{k_3}{k_2} \times \left[\frac{A_3}{A_2} \right]^m \times \left[\frac{B_3}{B_2} \right]^n$$

$$\frac{16 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-3}} = \frac{k_3}{k_2} \times \left[\frac{0.200}{0.200} \right]^m \times \left[\frac{0.200}{0.100} \right]^n$$

$$4 = (2)^n$$

$$\Rightarrow n = 2$$

19. إذا علمت أن التفاعل $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$

من الرتبة الأولى بالنسبة للأكسجين، والرتبة الكلية للتفاعل

هي الرتبة الثالثة، فما القانون العام لسرعة التفاعل؟

$$R = k[O_2][NO]_2^2$$

20. في ضوء البيانات التجريبية الواردة في الجدول الآتي،

قانون سرعة التفاعل: نواتج $aA + bB \rightarrow$ (ملا).

أي رقم مرفوع إلى القوة صفر يساوي 1. على سبيل

$$((0.22)^0 = 1 \text{ و } (55.6)^0 = 1$$

بيانات تجريبية

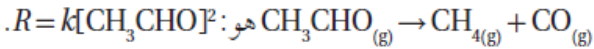
رقم المحاولة	التركيز الابتدائي [A](M)	التركيز الابتدائي [B](M)	السرعة الابتدائية mol/(L·s)
1	0.100	0.100	2.00×10^{-3}
2	0.200	0.100	2.00×10^{-3}
3	0.200	0.200	4.00×10^{-3}

بدراسة التجريبتين 1 و 2، سنجد أن مضاعفة تركيز [A] لا يؤثر في سرعة التفاعل، لذا فإن رتبة التفاعل تساوي صفرًا، وبدراسة التجريبتين 2 و 3، فإن مضاعفة تركيز [B] تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل؛ لذا فرتبة التفاعل أحادية بالنسبة للمادة

B

$$k[A]^0[B]^1 = k[B]$$

21. تحفيز إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل:



فاستعمل هذه المعلومات لتعبئة البيانات المفقودة في الجدول الآتي:

بيانات تجريبية

رقم المحاولة	التركيز الابتدائي [A](M)	السرعة الابتدائية (mol/(L·s))
1	2.00×10^{-3}	2.70×10^{-11}
2	4.00×10^{-3}	10.8×10^{-11}
3	8.00×10^{-3}	

بدراسة المحاولتين 1 و 2، تؤدي مضاعفة تركيز

[CH₃CHO] إلى زيادة سرعة التفاعل بمقدار العامل 4،

وبدراسة المحاولتين 2 و 3، نجد أن مضاعفة تركيز

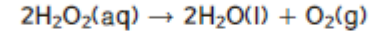
المادة [B] سيؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل أيضًا

بمقدار العامل 4. لذا فالسرعة في المحاولة 3 هي:

$$43.2 \times 10^{-11} \text{ mol/(L·s)}$$

سرعة التفاعل اللحظية

غالباً ما يحتاج الكيميائيون لمعرفة المزيد عن متوسط سرعة التفاعل. لكي يقوم الصيدلي بتطوير علاج جديد قد يحتاج لمعرفة تطور التفاعل في لحظة محددة. لاحظ تفكك بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) والممثل بالمعادلة التالية:

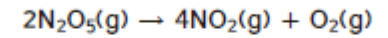


لهذا التفاعل. يظهر نقص في تركيز H_2O_2 مع مرور الزمن كما هو موضح في الشكل 17. يوضح الخط المنحني كيف تقل سرعة التفاعل أثناء سير التفاعل.

السرعة اللحظية هي سرعة التفاعل في زمن محدد. وهي ميل الخط المستقيم المماس للمنحنى في زمن محدد. التعبير $\Delta[H_2O_2]/\Delta t$ هي طريقة واحدة للتعبير عن سرعة التفاعل. بمعنى آخر. معدل التغيير في تركيز H_2O_2 يتصل بنقطة واحدة محددة (أو لحظة) على الرسم البياني.

