

G12

CHEMISTRY

الثاني عشر
متقدم

الفصل
الدراسي الأول

2017-2018

الطاقة
والتغيرات
الكيميائية



MR. HESHAM ELTOUKHY

0543 55 1245

facebook Page

/Chemistry is Life

القسم (1) الطاقة

طبيعة الطاقة

- تستخدم الطاقة في طهي الطعام، تحريك المركبات، التدفئة والتبريد، الضوء، الأجهزة والصناعات.
- تنتج الخلايا في جسم الإنسان الطاقة من الطعام، تلزم الطاقة للقيام بالأنشطة البدنية والذهنية.
- الطاقة: القدرة على القيام بعمل أو إنتاج حرارة.

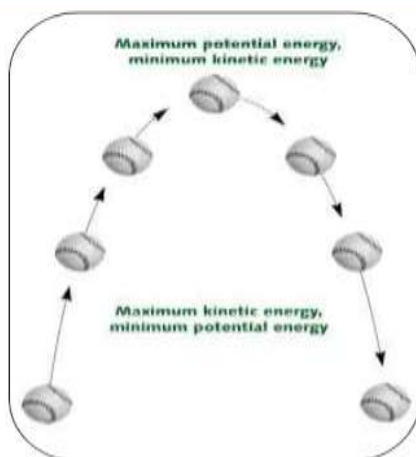
الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما.

طاقة وضع (كامنة)

تنقسم الطاقة إلى

طاقة حركية

الطاقة الناتجة عن حركة الأجسام.



- يكون لجسم مثل (الكرة) طاقة وضع تساوي صفر عند مستوى سطح الأرض، وأعلى طاقة حركية، وعندما يبدأ حركته لأعلى تزداد طاقة الوضع وتقل الطاقة الحركية، حتى يصل الجسم لأعلى نقطة، يكون للجسم عندها أعلى طاقة وضع وأقل طاقة حركية لأن الجسم يصل لنقطة سکون، ويحدث العكس عند سقوط الجسم، يكون مجموع طاقة الوضع والطاقة الحركية ثابتاً خلال حركة الجسم.

- تحتوي الأنظمة الكيميائية على طاقة حركية وطاقة وضع.
- تتناسب الطاقة الحركية مع درجة الحرارة، تزداد حركة الجسيمات بارتفاع درجة الحرارة (علاقة طردية).
- تعتمد طاقة الوضع للمادة على تكوينها من حيث:

طريقة ترتيب الذرات

عدد الروابط الكيميائية التي تربط الذرات معاً ونوعها

أنواع الذرات في المادة

قانون حفظ الطاقة أو القانون الأول للديناميكا الحرارية:

- في أي تفاعل كيميائي أو عملية فيزيائية يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر لكنها لا تستحدث ولا تفتنى.
- تتحول الطاقة من شكل إلى آخر لكنها تبقى محفوظة أي أن مجموع كمية الطاقة يبقى ثابتاً.
- يمكن تمثيل قانون حفظ الطاقة بأن لديك حسابين في أحد البنوك وقمت بتحويل بعض النقود من أحد الحسابين إلى الحساب الآخر، تكون كمية النقود في كلا الحسابين قد تغيرت، لكن مجموع نقودك في البنك لم يتغير.

- عندما يتدفق الماء في التوربينات تتحول الطاقة من حركية إلى كهربائية.

- عند احتراق غاز البروبان C_3H_8 يتحد غاز البروبان مع الأكسجين

مكوناً ثاني أكسيد الكربون والماء، تتحرر طاقة الوضع المختزنة

في روابط البروبان إلى طاقة حرارية.



طاقة الوضع الكيميائية

- هي الطاقة المخزنة في مادة نتيجة تركيبها.
- طاقة الوضع الكيميائية للبروبان تنتج عن ترتيب ذرات الكربون والهيدروجين وقوة الروابط التي تربط بينهم.

درجة الحرارة: مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات الموجودة في عينة من المادة.

الحرارة (q)

- هي طاقة تنتقل من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأقل سخونة.
- عندما يفقد الجسم الساخن طاقة تنخفض درجة حرارته، وعندما يمتص الجسم الأبرد طاقة ترتفع درجة حرارته.
- عندما يحترق الأوكتان C_8H_{18} (المكون الرئيس للجازولين) في محرك السيارة يتحول جزء من طاقة الوضع الكيميائية إلى شغل يحرك المكابح التي تحرك الإطارات فتتحرك السيارة، لكن جزءا كبيرا من طاقة الوضع الكيميائية المخزنة في الأوكتان تنطلق في صورة حرارة.

قياس الحرارة

- **السعر الحراري (cal):** كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء النقي درجة سيليزية واحدة $1^\circ C$
- عندما يحطم جسم الانسان جزيئات السكر والدهون مكونا ثاني أكسيد الكربون والماء، ينتج عن هذا التفاعل الطارد للطاقة حرارة يمكن قياسها بالسعرات الغذائية (Calories)
- **السعر الغذائي (Cal)** يساوي (1 kcal = 1000 cal)
- تقاس الطاقة الحرارية وفق النظام الدولي للوحدات بالجول (J)
- يظهر الجدول المقابل العلاقات الرياضية للتحويل بين وحدات الطاقة.

العلاقات الرياضية
1 J = 0.239 cal
1 cal = 4.184 J
1 Cal = 1 kcal = 1000cal

مثال محلول: يتكون إفطار من الحبوب وعصير البرتقال والحليب تحتوي على 230 Cal

عبر عن هذه الطاقة بوحدة الجول J؟

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

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

1) تحتوي قطعة الشوفان والفاكهة على 142 Cal . حول هذه الطاقة إلى سعرات؟

.....

.....

.....

(2) يطلق تفاعل طارد للحرارة 86.5 kJ من الحرارة. كم مقدار الطاقة الناتجة بوحدة kcal

(3) حدد وحدة جديدة للطاقة، وسمها باسمك، والتي تبلغ قيمتها عُشر سعر حراري (cal).

ما معاملات التحويل التي تربط هذه الوحدة الجديدة بالجول J؟ وبالسعر الغذائي Cal؟

الحرارة النوعية (c)

عند 298 K (25°C)

• هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من المادة درجة سيليزية واحدة 1°C

• علمت أنه يلزم 1 cal أو 4.184 J لرفع درجة حرارة 1 g من الماء النقي درجة

سيليزية واحدة 1°C تعرف هذه الكمية 4.184 J/g.°C بأنها الحرارة النوعية للماء.

• لكل مادة حرارة نوعية مميزة لها لأن لكل مادة تركيباً مختلفاً عن المواد الأخرى.

• المادة التي لها حرارة نوعية كبيرة تسخن ببطء وتبرد ببطء لأنها تحتاج إلى

طاقة أكبر لكي ترتفع درجة حرارة 1 g منها بمقدار 1°C

• المادة التي لها حرارة نوعية صغيرة تسخن بسرعة وتبرد بسرعة لأنها تحتاج إلى

طاقة أقل لكي ترتفع درجة حرارة 1 g منها بمقدار 1°C

• علل : تسخن الأرصفة الأسمنتية في الصيف أسرع من الماء؟

ج : لأن الحرارة النوعية للأسمنت (0.84) أقل من الحرارة النوعية للماء

(4.184) فيحتاج الأسمنت إلى مقدار أقل من الطاقة لرفع درجة حرارة

قطعة منه – لها كتلة مساوية لكتلة الماء – درجة سيليزية واحدة.

• علل : درجة حرارة الأسمنت تكون أعلى خمس مرات من درجة حرارة الماء

عندما تمتص كتلتان متساويتان من الماء والأسمنت نفس الكمية من الطاقة؟

ج : لأن النسبة بين الحرارة النوعية لكل من الماء والأسمنت هي:

$$\frac{\text{الحرارة النوعية للماء}}{\text{الحرارة النوعية للأسمنت}} = \frac{4.184}{0.84} = 4.98 \approx 5.00$$

facebook Page /Chemistry is Life

- علل: يستخدم الماء في عمليات التبريد أو صناعة مبردات السيارات أو يوضع الماء على الحروق؟
- ج: لأن الحرارة النوعية للماء مرتفعة يحتاج إلى طاقة حرارية كبيرة حتى ترتفع درجة حرارة 1 g منه 1°C

حساب الحرارة (الممتصة أو المنطلقة)

- تكون إشارة الطاقة الممتصة (+) وإشارة الطاقة المنطلقة (-)
- تستخدم معادلة حساب الحرارة التالية لحساب الطاقة الممتصة أو المنطلقة:

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

الوحدة	الكمية	
	الرمز	المعنى
J	q	الطاقة الحرارية الممتصة أو المنطلقة
J/g.°C	c	الحرارة النوعية للمادة
g	m	كتلة المادة
°C	ΔT	التغير في درجة الحرارة

يمكن حساب التغير في درجة الحرارة من العلاقة $\Delta T = T_f - T_i$ حيث T_f : درجة الحرارة النهائية، T_i : درجة الحرارة الابتدائية.

مثال محلول: عند بناء الجسور وناطحات السحب تترك فراغات بين الدعامات الفولاذية لكي تتمدد وتنكمش عندما ترتفع أو تنخفض درجات الحرارة، إذا تغيرت درجة حرارة عينة من الحديد كتلتها 10 g من 50.4°C إلى 25°C وانطلقت كمية من الحرارة مقدارها 114 J، ما الحرارة النوعية للحديد؟

$$\Delta T = T_f - T_i = 25 - 50.4 = -25.4^\circ\text{C}$$

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T} = \frac{-114}{10 \times (-25.4)} = 0.449 \text{ J/g.}^\circ\text{C}$$

1) إذا ارتفعت درجة حرارة 34.4 g من الإيثانول من 25°C إلى 78.8°C فما كمية الحرارة التي امتصها الإيثانول؟ (c = 2.44 J/g.°C)

.....

.....

.....

(2) سخنت عينة من مادة مجهولة كتلتها 155 g من 25°C إلى 40 °C فامتصت 5696 J من الطاقة. فما الحرارة النوعية للمادة؟ عين المادة بالرجوع إلى جدول الحرارة النوعية للمواد.

.....

.....

.....

(3) قطعة من الذهب النقي كتلتها 4.50 g امتصت 276 J من الحرارة وكانت درجة حرارتها الابتدائية 25°C ما درجة حرارتها النهائية؟ ($c_{\text{الذهب}} = 0.129 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

.....

.....

.....

استخدام الطاقة الشمسية

- يستغل الماء لأخذ الطاقة من الشمس لأن الحرارة النوعية للماء مرتفعة.
- يستخدم الماء في عمليات التدفئة لأن الحرارة النوعية للماء مرتفعة.
- علل: تأخير تطوير التقنيات الشمسية للاستخدامات الحياتية؟
ج: (1) الشمس تسطع فترة محددة كل يوم.
(2) تراكم الغيوم فوق بعض الأماكن تخفف من كمية أشعة الشمس الساقطة.
(3) تكلفة إنتاج الكهرباء من الشمس مرتفعة مقارنة بتكلفة حرق الفحم أو البترول.
- تمتص الخلايا الكهروضوئية أشعة الشمس وتحولها إلى طاقة كهربائية دون أن تسبب تلوثاً.
- الخلايا الفولتية الضوئية تزود رواد الفضاء بالطاقة، لكنها لا تستعمل لتوفير الطاقة اللازمة للاحتياجات العادية، لأن تكلفة إنتاج الكهرباء من الخلايا الفولتية الضوئية مرتفعة مقارنة بتكلفة حرق الفحم أو البترول.



تدريبات القسم (1)

(1) اكتب المصطلح العلمي المناسب:

- (1) (.....) القدرة على القيام بعمل أو إنتاج حرارة.
- (2) (.....) الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما.
- (3) (.....) الطاقة الناتجة عن حركة الأجسام.
- (4) (.....) في أي تفاعل كيميائي أو عملية فيزيائية يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر لكنها لا تستحدث ولا تفنى.
- (5) (.....) الطاقة المخزنة في مادة نتيجة تركيبها.
- (6) (.....) مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات الموجودة في عينة من المادة.
- (7) (.....) طاقة تنتقل من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأقل سخونة.
- (8) (.....) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء النقي درجة سيليزية واحدة 1°C
- (9) (.....) كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من المادة درجة سيليزية واحدة 1°C

(2) وضح كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعل الطارد للطاقة والتفاعل الماص للطاقة.

(3) صنف كلا مما يلي إلى طاقة حركية وطاقة الوضع : مغناطيسين منفصلين، انهيار ثلجي، كتب موضوعة على رفوف، نهر، سباق سيارات، فصل الشحنات في بطارية.

طاقة حركية	
طاقة وضع	

(4) وضح علاقة الضوء والحرارة في شمعة محترقة بطاقة الوضع الكيميائي.

(5) احسب كمية الحرارة الممتصة عند تسخين 50 g ألومنيوم من درجة حرارة 25°C إلى 95°C علماً بأن الحرارة النوعية للألومنيوم $0.897 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

الفلز	الحرارة النوعية (J/g.°C)
الألومنيوم	0.897
الذهب	0.129
الحديد	0.449
الفضة	0.235

(6) وضعت كتل متساوية من الألومنيوم والذهب والحديد والفضة تحت أشعة الشمس في الوقت نفسه ولفترة زمنية محددة، استعمل قيم الحرارة النوعية للفلزات الأربعة لترتيب هذه الفلزات وفق ارتفاع درجات حرارتها من الأعلى إلى الأقل.

الأكبر: ← ← الأقل

(7) كيف تتغير طاقة الوضع الكيميائية لنظام خلال تفاعل ماص للحرارة؟

.....
.....

(8) صف تطبيقات عملية تبين فيها كيف تتغير طاقة الوضع إلى طاقة حركية ؟

.....
.....

(9) كيف تتحول الطاقة في الجازولين؟ وما الطاقة الناتجة عن احتراقه في محرك السيارة؟

.....
.....

(10) قارن بين السعر الغذائي والسعر. ما العلاقة بين السعر الغذائي والكيلو سعر؟

.....
.....

(11) ما الكمية التي تقاس بوحدة J/g.°C ؟

.....

(12) صف ماذا يمكن أن يحدث في الشكل التالي عندما يكون الهواء فوق سطح البحيرة أبرد من الماء؟

.....
.....
.....



13) الحرارة النوعية للإيثانول هي $2.44 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ماذا يعني ذلك؟

14) اشرح كيف تحدد كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة شيء ما؟

15) يحتوي أحد أصناف الطعام على 124 kcal كم cal يوجد في هذا الصنف من الطعام؟

16) كم جول J من الطاقة يتم امتصاصه في عملية يمتص خلالها 0.5720 kcal من الطاقة؟

17) يستعمل الإيثانول بوصفه مادة مضافة إلى البنزين. ينتج عن احتراق 1 mol من الإيثانول 1367 kJ من الطاقة ما مقدار هذه الطاقة بـ Cal ؟

18) لتبخير 2.0 g من الأمونيا يلزم 656 Cal من الطاقة، كم kJ تلزم لتبخير الكتلة نفسها من الأمونيا؟

19) احتراق 1 mol من الإيثانول يطلق 326.7 kcal من الطاقة ما مقدار هذه الكمية بـ kJ ؟

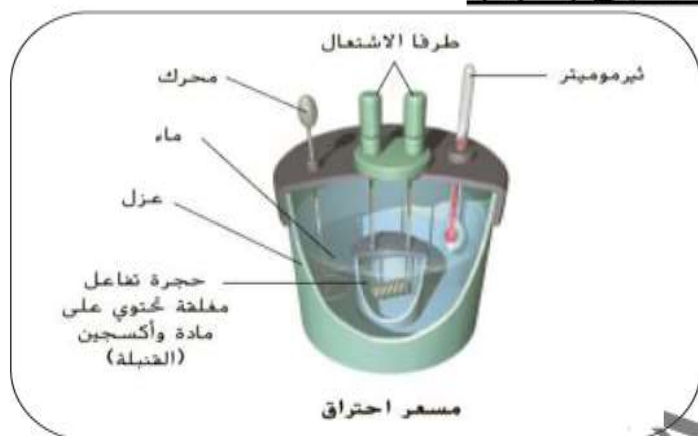
20) برغي كتلته 25 g مصنوع من سبيكة امتصت 250 J من الحرارة، فتغيرت درجة حرارتها من 25°C إلى 78°C ما الحرارة النوعية للسبيكة؟

القسم (2) الحرارة

- تشعر بالاسترخاء عند الوقوف تحت الدش الدافئ لأن جسمك يمتص حرارة من الماء.
- تشعر بالارتعاش عندما تقفز في مسبح بارد لأن جسمك يفقد حرارة.

قياس الحرارة

- المسعر** : جهاز معزول حرارياً يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في عملية كيميائية أو فيزيائية.
- توضع كمية معلومة من الماء في حجرة معزولة لكي تمتص الطاقة المنطلقة من التفاعل، أو لتزود الطاقة التي يمتصها التفاعل، ويتم قياس التغير في درجة حرارة كتلة الماء.
- يستخدم كيميائيو التغذية نوعاً من المسعرات يدعى **مسعر الاحتراق (القنبلة)**.



- توضع عينة في حجرة فولاذية داخلية تدعى القنبلة مملوءة بالأكسجين المضغوط ضغطاً عالياً. وحول القنبلة كمية معلومة من الماء تحرك **بمحرك قليل الاحتكاك** للمحافظة على درجة حرارة منتظمة. يبدأ التفاعل بשרارة ويتم تسجيل أقصى درجة حرارة يتم الوصول إليها.

تحديد الحرارة النوعية

- يمكن استخدام كأس مصنوعة من البلاستيك الرغوي مفتوح إلى الجو، فتكون التفاعلات التي تحدث فيها تحت ضغط ثابت، ويمكن استخدامها لتحديد الحرارة النوعية للفلز ما.

مثال محلول 1: افترض أنك وضعت 125 g من الماء في مسعر وكانت درجة حرارة الماء الابتدائية 25.6°C ثم سخنت عينة من فلز ما كتلتها 50 g حتى درجة حرارة 115°C ووضعت في الماء داخل المسعر، وصلت درجة الحرارة النهائية لكل من الماء والفلز 29.3°C بافتراض أنه لم تفقد حرارة إلى المحيط. احسب الحرارة النوعية للفلز؟ استخدم جدول الحرارة النوعية للمواد لتحديد نوع الفلز؟ ($c_{\text{الماء}} = 4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$)

$$q_{\text{الماء}} = c \times m \times \Delta T$$

$$= 4.184 \times 125 \times (29.3 - 25.6) = 1940 \text{ J}$$

$$q_{\text{المكتسبة}} = q_{\text{المفقودة}}$$

$$= -1940 \text{ J}$$

$$c_{\text{الفلز}} = \frac{-1940}{50 \times (29.3 - 115)} = 0.453 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

بمقارنة جدول قيم الحرارة النوعية يتبين أن الفلز هو الحديد.

مثال محلول2: تمتص قطعة فلز كتلتها 4.68 g ما مقداره 256 J من الحرارة عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار 182°C ما الحرارة النوعية للفلز؟

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T} = \frac{256}{4.68 \times 182} = 0.301 \text{ J/g.}^\circ\text{C}$$

(1) عينة من فلز كتلتها 90 g امتصت 25.6 J من الحرارة عندما ازدادت درجة حرارتها بمقدار 1.18°C ما الحرارة النوعية للفلز؟

.....

.....

.....

(2) ارتفعت درجة حرارة عينة من الماء من 20°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟ ($c_{\text{الماء}} = 4.184 \text{ J/g.}^\circ\text{C}$)

.....

.....

.....

(3) ما كمية الحرارة التي تكتسبها صخرة من الجرانيت كتلتها $2 \times 10^3 \text{ g}$ إذا ارتفعت درجة حرارتها من 10°C إلى 29°C إذا علمت أن الحرارة النوعية للجرانيت $0.803 \text{ J/g.}^\circ\text{C}$

.....

.....

.....

(4) إذا فقد 335 g من الماء عند درجة حرارة 65.5°C كمية حرارة مقدارها 9750 J فما درجة الحرارة النهائية للماء؟

.....

.....

.....

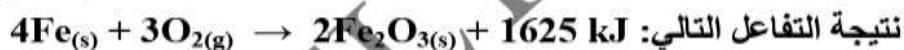
الطاقة الكيميائية والكون

- الكيمياء الحرارية: فرع للكيمياء يدرس تغيرات الحرارة التي ترافق التفاعلات الكيميائية وتغيرات الحالة الفيزيائية.
- النظام: جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية التي تريد دراستها.
- المحيط: كل شيء في الكون غير النظام.
- الكون: النظام + المحيط

- تنتقل الحرارة في التفاعل الطارِد للحرارة من النظام إلى المحيط، وتفقد الحرارة من النظام.
- تنتقل الحرارة في التفاعل المَص للحرارة من المحيط إلى النظام، وتضاف الحرارة إلى النظام.

- تنتج حرارة عند حرق الوقود (طارِد للحرارة)

- يستخدم الجنود في الميدان تفاعلاً طارِداً للحرارة لتسخين وجباتهم أو لتدفئة الأيدي في الأيام الباردة وتنتج هذه الطاقة من الكمادة الساخنة، فتنتقل الطاقة من التفاعل (النظام) إلى الوسط الذي حوله (المحيط)



- عند خلط هيدروكسيد الباريوم مع بلورات ثيوسينات الأمونيوم في كأس ينتج تفاعل مَص للحرارة، وعند وضع كأس التفاعل على لوح مبتل بالماء تنتقل الحرارة من الماء واللوح (المحيط) إلى داخل الكأس (النظام) فيحدث تغير كبير في درجة الحرارة يتسبب في تجمد الماء الذي بين اللوح والكأس، فيلتصق الكأس باللوح.

المحتوى الحراري وتغير المحتوى الحراري

- من المستحيل معرفة كمية الحرارة الكلية الموجودة في المادة لأن كمية الحرارة الكلية التي تحتويها المادة تعتمد على عوامل كثيرة بعضها غير مفهوم تماماً حتى الآن.
- يهتم الكيميائيون بدراسة تغيرات الطاقة في أثناء التفاعلات الكيميائية أكثر من اهتمامهم بكمية الطاقة الموجودة في المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة.

- يرمز إلى الطاقة المنطلقة أو المتولدة من التفاعلات التي تحدث عند ضغط ثابت بالرمز q_p ولتسهيل دراسة تغيرات الطاقة التي ترافق تلك التفاعلات أطلق عليها المحتوى الحراري.
- المحتوى الحراري (H): المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.
- لا يمكن قياس الطاقة الفعلية أو المحتوى الحراري للمادة.