يمكنك تحديد السرعة اللحظية للتفاعل بطريقة أخرى إذا كان معلوم لديك تراكيز المتفاعلات في درجة الحرارة معينة وقانون السرعة المحدد تجريبياً وثابت السرعة النوعية عند درجة الحرارة نفسها.

عند تحليل خامس أكسيد ثنائي النيتروجين (N_2O_5) إلى غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) والأكسجين (O_2). يمثل التفاعل كالتالي:



قانون السرعة المحدد تجريبياً لهذا التفاعل هو

$$\text{Rate} = k[N_2O_5]$$

عندما يكون $k = 1.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. إذا كان $[N_2O_5] = 0.350 \text{ M}$ فيمكن حساب سرعة التفاعل اللحظية كالتالي:

$$\text{Rate} = (1.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1})(0.350 \text{ mol/L}) = 3.5 \times 10^{-6} \text{ mol/(L}\cdot\text{s)}$$

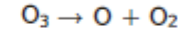
آليات التفاعل

تحدث معظم التفاعلات الكيميائية في تفاعلين أو أكثر من التفاعلات البسيطة. على سبيل المثال، تُفيد أدلة حديثة بأن التفاعل $2O_3 \rightarrow 3O_2$ يحدث في ثلاث خطوات. بسبب الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس. تتحرر ذرات الكلور من مركبات معينة في الغلاف الجوي. الخطوات 1 و 2 في هذا التفاعل قد تحدث في وقت واحد أو في ترتيب عكسي.

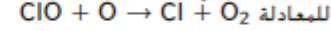
1. تفكك ذرات الكلور الأوزون وفقاً للمعادلة



2. تسبب الأشعة فوق البنفسجية حدوث تفاعل الانحلال



3. ClO الناتج في الخطوة 1 يتفاعل مع O الناتج في الخطوة 2 وفقاً للمعادلة

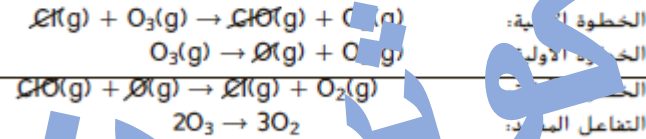


يسمى كل من التفاعلات الموضحة في الخطوات من 1 إلى 3 خطوة أولية. هذه الخطوات الأولية الموضحة في الشكل 18 تُكوّن التفاعل المعقد $2O_3 \rightarrow 3O_2$.

التفاعل المعقد هو الذي يتكون من خطوتين أو أكثر من الخطوات الأولية.

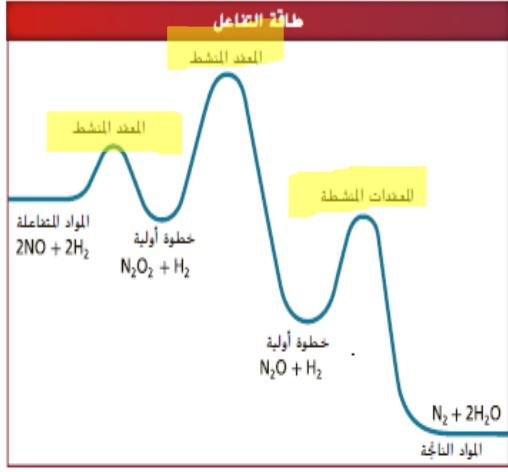
آليات التفاعل هي عبارة عن الترتيب الكامل للخطوات الأولية المكونة للتفاعل المعقد.

بإضافة الخطوات الأولية من 1 إلى 3 وإلغاء الصيغ التي توجد بنفس الكميات على جانبي التفاعل تنتج المعادلة الكاملة للتفاعل المعقد كما هو موضح.



نظراً لأن ذرات الكلور تتسبب في الخطوة 1 وتتشكل مرة أخرى في الخطوة 3 فإن الكلور هو المحفز لانحلال الأوزون. و ClO و O ثم في الخطوة 1 و 2. على التوالي ويتم استهلاكهما في التفاعل في الخطوة 3 يُطلق عليه **المادة الوسيطة** هي المادة الناتجة في خطوة أولية من تفاعل معقد ومستهلكة في خطوة أولية لاحقة. لا تظهر المادة الوسيطة في المعادلة الكيميائية النهائية.