- التغير في المحتوى الحراري (ΔH_{rxn}) أو حرارة التفاعل:
كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي.
- الضغط: القوة الواقعة على وحدة المساحة.
- يمكن قياس التغير في المحتوى الحراري من العلاقة الرياضية: $\Delta H_{rxn} = H_{final} - H_{initial}$
حيث H_{final} : المحتوى الحراري للمواد عند نهاية التفاعل (المواد الناتجة products)
 $H_{initial}$: المحتوى الحراري للمواد في بداية التفاعل (المواد المتفاعلة reactants)
- يمكن التعبير عن ΔH_{rxn} بالمعادلة: $\Delta H_{rxn} = H_{products} - H_{reactants}$
- يمكنك أن تفترض أن $q = \Delta H_{rxn}$ لأن جميع التفاعلات التي يتم دراستها هنا تتم تحت ضغط ثابت.
- أنواع التفاعلات الكيميائية الحرارية:

وجه المقارنة	التفاعلات الطاردة للحرارة	التفاعلات الماصة للحرارة
مقارنة الطاقة	$H_{الناتج} < H_{المتفاعل}$	$H_{الناتج} > H_{المتفاعل}$
إشارة ΔH	سالب	موجب
قيمة ΔH	مع النواتج	مع المتفاعلات
اتجاه الطاقة	من النظام إلى المحيط	من المحيط إلى النظام
مثال	$4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) + 1625 \text{ kJ}$ $4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) \quad \Delta H_{rxn} = -1625 \text{ kJ}$	$27\text{kJ} + NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq)$ $NH_4NO_3(s) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq) \quad \Delta H_{rxn} = 27 \text{ kJ}$
الرسم		

تدريبات القسم (2)

(1) اكتب المصطلح العلمي المناسب:

- (1) (.....) جهاز معزول حرارياً يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في عملية كيميائية أو فيزيائية.
- (2) (.....) المسعر الذي يستخدمه كيميائيو التغذية.
- (3) (.....) فرع للكيمياء يدرس تغيرات الحرارة التي ترافق التفاعلات الكيميائية وتغيرات الحالة الفيزيائية.
- (4) (.....) جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية التي تريد دراستها.
- (5) (.....) كل شيء في الكون غير النظام.
- (6) (.....) النظام مع المحيط.
- (7) (.....) تفاعل حراري تنتقل فيه الحرارة من النظام إلى المحيط.
- (8) (.....) تفاعل حراري تنتقل فيه الحرارة من المحيط إلى النظام.
- (9) (.....) المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.
- (10) (.....) كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي.
- (11) (.....) القوة الواقعة على وحدة المساحة.

(2) صف كيف تتغير كمية الحرارة المكتسبة أو المنطلقة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها؟

.....

.....

(3) اشرح لماذا تكون إشارة ΔH للتفاعل الطارد للحرارة سالبة؟

.....

.....

(4) اشرح لماذا يشكل الحجم المعلوم من الماء جزءاً مهماً من المسعر؟

.....

.....

(5) اشرح لماذا يجب أن تعرف الحرارة النوعية للمادة حتى تحسب الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة؟

.....

.....

(6) صف معنى النظام في الديناميكا الحرارية، واشلاح العلاقة بين النظام والمحيط والكون؟

(7) احسب الحرارة النوعية لمادة مجهولة، إذ تطلق عينة كتلتها 2.50 g منها 12.0 Cal عندما تتغير درجة حرارتها من 25°C إلى 20°C ؟

(8) صف خطوات العمل التي يمكنك أن تتبعها لإيجاد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 4.50 g ؟

قياس الحرارة النوعية

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

الإجراء

1. اقرأ تعليمات السلامة الخاصة بهذه التجربة قبل البدء في العمل.
2. ارسم جدول لتسجيل بياناتك.
3. ضع حوالي 150 mL من الماء المقطر في كأس سعة 250 mL. ضع الكأس على سخان كهربائي.
4. استخدم ميزان لتحديد كتلة قطعة الفلز.
5. باستخدام ملقط ضع قطعة الفلز بحذر في الكأس الموجود فوق السخان.
6. قس 90.0 mL من الماء المقطر باستخدام مخبر مدرج.
7. صب الماء في كوب القهوة الموجود داخل كأس آخر سعته 250 mL.
8. قس وسجل درجة حرارة الماء باستخدام ثيرموميتر غير زئبقي.

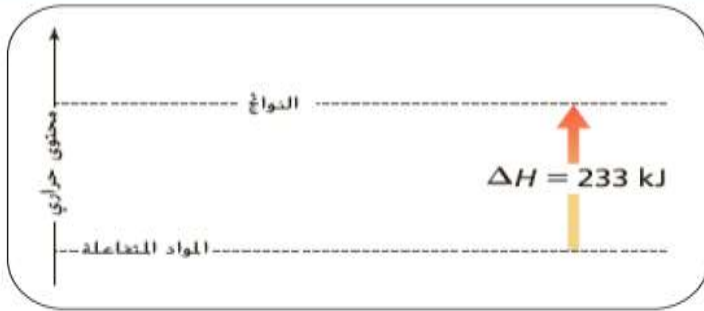
9. عندما يبدأ الماء الموضوع فوق السخان الكهربائي بالغليان، قس وسجل درجة الحرارة باعتبارها درجة الحرارة الابتدائية للفلز.
10. ضع بحرص شديد الفلز الساخن في الماء البارد الموجود بكوب القهوة باستخدام ملقط البوتقة. لا تلمس الفلز الساخن بيدك.
11. حرك، وقس درجة الحرارة النهائية للماء بعد وضع الفلز.

التحليل

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

(9) لماذا يستخدم كوب البلاستيك مسعرا بدلا من الكأس الزجاجية؟

(10) أعط مثالين على أنظمة كيميائية، وعرف مفهوم الكون في هذين المثالين؟



11) هل التفاعل المبين في الشكل ماص أم طارد للحرارة؟
كيف عرفت ذلك؟

.....
.....
.....

12) متى تكون كمية الحرارة (q) الناتجة أو الممتصة في تفاعل كيميائي مساوية للتغير في المحتوى الحراري ΔH ؟

.....

13) إذا كانت قيمة التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ΔH سالبة، فبم يوحى لك ذلك عن الطاقة الكامنة الكيميائية للنظام قبل التفاعل وبعده؟

.....

14) كم جولا من الحرارة تفقدها 3580 Kg من الجرانيت عندما تبرد درجة حرارتها من 41.2°C إلى 12.9°C - ؟
الحرارة النوعية للجرانيت $0.803 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

.....

15) ملئ حوض سباحة $20 \text{ m} \times 12.5 \text{ m}$ بالماء إلى عمق 3.75 m إذا كانت درجة حرارة ماء الحوض الابتدائية 18.4°C ما كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارته إلى 29°C ؟ ($c_{\text{الماء}} = 4.184 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$)

.....

16) ما كمية الحرارة التي تمتصها قطعة رصاص كتلتها 44.7 g إذا ازدادت درجة حرارتها بمقدار 65.4°C ؟
($c_{\text{الرصاص}} = 0.129 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$)

.....

17) وضع 10.2 g من زيت الكانولا في مقلاة ولزم 3.34 kJ لرفع درجة حرارته من 25°C إلى 196.4°C
ما الحرارة النوعية لزيت الكانولا؟

.....

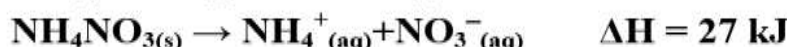
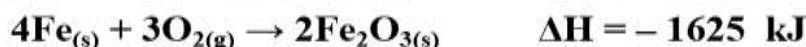
18) إذا وضعت سبيكة كتلتها 58.8 g في 125 g من الماء البارد في مسعر فنقصت درجة حرارة السبيكة بمقدار 106.1°C بينما ارتفعت درجة حرارة الماء بمقدار 10.5°C فما الحرارة النوعية للسبيكة؟

.....

القسم (3) المعادلات الكيميائية الحرارية

المعادلة الكيميائية الحرارية

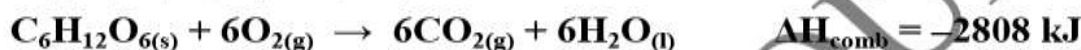
هي معادلة كيميائية موزونة تشتمل على الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة والنواتج، والتغير في الطاقة.



حرارة الاحتراق: (ΔH_{comb})

المحتوى الحراري الناتج عن حرق 1 mol من المادة احتراقاً كاملاً.

ينتج عن تفاعل احتراق الجلوكوز الطارد للحرارة أثناء عملية الأيض في الجسم كمية كبيرة من الطاقة:



يستعمل الرمز ΔH° ليدل على تغير المحتوى الحراري القياسي (الظروف القياسية: ضغط جوي 1 atm

ودرجة حرارة 25°C) وليست الحرارة والضغط القياسيين STP

يبين الجدول التالي حرارة الاحتراق القياسية لبعض المواد. (غير مطلوب حفظه)

حرارة الاحتراق القياسية		
$\Delta H_{\text{comb}}^\circ$ (kJ/mol)	الصيغة	المادة
-5644	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(s)}$	السكرور (سكر البائدة)
-5471	$\text{C}_8\text{H}_{18(l)}$	الأوكتان (أحد مكونات الجازولين)
-2808	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(s)$	الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفاكهة)
-2219	$\text{C}_3\text{H}_8(g)$	البروبان (وقود غازي)
-891	$\text{CH}_4(g)$	الميثان (وقود غازي)

تغيرات الحالة

عندما تخرج من حمام ساخن تشعر بالارتعاش أثناء تبخر الماء عن جلدك لأن جلدك يزود الماء بالحرارة

التي يحتاج إليها لكي يتبخر، وكلما امتص الماء الحرارة من جلدك وتبخر ازدادت برودة جسمك.

الحرارة المولية للتبخير: (ΔH_{vap})

الحرارة اللازمة لتبخير 1 mol من مادة سائلة.

الحرارة المولية للانصهار: (ΔH_{fus})

الحرارة اللازمة لصهر 1 mol من مادة صلبة.

تبخر السائل وصهر المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة لأن كل عملية تحتاج إلى طاقة لكي تحدث

وقيمة ΔH لكل من العمليتان موجبة. (يحدث للتبخير وللانصهار بالتسخين)

عند وضع مكعب ثلج في كأس ماء يصبح الماء بارد لأنه يزود مكعب الثلج بالحرارة لكي ينصهر فيفقد الماء حرارة

- الحرارة المولية للتكثف: (ΔH_{cond})
الحرارة اللازمة لتكثف 1 mol من غاز.
- الحرارة المولية للتجمد: (ΔH_{solid})
الحرارة اللازمة لتجمد 1 mol من مادة سائلة.
- تكثف الغاز وتجمد السائل عمليتان طاردتان للحرارة لأن كل عملية منها تنتج طاقة عندما تحدث وقيمة ΔH لكل من العمليتان سالبة. (يحدث للتكثف والتجمد بالتبريد)
- يبين المخطط التالي تحولات الحالة للمادة ونوع العملية حرارياً:



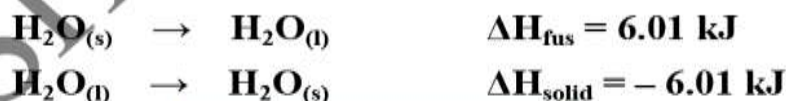
- المعادلات الكيميائية الحرارية لتبخير الماء وتكثف بخار الماء:



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

- الحرارة المولية للتبخير والحرارة المولية للتكثف متساويتان رقمياً ومختلفتان في الإشارة.

- المعادلات الكيميائية الحرارية لانصهار الجليد وتجمد الماء السائل:



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

- الحرارة المولية للانصهار والحرارة المولية للتجمد متساويتان رقمياً ومختلفتان في الإشارة.

- يستغل بعض المزارعين في البلاد الباردة حرارة انصهار الماء لحماية الفاكهة والخضروات من التجمد.
- علل: يقوم المزارعين بغمر البساتين والحقول بالماء في الليالي المتوقع فيها انخفاض درجة الحرارة إلى درجة التجمد؟

جـ: لأن عملية تجمد الماء تطلق طاقة ΔH_{fus} تدفئ الهواء المحيط لدرجة كافية لمنع الخضروات والفاكهة من التلف.