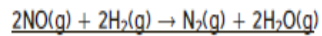
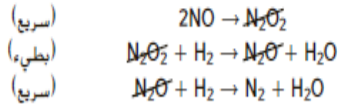
الخطوة المحددة للسرعة سرعة التفاعل المعقد الذي يتم في عدة خطوات تعتمد على الخطوة الأبطأ. فهي التي تحدد سرعته. تُسمى الخطوة الأولية الأبطأ في تفاعل معقد **الخطوة المحددة للسرعة**. التفاعل لا يكون أسرع من خطوته الأولية الأبطأ. تشبّه للخطوة المحددة للسرعة موضح في الشكل 19.



الشكل 20 القيم الثلاث في مخطط الطاقة هذا يعاينها طاقة التنشيط اللازمة لتكوين المعقدات المنشطة. القيمة الوسطى تمثل أعلى حاجز طاقة يجب التغلب عليه، وبالتالي، فإن التفاعل المشتمل على $N_2O_2 + H_2$ هو الخطوة المحددة للسرعة.

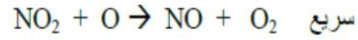
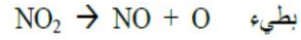
التأكد من فهم الرسم البياني
حدد من الرسم البياني ما إذا كان التفاعل الكلي طارداً للحرارة أم ماصاً للحرارة.

لمعرفة كيف يؤثر الخطوة المحددة للسرعة على سرعة التفاعل، ففكر ثانية في التفاعل الغازي من المثال 2. تتكون آلية هذا التفاعل من الخطوات الأولية التالية:



تحدث الخطوتان الأولى والثالثة بسرعة نسبياً وبالتالي فإن الخطوة البطيئة الوسطى هي الخطوة المحددة للسرعة. **الشكل 20** يعرض كيفية تغير الطاقة على خلال سير هذا التفاعل المعقد. كل خطوة في التفاعل لها طاقة التنشيط الخاصة بها وتمثلها القيمة في الرسم البياني. طاقة التنشيط للخطوة 2 أعلى مما هي عليه في الخطوتين 1 و 3 وهذا هو السبب الذي يجعل الخطوة 2 المحددة للسرعة.

ادرس اليه التفاعل الذي يحدث في الخطوتين التاليين:



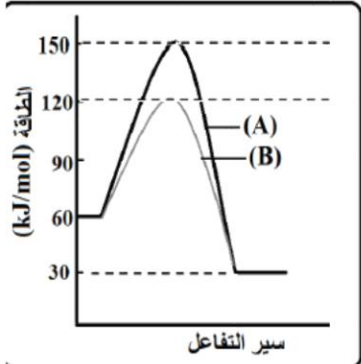
اكتب المعادلة النهائية للتفاعل

ما المادة الوسيطة؟

ما أثر زيادة تركيز NO_2 على سرعة التفاعل؟

تأمل الرسم المقابل الذي يمثل سير تفاعل معين ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

5



أي المسارين (A أم B) يحتاج لطاقة تنشيط أقل؟

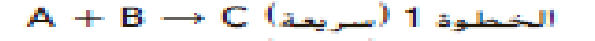
ما قيمة ΔH للمسار A؟

هل التفاعل ماص أم طارد للحرارة؟

ما قيمة طاقة التنشيط للمسار B؟

ضئ لامة X على المنحنى على موقع المعقد المنشط للمسار B

70. افترض أن تفاعلاً كيميائياً يحدث في خطوتين.

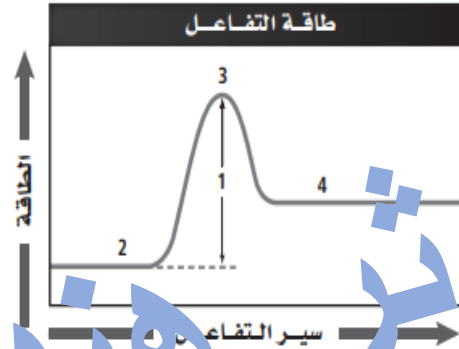


70. الخطوة 2، لا يمكن أن يحدث التفاعل بسرعة أكبر من أبطأ خطوة.