مختبر حل المسائل

ارسم رسوماً بيانية واستخدمها

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

التحليل

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

التفكير الناقد

1. **حلل** كل منطقة من المناطق الخمس على الرسم البياني، والتي تتميز بتغير مفاجئ في الميل. وضح كيف يُغير امتصاص الحرارة طاقة (الحركة والوضع) لجسيمات الماء.
2. **احسب** كمية الحرارة اللازمة للمرور عبر كل منطقة من مناطق الرسم البياني، $180\text{ g H}_2\text{O} = 10\text{ mol H}_2\text{O}$, $\Delta H_{\text{fus}} = 6.01\text{ kJ/mol}$, $\Delta H_{\text{vap}} = 40.7\text{ kJ/mol}$, $c_{\text{H}_2\text{O(s)}} = 2.03\text{ J/(g}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $c_{\text{H}_2\text{O(l)}} = 4.184\text{ J/(g}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $c_{\text{H}_2\text{O(g)}} = 2.01\text{ J/(g}\cdot^{\circ}\text{C)}$. كيف يرتبط الزمن اللازم للمرور عبر كل منطقة بكمية الحرارة التي تم امتصاصها؟
3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى تسخين الإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند درجة حرارة -114°C ويغلي عند 78°C . ارسم منحنى تسخين الإيثانول من درجة حرارة -120°C إلى 90°C . ما العوامل التي تحدد أطوال المناطق المسطحة وميل المنحنى بين المناطق المسطحة؟

بيانات الزمن ودرجة الحرارة للماء			
الزمن (min)	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$)	الزمن (min)	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$)
0.0	-20	13.0	100
1.0	0	14.0	100
2.0	0	15.0	100
3.0	9	16.0	100
4.0	26	17.0	100
5.0	42	18.0	100
6.0	58	19.0	100
7.0	71	20.0	100
8.0	83	21.0	100
9.0	92	22.0	100
10.0	98	23.0	100
11.0	100	24.0	100
12.0	100	25.0	100

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. من -120°C إلى -114°C يرتفع

المنحنى بصورة منتظمة. عند -114°C ، يصبح المنحنى أفقياً لبعض الوقت ثم يرتفع مرة أخرى حتى يصل إلى 78°C حيث يصبح أفقياً مرة أخرى. وبمرور الزمن، يرتفع المنحنى إلى 90°C . تعتمد أطوال المناطق المستوية على كمية الإيثانول التي يتم تسخينها وكمية الحرارة التي يتم إضافتها مع مرور الزمن. تحدد هذه العوامل بالإضافة إلى الحرارة النوعية للمادة ميل المنحنى التصاعدي بين المناطق المستوية

التفكير الناقد

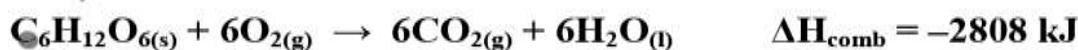
1. من -20°C إلى 0°C تزداد الحركة الجزيئية. عند مستوى 0°C تزداد الطاقة الكامنة. من 0°C إلى 100°C تزداد الحركة الجزيئية. عند مستوى 100°C تزداد الطاقة الكامنة. من 100°C إلى 120°C تزداد الحركة الجزيئية.

2. من -20°C إلى 0°C $q = 7 \text{ kJ}$
انصهار الثلج. $q = 60 \text{ kJ}$
من 0°C إلى 100°C $q = 80 \text{ kJ}$
تبخير الماء. $q = 400 \text{ kJ}$
من 100°C إلى 120°C $q = 7 \text{ kJ}$

• يبين الجدول التالي الحرارة المولية القياسية للتبخير وللانصهار:

الحرارة المولية القياسية للتبخير والانصهار			
المادة	الصيغة	$\Delta H^{\circ}_{\text{vap}}$ (kJ/mol)	$\Delta H^{\circ}_{\text{fus}}$ (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 الأسيتيك	CH_3COOH	23.4	11.7
الأمونيا	NH_3	23.3	5.66

مثال محلول: يستعمل المسعر في قياس الحرارة الناتجة عن تفاعلات الاحتراق، إذ يتم التفاعل في حجم ثابت يحوي أكسجيناً مضغوطاً عالياً ضغطاً عالياً. ما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 54.0 g جلوكوز $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ حسب المعادلة الآتية: ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 180.18 \text{ g/mol}$)



$$54.0 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{180.18 \text{ g}} = 0.3 \text{ mol}$$

$$0.3 \text{ mol} \times \frac{2808 \text{ kJ}}{1 \text{ mol}} = 842 \text{ kJ}$$

(1) احسب الحرارة اللازمة لصهر 27.5 g من الميثانول CH_3OH الصلب عند درجة انصهاره
 $(\Delta H_{\text{fus}} = 3.22 \text{ kJ/mol}) \quad (\text{CH}_3\text{OH} = 32 \text{ g/mol})$

.....

.....

.....

(2) ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثف 275 g من غاز الأمونيا NH_3 إلى سائل عند درجة غليانه؟
 $(\Delta H_{\text{cond}} = - 23.3 \text{ kJ/mol}) \quad (\text{NH}_3 = 17 \text{ g/mol})$

.....

.....

.....

(3) ما كتلة الميثان CH_4 التي يجب احتراقها لإطلاق 12.88 kJ من الحرارة؟
 $(\Delta H_{\text{comb}} = - 891 \text{ kJ/mol}) \quad (\text{CH}_4 = 16 \text{ g/mol})$

.....

.....

.....

الربط مع علم الأحياء

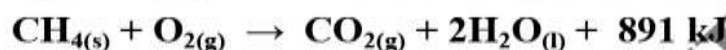
- عند احتراق 1 mol من الجلوكوز في مسعر تنطلق 2808 kJ من الحرارة، وتنطلق الكمية نفسها من الحرارة في عملية أيض كتلة متساوية من الجلوكوز خلال عملية التنفس الخلوي.
- تحدث هذه العملية في كل خلية داخل جسمك في سلسلة من الخطوات المعقدة، حيث يتكسر الجلوكوز وينطلق ثاني أكسيد الكربون والماء اللذان ينتجان أيضاً عن حرق الجلوكوز في المسعر، وتخزن الحرارة الناتجة في صورة طاقة وضع كيميائية في روابط جزيئات ثلاثي فوسفات الأدينوسين ATP عندما يحتاج الجسم إلى الطاقة تقوم جزيئات ATP بإطلاق كمية الطاقة المطلوبة.

تفاعل الاحتراق

- هو تفاعل مادة مع الأكسجين مطلقاً طاقة على شكل حرارة وضوء.
- تفاعل الوقود مع الأكسجين، واحتراق الطعام (الجلوكوز) في الأنظمة الحيوية أمثلة على تفاعلات الاحتراق.
- بعض الأطعمة تحتوي على الجلوكوز، وبعضها يحتوي على الكربوهيدرات التي تتحول إلى جلوكوز داخل جسمك.



- يحرق غاز الميثان بوصفه وسيلة لطهو الطعام أو تدفئة المنازل.
- ينتج عن حرق 1 mol من الميثان 891 kJ من الطاقة الحرارية كما تبين المعادلة:



- تعمل معظم المركبات – السيارات والطائرات والسفن – باحتراق الجازولين والذي يتكون غالباً من الأوكتان C_8H_{18} وينتج عن احتراق 1 mol من الأوكتان 5471 kJ من الحرارة كما في المعادلة:



- يتفاعل الهيدروجين والأكسجين معاً لتوفير الطاقة اللازمة لرفع مكوك الفضاء إلى ارتفاعات شاهقة في الفضاء.



تدريبات القسم (3)

(1) اكتب المصطلح العلمي المناسب:

- (1) (.....) معادلة كيميائية موزونة تشتمل على الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة والنواتج، والتغير في الطاقة.
- (2) (.....) المحتوى الحراري الناتج عن حرق 1 mol من المادة احتراقاً كاملاً.
- (3) (.....) الحرارة اللازمة لتبخّر 1 mol من مادة سائلة.
- (4) (.....) الحرارة اللازمة لصهر 1 mol من مادة صلبة.
- (5) (.....) الحرارة اللازمة لتكثف 1 mol من غاز.
- (6) (.....) الحرارة اللازمة لتجمد 1 mol من مادة سائلة.
- (7) (.....) تفاعل مادة مع الأكسجين مطلقاً طاقة على شكل حرارة وضوء.

(2) اكتب معادلة كيميائية حرارية كاملة لاحتراق الإيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ إذا علمت أن $\Delta H_{\text{comb}} = -1367 \text{ kJ/mol}$

(3) حدد أي العمليات الآتية طاردة للحرارة وأيها ماصة لها؟

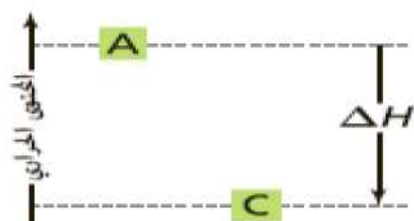
1	$C_2H_5OH_{(l)} \rightarrow C_2H_5OH_{(g)}$	
2	$Br_{2(l)} \rightarrow Br_{2(s)}$	
3	$C_5H_{12(s)} + 8O_{2(g)} \rightarrow 5CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$	

(4) اشرح كيف يمكنك حساب الحرارة المنطلقة عن تجمد 0.25 mol ماء. ($\Delta H_{solid} = -6.01 \text{ kJ/mol}$)

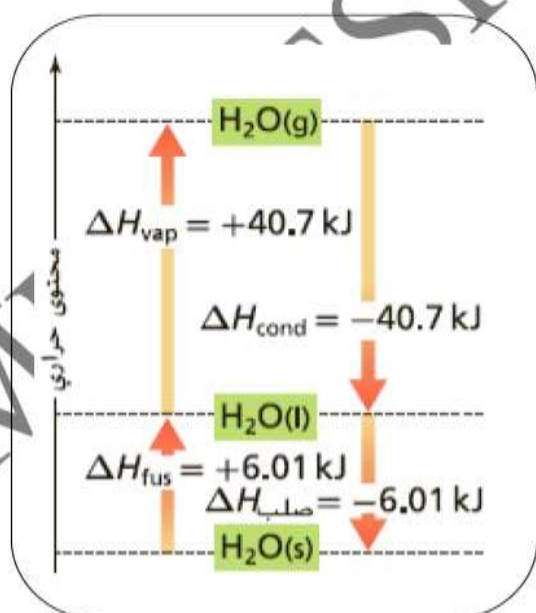
(5) احسب كمية الحرارة المنطلقة عن احتراق 206 g من غاز الهيدروجين H_2 ؟

$$(\Delta H_{comb} = -286 \text{ kJ/mol}) \quad (H_2 = 2 \text{ g/mol})$$

(6) إذا كانت الحرارة المولية للتبخير للأمونيا 23.3 kJ/mol فما مقدار الحرارة المولية للتكثف للأمونيا؟



(7) يبين الرسم المجاور المحتوى الحراري للتفاعل $A \rightarrow C$. هل التفاعل طارد أم ماص للحرارة؟ فسر إجابتك.



(8) استخدم المعلومات الواردة في الشكل المجاور لحساب كمية الحرارة اللازمة لكل مما يلي:

(1) تبخر 4.33 mol من الماء عند 100°C

(2) تجمد 2.5 mol من الماء عند 0°C

9) ما كتلة البروبان C_3H_8 التي يجب حرقها في مشواة لكي تطلق 4560 kJ من الحرارة؟

$$(\Delta H_{\text{comb}} = -2219 \text{ kJ/mol}) \quad (C_3H_8 = 44 \text{ g/mol})$$

10) ما كمية الحرارة التي تنطلق عند احتراق 5.0 Kg من الفحم إذا كانت نسبة كتلة الكربون فيه 96.2%

$$(\Delta H_{\text{comb}} = -394 \text{ kJ/mol}) \quad (C = 12 \text{ g/mol})$$

11) ما كمية الحرارة المنطلقة من تكثف 1255 g بخار ماء إلى ماء سائل عند درجة حرارة 100°C ؟

$$(\Delta H_{\text{cond}} = -40.7 \text{ kJ/mol}) \quad (H_2O = 18 \text{ g/mol})$$

12) إذا أطلقت عينة من الأمونيا 5.66 kJ من الحرارة عندما تصلبت عند درجة انصهارها. فما كتلة العينة؟

$$(\Delta H_{\text{fus}} = -5.66 \text{ kJ/mol}) \quad (NH_3 = 17 \text{ g/mol})$$

القسم (4) حساب التغير في المحتوى الحراري

قانون هس

- أحيانا يكون من المستحيل أو من غير العملي أن تقيس المحتوى الحراري لبعض ΔH لتفاعل باستعمال المسعر.
- عملية تغير الكربون من الألماس إلى الجرافيت تحدث ببطء شديد، مما يجعل من المستحيل أن نقيس التغير في محتواه الحراري. $C(s, \text{جرافيت}) \rightarrow C(s, \text{ماس})$
- التأصل: ظاهرة وجود العنصر في أكثر من صورة لها تراكيب بنائية وخواص مختلفة حين تكون في الحالة نفسها.
- الحالات التي يصعب فيها قياس التغير في المحتوى الحراري باستخدام المسعر:

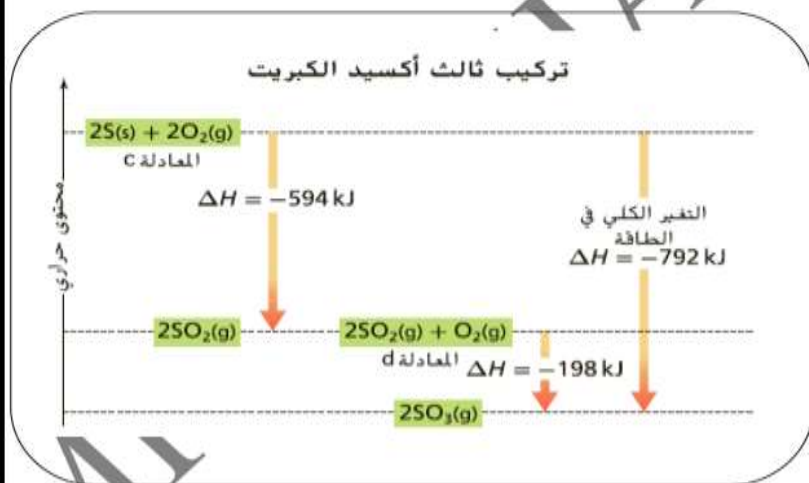
تكون نواتج في التفاعل غير المطلوبة منها

حدوث التفاعل ببطء شديد

حدوث التفاعل في ظروف يصعب إيجادها في المختبر

- قانون هس: مجموع التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الفردية يساوي التغير في المحتوى الحراري للتفاعل النهائي.

- لدراسة تكوين ثالث أكسيد الكبريت في الجو يجب تحديد ΔH للتفاعل: $2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$
- لكن التجارب المختبرية لهذا التفاعل ينتج عنها مخلوط من النواتج مثل SO_2 , SO_3
- لكن يمكن استخدام قانون هس إذا كان بالإمكان جمع أكثر من معادلة حرارية لإنتاج معادلة نهائية للتفاعل.



- يمثل المخطط المقابل خطوات تحضير ثالث أكسيد الكبريت.
- يتم التفاعل على خطوتين.
- الخطوة الأولى (المعادلة c) يتفاعل S مع O_2 لإنتاج SO_2 ويقل المحتوى الحراري بمقدار 594 kJ في تفاعل طارد للحرارة.
- الخطوة الثانية (المعادلة d) يتفاعل SO_2 مع O_2 لإنتاج SO_3 ويقل المحتوى الحراري بمقدار 198 kJ في تفاعل طارد للحرارة.
- يكون التغير الكلي في المحتوى الحراري هو مجموع المحتوى الحراري للخطوتين $(-594 + -198 = -792 \text{ kJ})$
- س: أوجد التغير في المحتوى الحراري لتحلل SO_3 إلى S و O_2 ؟

ج:

مثال محلولة 1: احسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل: $2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)}$ $\Delta H = ?$

إذا كان التفاعل يحدث في الخطوتين التاليتين: $S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$ $\Delta H = -297 \text{ kJ}$

$2SO_{3(s)} \rightarrow 2SO_{2(g)} + O_{2(g)}$ $\Delta H = 198 \text{ kJ}$

(1) يتم ضرب معاملات المعادلة الأولى في 2 للحصول على 2 mol S كما في معادلة التفاعل المطلوب مع الحفاظ على وزن المعادلة بضرب ΔH في 2

(2) يتم عكس المعادلة الثانية لأن SO_3 في معادلة التفاعل المطلوب ناتج وليس متفاعل مع عكس إشارة ΔH لأن نوع التفاعل حرارياً قد تغير من ماص إلى طارد.

(3) نقوم بالاختصار بين المتفاعلات والنواتج، بحيث نجمع المواد الموجودة في نفس الطرف ونطرح المواد الموجودة بين طرفين مختلفين.

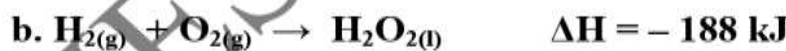
(4) نجمع قيم ΔH لخطوات التفاعل جمعاً جبرياً مع مراعاة الضرب وعكس إشارة ΔH



مثال محلولة 2: استعمل المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b لإيجاد ΔH لتحلل بيروكسيد

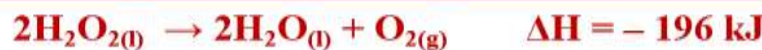
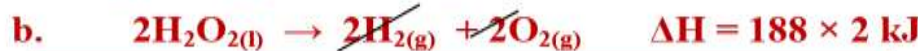
الهيدروجين H_2O_2 وهو مركب له عدة إستعمالات منها إزالة لون الشعر وتزويد محركات

الصواريخ بالطاقة $2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$ $\Delta H = ??$

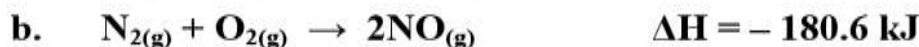
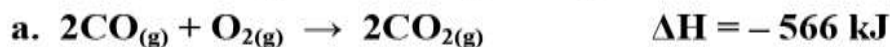


(1) يتم عكس المعادلة الثانية لأن H_2O_2 في معادلة التفاعل المطلوب متفاعل وليس ناتج مع عكس إشارة ΔH لأن نوع التفاعل حرارياً قد تغير من طارد إلى ماص.

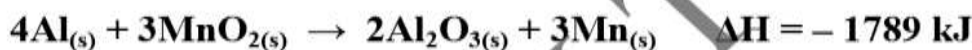
(2) يتم ضرب معاملات المعادلة الثانية في 2 للحصول على 2 mol H_2O_2 كما في معادلة التفاعل المطلوب مع الحفاظ على وزن المعادلة بضرب ΔH في 2



(1) استعمل المعادلتين a و b لإيجاد ΔH للتفاعل التالي:



(2) إذا كانت قيمة ΔH للتفاعل الآتي -1789 kJ ، فاستعمل ذلك مع المعادلة a لإيجاد ΔH للتفاعل b



حرارة التكوين القياسية (ΔH_f°)

• هي التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصرها في حالاتها القياسية.

• الظروف القياسية هي ضغط جوي 1 atm ودرجة حرارة 25°C (298 K)

• الحالة القياسية للحديد (الفلزات) صلب، ماعدا الزئبق سائل، الأكسجين غاز ثنائي الذرة.

• يعد تفاعل تكوّن ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مثالا على تفاعل حرارة تكوين قياسية:



يختلط SO_3 بالرطوبة في الجو لإنتاج حمض الكبريتيك (مطر حمضي) الذي يدمر الأشجار.

• علل: يسجل العلماء ويستعملون التغيرات في المحتوى الحراري فقط لنوع واحد فقط من التفاعل (تفاعل التكوين)؟

ج: لأن عملية حساب وتسجيل قيم ΔH لكافة التفاعلات الكيميائية المعروفة مهمة صعبة وضخمة.

ما مصدر حرارة التكوين القياسية؟

• علل: العناصر في حالاتها القياسية يكون لها $\Delta H_f^\circ = 0.0 \text{ kJ/mol}$
 جـ: لأن حرارة التكوين القياسية تكون لتفاعلات تكوين المركبات في الظروف القياسية من عناصرها في حالاتها القياسية.

• تم قياس حرارة تكون كثير من المركبات في المختبر.

• تفاعل تكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين:



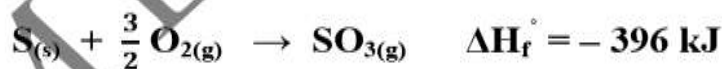
• حرارة التكوين القياسية لكل من النيتروجين والأكسجين تساوي صفر والتفاعل ماص للحرارة، مما يعني أن $+33.2 \text{ kJ}$ من الطاقة قد

امتصت في هذه التفاعل، ويكون المحتوى الحراري للناتج NO_2

أكبر من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار $+33.2 \text{ kJ}$

• يوضع NO_2 فوق العناصر المكونة له بمقدار $+33.2 \text{ kJ}$

• تفاعل تكوين مول واحد من ثالث أكسيد الكبريت :



• حرارة التكوين القياسية لكل من الكبريت والأكسجين

تساوي صفر والتفاعل طارد للحرارة، مما يعني أن

-396 kJ من الطاقة قد انطلقت من التفاعل، ويكون

المحتوى الحراري للناتج SO_3 أقل من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار -396 kJ

• يوضع SO_3 أسفل العناصر المكونة له بمقدار -396 kJ

• س: صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه؟ $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_f^\circ = -286 \text{ kJ/mol}$

• تستعمل حرارة التكوين القياسية ΔH_f° لحساب حرارة التفاعل $\Delta H_{\text{rxn}}^\circ$ لكثير من التفاعلات في الظروف القياسية باستعمال قانون هس.

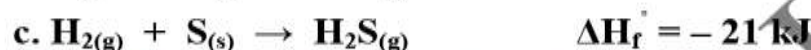
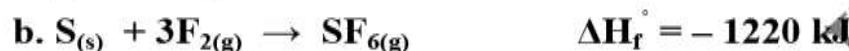
• يمكن استعمال قانون هس للتفاعل الذي يتم في عدة خطوات، أو باستخدام حرارة التكوين لكل مادة في التفاعل.

• تستخدم صورة أخرى لقانون هس، عندما يكون المعطى هو قيم حرارة التكوين للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة.

• تكون معادلة حساب حرارة التفاعل كالتالي:

$$\Delta H_{\text{rxn}}^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\text{النواتج}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{المتفاعلات})$$

مثال محلول 1: سادس فلوريد الكبريت غاز مستقر وغير نشط يستعمل في حفر أشكال دقيقة، وبنمط محدد على رقائق السيليكون في إنتاج أشباه الموصلات، المستخدمة في صناعة الإلكترونيات الحديثة (الحاسب والهاتف الخليوي) احسب ΔH_{rxn}° لتفاعل ينتج SF_6 ، مستخدما تفاعلات تكون كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل:



(1) نضرب المعادلة a في 2 للحصول على 2mol HF كما في معادلة التفاعل المطلوبة وكذلك نضرب ΔH في 2

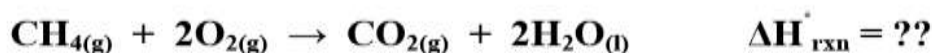
(2) نعكس المعادلة c للحصول على H_2S في المتفاعلات كما في معادلة التفاعل المطلوبة مع عكس إشارة ΔH



أو يمكن استخدام معادلة التجميع لحساب ΔH_{rxn}°

$$\begin{aligned} \Delta H_{rxn}^\circ &= \sum \Delta H_f^\circ (\text{النواتج}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{المتفاعلات}) \\ &= [2 \Delta H_f^\circ HF + \Delta H_f^\circ SF_6] - [\Delta H_f^\circ H_2S + 4 \Delta H_f^\circ F_2] \\ &= [2 \times (-273) + (-1220)] - [(-21) + 4 \times (0)] \\ &= -1745 \text{ kJ} \end{aligned}$$

مثال محلول 2: استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH_{rxn}° لتفاعل احتراق الميثان.



$$\Delta H_f^\circ \text{CH}_4 = -75 \text{ kJ} \quad , \quad \Delta H_f^\circ \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ} \quad , \quad \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{rxn}^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\text{النواتج}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{المتفاعلات})$$

$$= [\Delta H_f^\circ \text{CO}_2 + 2 \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O}] - [\Delta H_f^\circ \text{CH}_4 + 2 \Delta H_f^\circ \text{O}_2]$$

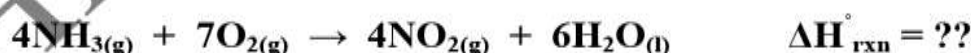
$$= [(-394) + 2 \times (-286)] - [(-75) + 2 \times (0)]$$

$$= -891 \text{ kJ}$$

(1) بين كيف أن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلا من التفاعلات الآتية. دون البحث عن قيم ΔH واستعملها في الحل.