أي خطوة في آلية التفاعل هي الخطوة المحددة للسرعة؟ فسر.

71. في التفاعل المبين في السؤال 70 ماذا تسمى الخطوات 1 و 2 و 3؟ ماذا تسمى المادة C؟

71. الخطوات الأولية؛ الوسيط



9. يُبين الشكل أعلاه منحنى طاقة تفاعل. لإام يُشير كل رقم

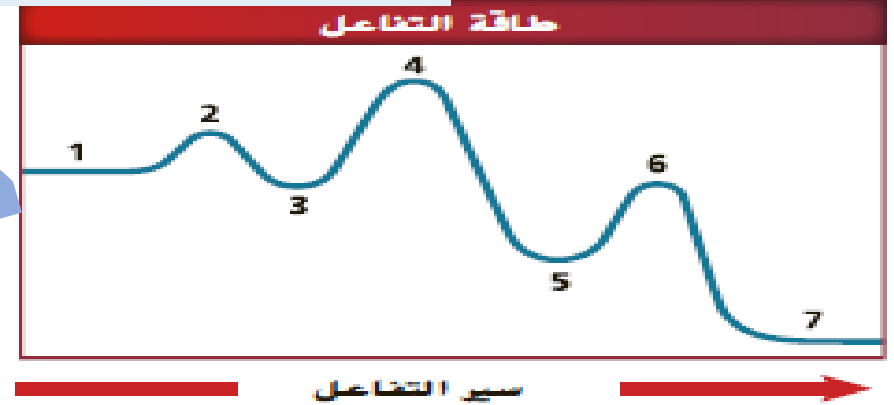
من الأرقام المبينة على الرسم؟

2، المواد المتفاعلة

3، المعقد المنشط

4، المواد الناتجة

1، طاقة التنشيط



الشكل 23

72. في الشكل 23، حدد كل المسميات 1، 2، 3، 4، 5، 6، و 7 بالاختيار من التالي: معقد نشط، المادة الوسيطة، المواد المتفاعلة أو النواتج.

72. 1، المواد المتفاعلة؛ 2، المعقد المنشط؛ 3،

الوسيط؛ 4، المعقد المنشط؛ 5، الوسيط؛ 6،

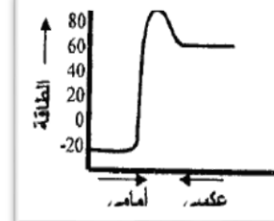
المعقد المنشط؛ 7، النواتج.

قيمة طاقة التنشيط (kJ/mol) للتفاعل العكسي

الممثل بالشكل المجاور تساوي:

ع 20 + كع 100 +

كع 20 - كع 80 -



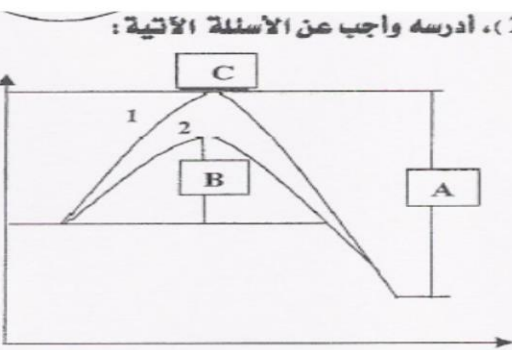
أ- الرسم البياني الآتي يمثل تفكك فوق أكسيد الهيدروجين في العاليتين (1) و (2)، أدرسه واجب عن الأسئلة الآتية:

1- أي الرموز يمثل طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي بوجود حفاز؟

2- ما الذي يمثله الرمز C؟

3- أي الرموز يمثل طاقة التنشيط للتفاعل العكسي بدون حفاز؟

4- في أي المسارين (1 أم 2) تكون سرعة التفاعل أكبر؟



سير التفاعل