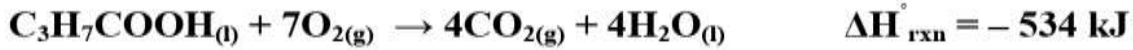
(2) استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH_{rxn}° للتفاعل التالي.



$$\Delta H_f^\circ \text{NH}_3 = -46 \text{ kJ} \quad , \quad \Delta H_f^\circ \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{NO}_2 = +33.2 \text{ kJ} \quad , \quad \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ}$$

(3) أوجد ΔH_f° لحمض البيوتانويك مستعينا بقيم حرارة التكوين القياسية.



$$\Delta H_f^\circ \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ} \quad , \quad \Delta H_f^\circ \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ} \quad , \quad \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ}$$

(4) بدمج معادلتَي حرارة التكوين a , b تحصل على معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين مع الأكسجين، الذي ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون. ما قيمة ΔH_f° للتفاعل b؟



تدريبات القسم (4)

(1) اكتب المصطلح العلمي المناسب:

(1) (.....) ظاهرة وجود العنصر في أكثر من صورة لها تراكيب بنائية وخواص مختلفة حين تكون في الحالة نفسها.

(2) (.....) مجموع التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الفردية يساوي التغير في المحتوى الحراري للتفاعل النهائي.

(3) (.....) التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصرها في حالاتها القياسية.

(2) وضع المقصود بقانون هس، وكيف يستعمل لإيجاد ΔH°_{rxn} ؟ أو
اشرح بالكلمات الصيغة التي يمكن استعمالها لإيجاد ΔH°_{rxn} عند استعمال قانون هس.

(3) كيف تعرف العناصر في حالاتها القياسية على تدرج حرارة التكوين القياسية؟

(4) ماذا تستنتج عند مقارنة حرارة تكوين المركبات التي تنتج من تفاعل ماص أو تفاعل طارد للحرارة وعلاقة ذلك مع ثبات أو استقرار المركبات؟ تذكر أن الثبات أو الاستقرار يرتبط مع الطاقة المنخفضة.

(5) رتب المركبات التالية تصاعديا تبعا للاستقرار والثبات الحراري اعتمادا على قيم ΔH°_f (kJ/mol) :



الأقل ثم ثم الأكبر

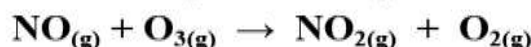
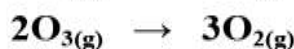


الأقل ثم ثم الأكبر



الأقل ثم ثم الأكبر

(6) استعمال قانون هس لإيجاد ΔH للتفاعل الآتي: $\Delta H = ??$



$\Delta H = +495 \text{ kJ}$

$\Delta H = -427 \text{ kJ}$

$\Delta H = -199 \text{ kJ}$

مستعينا بالتفاعلات:



(7) استعمل البيانات أدناه لعمل رسم لحرارة التكوين القياسية موضحة عليه قيم حرارة التكون للماء في حالاته الفيزيائية المختلفة، واستعمله في إيجاد حرارة تبخر الماء عند درجة حرارة 298 K بالاعتماد على تعريف حرارة للتبخير المولارية.

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

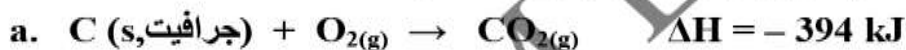
الماء في الحالة الغازية: $\Delta H^\circ_f = -241.8 \text{ kJ/mol}$

.....
.....
.....

(8) كيف تتغير ΔH في معادلة كيميائية حرارية إذا تضاعفت كميات المواد جميعها ثلاث مرات وعكست المعادلة؟

.....
.....

(9) استعمل قانون هس والمعادلتين الكيميائيتين الحراريتين الآتيتين a , b لإيجاد المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل (جرافيت، C (s) → C (s, ماس) ، ما مقدار ΔH للتفاعل؟

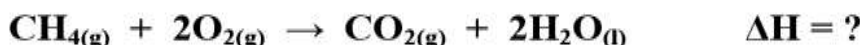


.....
.....
.....
.....
.....

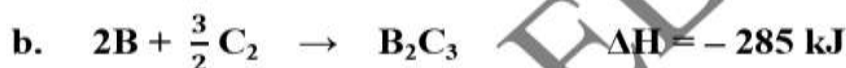
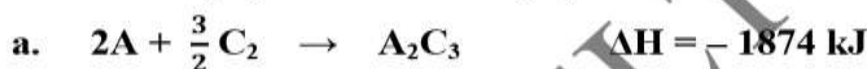
تدريبات عامة

(1) إذا أردت أن تحفظ الشاي ساخناً فإنك تضعه في ترمس. وضح لماذا تغسل الترمس بالماء الساخن قبل حفظ الشاي الساخن به؟

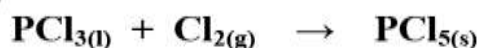
(2) فرق بين حرارة تكوين $H_2O_{(l)}$ و $H_2O_{(g)}$. لماذا من الضروري تحديد الحالة الفيزيائية للماء في المعادلة الكيميائية الحرارية الآتية:



(3) استعمل قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري للتفاعلين الشاملين الآتيين لحساب ΔH للتفاعل:



(4) يعد ثالث كلوريد الفوسفور مادة أولية في تحضير مركبات الفوسفور العضوية. بين كيف يمكن استعمال المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a , b لتحديد التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:



(5) توقع أي المركبين غاز الميثان CH_4 وبخار الميثانال CH_2O له حرارة احتراق أكبر؟ وضح إجابتك.

(ملاحظة: اكتب وقارن المعادلتين الكيميائيتين الموزونتين لتفاعلي الاحتراق لكل منهما، واحسب $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$)

$$\Delta H_f^\circ \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ} , \quad \Delta H_f^\circ \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ} , \quad \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{CH}_4 = -75 \text{ kJ} , \quad \Delta H_f^\circ \text{CH}_2\text{O} = -116 \text{ kJ}$$

(6) حلت عينة من الغاز الطبيعي فوجد أنها تتكون من 88.4 % ميثان CH_4 و 11.6 % إيثان C_2H_6 . وكل من الميثان والإيثان ينتج $\text{CO}_2(\text{g})$ و $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ عند احتراق كل منهما. احسب حرارة احتراق الإيثان. واحسب الطاقة المنطلقة عن احتراق 1 Kg من الغاز الطبيعي.

$$\Delta H_f^\circ \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ} , \quad \Delta H_f^\circ \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ} , \quad \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{C}_2\text{H}_6 = -84 \text{ kJ} , \quad \Delta H^\circ_{\text{comb}} \text{CH}_4 = -891 \text{ kJ}$$

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

(7) قامت مجموعة بحثية بحرق أربعة أنواع من الزيوت بعضها مشبع (روابط أحادية) والبعض الآخر غير مشبع (روابط ثنائية أو أكثر) وسجلت نتائج حرارة الاحتراق القياسية في الجدول.

- (1) أي الزيوت أعطى أكبر كمية من الحرارة لكل وحدة كتلة عند احتراقه؟
- (2) ما مقدار الحرارة التي قد تنطلق عند حرق 0.554 kg من زيت الزيتون؟

(3) افترض أنه عند حرق 12.2 g من زيت الصويا استعملت الطاقة الناتجة جميعها في تسخين 1.6 kg من الماء الذي درجة حرارته 20.0°C ما درجة الحرارة النهائية للماء؟

تجربة كيميائية

قياس السعرات الحرارية



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

السؤال: كم عدد السعرات الحرارية في رقاقة البطاطس؟

المواد

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

احتياطات السلامة

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

الإجراءات

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

التحليل والنتائج

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

التوسع في الاستقصاء

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

التحليل والنتائج

- يعتبر التفاعل تفاعلاً طارداً للحرارة حيث يمكن رؤية الحرارة والضوء وارتفعت درجة حرارة الماء.
- تتفاعل شرائح البطاطس مع الأكسجين الموجود بالهواء لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والكربون غير المحترق. لم تستهلك الشرائح بأكملها حيث يوجد السخام والرماد.
- 50.26 g ماء، 15.3°C، رقاقة 3220 J / 0.770 Cal.
-

- 28 g لكل وجبة × (رقاقة 1 / 0.770 Cal) = 36.36 g / 1.63 g / رقاقة (1) = 13.2 Cal
- 75 Cal لكل وجبة، ولكن ستختلف الإجابات وفقاً لشرائح البطاطس المستخدمة (75 Cal - 13.2 Cal) / 75 Cal × 100 = 82%

التوسع في الاستقصاء

ستختلف الإجابات. يجب أن تشمل كل التجارب على عناصر مختبر الكيمياء والتي تشمل احتياطات السلامة والأمان.

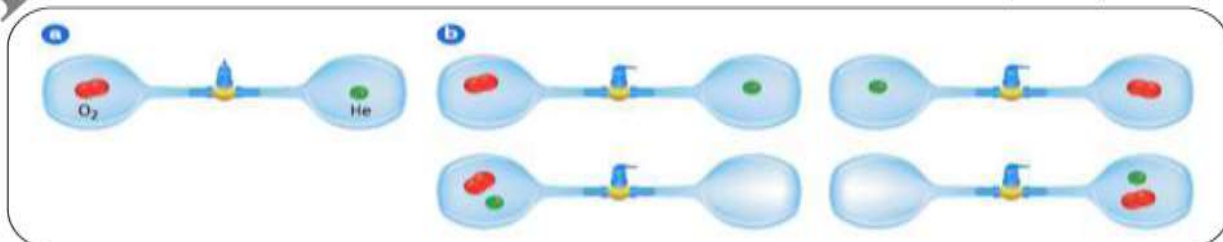
القسم (5) تلقائية حدوث التفاعلات

العمليات التلقائية

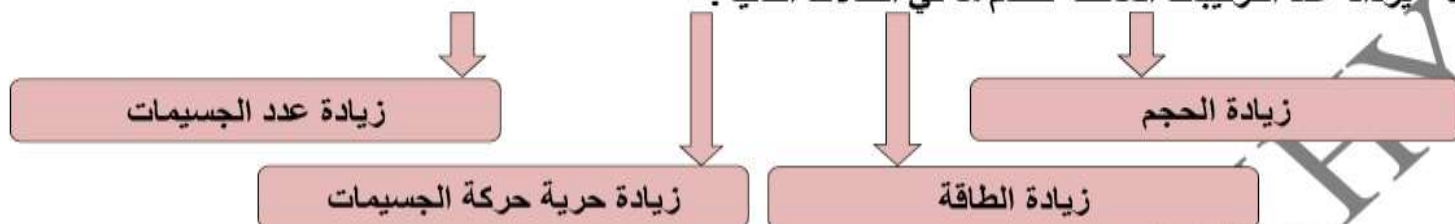
- التبخير: عملية تحتاج إلى طاقة يتحول السائل فيها إلى بخار.
- يحدث صدأ للحديد عند تعرضه للهواء وهو نفس التفاعل الذي يحدث في الكمادة الساخنة، ويكون التفاعل طارداً للحرارة كما يلي: $4\text{Fe}_{(s)} + 3\text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)} \quad \Delta H = -1625 \text{ kJ}$
- العملية التلقائية: تغيير فيزيائي أو كيميائي يبدأ في أي لحظة ويحدث دون أي تدخل خارجي.
- بعض العمليات التلقائية تحتاج إلى إضافة طاقة إلى التفاعل (ماص للحرارة) مثل إشعال بنزين باستخدام عود ثقاب وبعضها يفقد طاقة عند حدوثها (طارداً للحرارة) مثل صدأ الحديد.
- الصدأ عملية تلقائية حيث يتحول الحديد والأكسجين إلى أكسيد الحديد، لكن لا يمكن تحليل الصدأ (أكسيد الحديد) إلى حديد وأكسجين في الظروف الطبيعية لأن المعادلة في هذه الحالة تمثل تفاعل غير تلقائي.
- $2\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)} \rightarrow 4\text{Fe}_{(s)} + 3\text{O}_{2(g)} \quad \Delta H = 1625 \text{ kJ}$ (غير تلقائي)
- تفاعل تكوّن الصدأ على الحديد تفاعل تلقائي وطارداً للحرارة، أما التفاعل العكسي فهو تفاعل غير تلقائي وماص للحرارة.
- يمكن استنتاج أن كافة العمليات الطاردة للحرارة هي عمليات تلقائية، وكافة العمليات الماصة للحرارة هي عمليات غير تلقائية.
- لكن الثلج ينصهر في درجة حرارة الغرفة وهو عملية تلقائية ماصة للحرارة. لماذا؟؟
- جـ: يلعب عامل آخر غير ΔH دوراً في تحديد تلقائية التفاعل.

الإنتروبي (S)

- تميل الغازات إلى الانتشار خلال الهواء الجوي.
- الإنتروبي: قياس عدد الطرق التي يمكن أن يتم بها توزيع الطاقة عبر نظام ما.
- يرتبط الإنتروبي بـ: (1) حرية جسيمات النظام في الحركة. (2) عدد الطرق التي يتم تنظيمها بها.
- عند النظر إلى الرسم يحتوي دورق على جزيء واحد أكسجين والدورق الآخر يحتوي على ذرة واحدة هيليوم.
- عند فتح المحبس يتحرك جسيما الغازين بحرية بين الدورقين، ويمكن أن ينتشر جسيم الغاز في ضعف الحجم الأصلي، ويمكن العثور على الجسيمين في أي من الترتيبات الأربعة الموضحة في b
- يزداد إنتروبي النظام حين يكون المحبس مفتوحاً لأن عدد الترتيبات الممكنة للجسيمات وتوزيع طاقتها يزداد.



- مع زيادة عدد الجسيمات يزيد عدد الترتيبات الممكنة لمجموعة من الجسيمات بشكل كبير.
- إذا كان عدد الجسيمات في الدورقين 10 جسيمات يكون عدد الترتيبات الممكنة أكثر بـ 1024 مرة مما إذا كان عدد الجسيمات نفسه موجودا في دورق واحد.
- يزداد عدد الترتيبات الممكنة لنظام ما في الحالات التالية:



القانون الثاني للديناميكا الحرارية

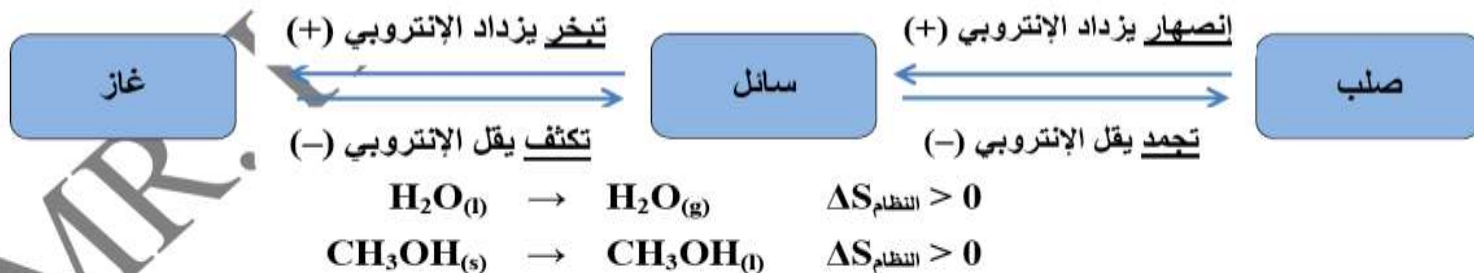
- العمليات التلقائية دائما ما تستمر بالطريقة التي يزداد بها إنتروبي الكون.
- يعتبر الإنتروبي قياس لاضطراب أو عشوائية الجسيمات التي يتكون منها نظام ما.
- الجسيمات الأكثر انتشارا تعتبر أكثر اضطرابا، مما يجعل الإنتروبي للنظام أكبر مما سيكون عليه الحال إذا كانت الجسيمات أقرب لبعضها البعض.
- التغير في الإنتروبي خلال تفاعل أو عملية ما هو إنتروبي النواتج مطروحا منه إنتروبي المتفاعلات.

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

العلاقة	الإنتروبي	قيمة النظام ΔS
$S_{\text{النواتج}} > S_{\text{المتفاعلات}}$	يزداد	موجبة
$S_{\text{النواتج}} < S_{\text{المتفاعلات}}$	يقل	سالبة

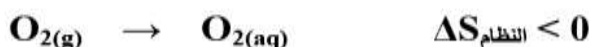
كيف يتم التنبؤ بإشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ من معادلة التفاعل؟

- 1 تكون حركة المادة في الحالة الصلبة محدودة، وتزداد حرية الحركة في السوائل، وتصل لأقصى حرية حركة في الحالة الغازية، يتغير الإنتروبي في حالات المادة الثلاثة كما يلي:

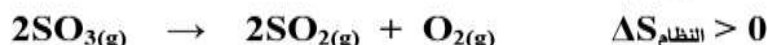


- 2 ذوبان غاز في مذيب ينشأ عنه دائما انخفاض في الإنتروبي،

لأن عند ذوبان الغاز في سائل يقلل من حركة وعشوائية جسيمات الغاز.



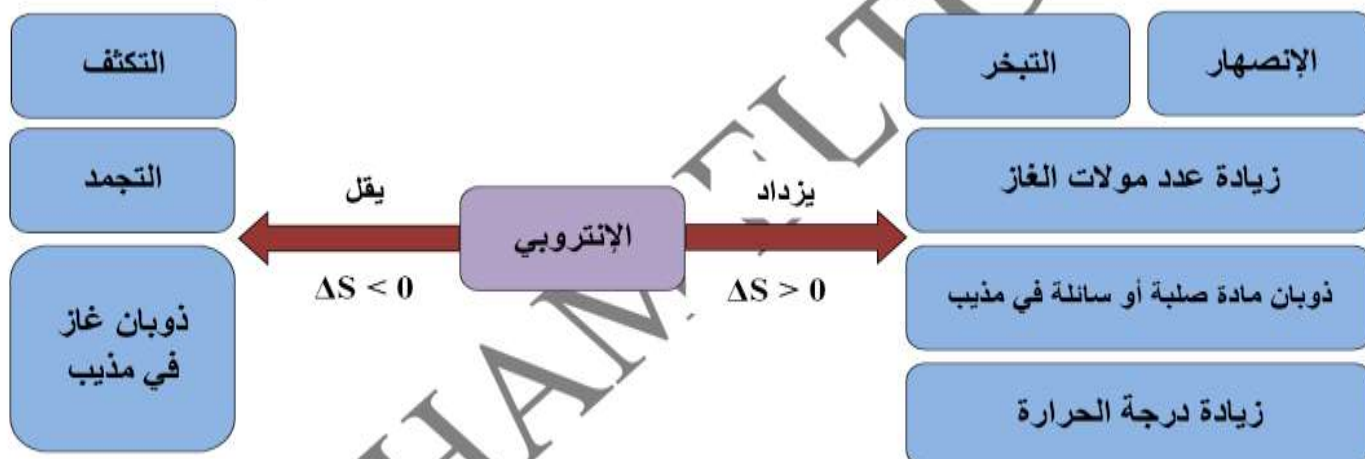
(3) يزداد إنتروبي أي نظام عندما يكون عدد مولات الغازات الناتجة أكبر من عدد مولات الغازات المتفاعلة على افتراض عدم تغير الحالة الفيزيائية.



(4) يزداد الإنتروبي عند ذوبان مادة صلبة أو سائلة في مذيب – مع وجود بعض الحالات الاستثنائية – لأنه تتشتت الجسيمات المذابة التي كانت مرتبطة ببعضها قبل الإذابة بداخل المذيب، وتصبح الجسيمات المذابة ذات حرية أكبر في الحركة.



(5) تزيد الإنتروبي لجسيمات مادة ما كلما زادت درجة حرارتها، لأن الطاقة الحركية تزداد بزيادة درجة الحرارة، وزيادة الطاقة الحركية تعني حركة أسرع وعشوائية أكثر للجسيمات، وتكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة.



تدريب: تنبأ بإشارة $\Delta S_{\text{النظام}}$ لكل تغير من التغيرات التالية:

	التفاعل	إشارة النظام ΔS
1	$\text{ClF}_{(g)} + \text{F}_{2(g)} \rightarrow \text{ClF}_{3(g)}$	
2	$\text{NH}_{3(g)} \rightarrow \text{NH}_{3(aq)}$	
3	$\text{CH}_3\text{OH}_{(l)} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(aq)}$	
4	$\text{C}_{10}\text{H}_{8(l)} \rightarrow \text{C}_{10}\text{H}_{8(s)}$	
5	$\text{Fe}_{(s)} + \text{Zn}^{2+}_{(aq)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{Zn}_{(s)}$	

الربط مع علم الأحياء

العمليات التلقائية للأرض

- البراكين والمنافذ البركانية والينابيع الساخنة والسخانات المائية الطبيعية دليل على الطاقة الحرارية في باطن الأرض.
- البراكين فتحات في القشرة الأرضية تتدفق منها الصخور المنصهرة (الماجما) والبخار والمواد الأخرى.
- حين تتحرك مياه السطح نحو الأسفل تتفاعل مع الماجما والصخور الساخنة.
- الماء الذي يعود إلى السطح على هيئة ينابيع ساخنة تزيد درجة حرارته ويكون أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط به.
- السخانات المائية الطبيعية هي ينابيع ماء ساخن يتدفق منها الماء الساخن والبخار في الهواء.
- المنافذ البركانية فتحات يتدفق منها البخار وغازات أخرى مثل كبريتيد الهيدروجين.
- هذه العمليات البيئية الحرارية هي عمليات تلقائية.

الانتروبي والكون والطاقة الحرة

- من الأمثلة على زيادة الإنتروبي في الكون: كسر بيضة لأنها لن تعود لطبيعتها، تحوّل حظيرة مهجورة إلى كومة من الأخشاب المتحللة، ثوبان وتشتت معلم تذكاري في ماء المطر، فيتغير النظام المرتب إلى فوضى.
- تطبيقا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية الذي ينص على أن إنتروبي الكون تزيد نتيجة العمليات والتفاعلات التلقائية يكون $\Delta S_{\text{الكون}} > 0$ للعمليات التلقائية.
- لأن الكون يساوي النظام مضافا إليه المحيط، وأي تغيير في الإنتروبي للكون هو مجموع التغيرات التي تحدث في كل من النظام والمحيط.

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

- في الطبيعة تميل أن تكون قيمة $\Delta S_{\text{الكون}}$ موجبة في التفاعلات والعمليات في الحالات التالية:
- (1) حين يكون التفاعل طارد للحرارة أي أن $\Delta H_{\text{النظام}}$ سالبة، تزيد الحرارة الناتجة من التفاعل الطارد للحرارة من درجة حرارة المحيط، يزيد إنتروبي المحيط وتصبح قيمة $\Delta S_{\text{المحيط}}$ موجبة.
- (2) زيادة إنتروبي النظام وبالتالي تكون قيمة $\Delta S_{\text{النظام}}$ موجبة.
- التفاعلات الطاردة للحرارة التي يصحبها زيادة في الإنتروبي تكون جميعها تلقائية.

الطاقة الحرة لجيبس (النظام)

- علاقة تربط بين المحتوى الحراري والإنتروبي للتفاعلات والعمليات التي تحدث بضغط ودرجة حرارة ثابتين.
- أو الطاقة المتاحة للقيام بالشغل.
- الطاقة الحرة تكون مفيدة، وعلى العكس بعض الإنتروبي مرتبطة بطاقة تنتشر في البيئة المحيطة وتكون غير مفيدة مثل الحركة العشوائية للجسيمات.

معادلة الطاقة الحرة

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

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

الوحدة	الكمية	
	الرمز	المعنى
kJ	$\Delta G_{\text{النظام}}$	التغير في الطاقة الحرة
kJ	$\Delta H_{\text{النظام}}$	التغير في المحتوى الحراري للنظام
K	T	درجة الحرارة
J/K	$\Delta S_{\text{النظام}}$	التغير في الإنتروبي

إشارة الطاقة

- حين يحدث تفاعل أو عملية ما في ظروف قياسية (1atm , 298K) يمكن التعبير عن التغير في الطاقة الحرة القياسية كالتالي: $\Delta G^{\circ}_{\text{النظام}} = \Delta H^{\circ}_{\text{النظام}} - T\Delta S^{\circ}_{\text{النظام}}$
- إذا كانت إشارة $\Delta G^{\circ}_{\text{النظام}}$ سالبة يكون التفاعل تلقائياً، وإذا كانت إشارة $\Delta G^{\circ}_{\text{النظام}}$ موجبة يكون التفاعل غير تلقائي.
- تذكر أن الطاقة الحرة هي الطاقة المتوفرة للقيام بالشغل.
- الطاقة المتعلقة بالإنتروبي غير مفيدة لأنها تشتت ولا يمكن استخدامها للشغل.

حساب تغير الطاقة الحرة

- كيف تؤثر التغيرات في المحتوى الحراري والإنتروبي على التغير في الطاقة الحرة؟ وعلى تلقائية التفاعل؟
- في التفاعل: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$ ، $\Delta H^{\circ}_{\text{النظام}} = -91.8 \text{ kJ}$ ، $\Delta S^{\circ}_{\text{النظام}} = -197 \text{ J/K}$ ، $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$
 - يقال إنتروبي النظام لأنه يتفاعل 4 mol غاز لإنتاج 2 mol غاز فتكون قيمة $\Delta S^{\circ}_{\text{النظام}}$ سالبة، فيميل النقص في إنتروبي النظام إلى جعل التفاعل غير تلقائي.
 - التفاعل طارد للحرارة (إشارة $\Delta H^{\circ}_{\text{النظام}}$ سالبة)، فيميل إلى جعل التفاعل تلقائياً.
 - لحساب أي منهما $\Delta S^{\circ}_{\text{النظام}}$ أم $\Delta H^{\circ}_{\text{النظام}}$ له تأثير أكبر على تلقائية التفاعل يجب حساب $\Delta G^{\circ}_{\text{النظام}}$

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

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

$$= -91.8 - (298 \times -0.197) = -33 \text{ kJ}$$
 - قيمة $\Delta G^{\circ}_{\text{النظام}}$ للتفاعل سالبة، لذا التفاعل تلقائي.

- إنتروبي النظام قد تقل أثناء العملية التلقائية، لكن ذلك لن يحدث إلا إذا زادت إنتروبي البيئة المحيطة بأكبر من المقدار الذي الذي انخفضت به إنتروبي النظام.
- إنتروبي الكون (النظام + البيئة المحيطة) يزداد دائما في أي عملية تلقائية.
- يوضح الجدول التالي كيف تعتمد تلقائية التفاعل على إشارات النظام ΔS° و النظام ΔH°

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

مثال محلول: لعملية معينة $\Delta H_{\text{النظام}} = 145 \text{ kJ}$ و $\Delta S_{\text{النظام}} = 322 \text{ J/K}$ هل العملية تلقائية عند 382 K ؟

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

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

$$= 145 - (382 \times 0.322) = 22 \text{ kJ}$$

قيمة $\Delta G_{\text{النظام}}$ موجبة، العملية غير تلقائية.

(1) حدد ما إذا كان التفاعل التالي تلقائيا.

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

.....

.....

(2) حدد ما إذا كان التفاعل التالي تلقائيا.

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

.....

.....

(3) حدد ما إذا كان التفاعل التالي تلقائياً.

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

(4) حدد ما إذا كان التفاعل التالي تلقائياً.

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

(5) إذا علمت أن $\Delta S_{\text{النظام}} = -36.8 \text{ J/K}$ و $\Delta H_{\text{النظام}} = -144 \text{ kJ}$ لتفاعل ما، ما أقل درجة حرارة بالكلفن يكون عندها التفاعل تلقائياً؟

تدريبات القسم (5)

(1) اكتب المصطلح العلمي المناسب:

- (1) (.....) عملية تحتاج إلى طاقة يتحول السائل فيها إلى بخار.
- (2) (.....) تغيير فيزيائي أو كيميائي يبدأ في أي لحظة ويحدث دون أي تدخل خارجي.
- (3) (.....) قياس عدد الطرق التي يمكن أن يتم بها توزيع الطاقة عبر نظام ما.
- (4) (.....) العمليات التلقائية دائماً ما تستمر بالطريقة التي يزداد بها إنتروبي الكون.
- (5) (.....) فتحات في القشرة الأرضية تتدفق منها الصخور المنصهرة (الماجما) والبخار والمواد الأخرى.
- (6) (.....) ينابيع ماء ساخن يتدفق منها الماء الساخن والبخار في الهواء.
- (7) (.....) فتحات يتدفق منها البخار وغازات أخرى مثل كبريتيد الهيدروجين.
- (8) (.....) علاقة تربط بين المحتوى الحراري والإنتروبي للتفاعلات والعمليات التي تحدث بضغط ودرجة حرارة ثابتين.
- (9) (.....) الطاقة المتاحة للقيام بالشغل.
- (10) (.....) الطاقة الحرة الممتصة أو المنطلقة من تفاعل ما الفرق بين التغير في المحتوى الحراري للنظام وناتج حاصل ضرب درجة الحرارة بالكلفن في التغير في الإنتروبي (بالجول لكل كلفن).

(2) قارن بين التفاعلات التلقائية والتفاعلات غير التلقائية؟

.....

.....

(3) كيف تتغير إنتروبي نظام ما إذا أصبح النظام أكثر اضطراباً خلال عملية ما.

.....

.....

(4) هل تزيد أم تقل إنتروبي أي نظام ما عند ذوبان مكعب من السكر في كوب من الشاي؟ عرف النظام وفسر إجابتك.

.....

.....

(5) حدد ما إذا كان النظام التالي تلقائي أم غير تلقائي $\Delta S_{\text{النظام}} = -35 \text{ J/K}$, $T = 298 \text{ K}$, $\Delta H_{\text{النظام}} = -20.5 \text{ kJ}$

.....

.....

(6) في أي ظروف يحتمل أن يصبح التفاعل الكيميائي الماص للحرارة والذي تزداد فيه إنتروبي النظام تلقائياً؟

.....

.....

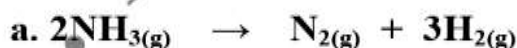
(7) تنبأ كيف يتغير إنتروبي النظام للتفاعل. فسر إجابتك.



.....

.....

(8) أي من هذه التفاعلات تتوقع أن يكون تلقائياً في درجات حرارة عالية نسبياً؟ وأيهم تتوقع أن يكون تلقائياً في درجات حرارة منخفضة نسبياً؟ فسر إجابتك.



$$\Delta H_{\text{النظام}} = 92 \text{ kJ}$$



$$\Delta H_{\text{النظام}} = -58 \text{ kJ}$$



$$\Delta H_{\text{النظام}} = 178 \text{ kJ}$$

.....

.....

.....

.....

9) وضح كيف يغير تفاعل طارد للحرارة إنتروبي البيئة المحيطة به؟ هل التغير في المحتوى الحراري لهذا التفاعل يزيد أم يقلل النظام ΔG ؟

10) احسب النظام ΔG لكل عملية. ووضح ما إذا كانت العملية تلقائية أم غير تلقائية.

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

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

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

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

12) بالنسبة لتغير الحالة $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ تكون $\Delta G^\circ_{\text{النظام}} = 8.557 \text{ kJ}$ و $\Delta H^\circ_{\text{النظام}} = 44.01 \text{ kJ}$ ما قيمة $\Delta S^\circ_{\text{النظام}}$ لهذا التغير؟

13) هل تفاعل تحويل كبريتيد النحاس II إلى كبريتات النحاس II في ظل ظروف قياسية تلقائي؟ فسر إجابتك.



14) احسب درجة الحرارة التي تكون عندها $\Delta G_{\text{النظام}} = -34.7 \text{ kJ}$ إذا كان $\Delta H_{\text{النظام}} = 28.8 \text{ kJ}$ و $\Delta S_{\text{النظام}} = 22.2 \text{ J/K}$



15) أضيفت حرارة بشكل مستمر لعينة من الماء لإنتاج المنحنى الحراري في الشكل المقابل. وضح ما يحدث في الأقسام 1,2,3,4 على المنحنى.

.....

.....

.....

.....

16) صف التحول في الطاقة الذي يحدث حين ينحدر راكب دراجة على منحني طويل. ثم يقاوم لصعود المنحنى.

.....

.....

17) تخيل أنك قررت تمشي في يوم بارد أن تأخذ معك ترمس من الحساء الساخن وأنت تتنزه سيرا لمسافة طويلة. وضح لم ينبغي عليك غسل الترمس بالماء الساخن أولا قبل وضع الحساء الساخن فيه.

.....

.....

18) حلل كلا الصورتين في الشكل المقابل. بحسب

طاقة الوضع للحالة الظاهرة في الصورة

وطاقة الوضع الكيميائية والطاقة الحركية والحرارة.

.....

.....

.....

.....



ثلج



نار

19) لنفترض أن هناك قطعتين من الحديد كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى تماما وهما موضوعتان في كالوريمتر.

إذا كانت درجتي الحرارة الابتدائية للقطعة الأكبر والقطعة الأصغر هما 90°C و 50°C على التوالي. ما هي

درجة حرارة القطعتين حين يحدث الاتزان الحراري؟

.....

.....

.....

.....

تدريبات عامة على الطاقة والتغيرات الكيميائية

(1) أي من الرموز التالية يمثل الفرق في المحتوى الحراري بين المتفاعلات والنواتج؟

• ΔT

• ΔG

• ΔH

• ΔS

(2) أي مما يلي غير قابل للقياس بشكل مباشر؟

• حرارة التكوين • حرارة الاحتراق • المحتوى الحراري • التغير في المحتوى الحراري

(3) ما المركب الذي يكون غير مستقر ويتفكك بشدة يكون له حرارة تكوين؟

• صغيرة وسالبة • صغيرة وموجبة • كبيرة وسالبة • كبيرة وموجبة

(4) أي مما يلي يقيس معدل الطاقة الحركية لجسيمات عينة من مادة؟

• الكيمياء الحركية • الكيمياء الحرارية • درجة الحرارة • سرعة التفاعلات

(5) تزداد الطاقة الحركية لجسيمات عينة مادة عند؟

• رفع درجة الحرارة • خفض درجة الحرارة • تثبيت درجة الحرارة • إطلاق العينة طاقة على شكل حرارة

(6) ماذا تسمى الطاقة المنتقلة بين مادتين بسبب الفرق بين درجتي حرارتهما؟

• درجة الحرارة • الكيمياء الحرارية • الكيمياء الحركية • الحرارة

(7) ما الطاقة (J) التي يمتصها 20 g من الذهب على صورة حرارة إذا سخنت من درجة حرارة 25 °C

إلى درجة حرارة 35 °C ؟ (الحرارة النوعية للذهب 0.43 J/g.°C)

• 86 • 215 • 301 • - 215

(8) عينة من الجليد كتلتها 2.5 g سخنت بحيث ارتفعت درجة حرارتها بمقدار (10 K) فإذا كانت كمية الحرارة

المكتسبة (50 J) فما الحرارة النوعية (J/g.K) للجليد؟

• 1 • 1.5 • 1.75 • 2.0

(9) ما كتلة عينة من النحاس تمتص طاقة 53.9 J عندما تسخن من 274 K إلى 314 K ولها حرارة

نوعية تساوي 0.385 J/(g.K) ؟

• 4 g • 3.5 g • 8 g • 0.04 g

(10) أي مما يلي يصف المركبات التي لها حرارة تكوين ذات قيمة سالبة عالية؟

• لا توجد • تنحل بسهولة • عالية الاستقرار • جدا غير مستقرة

(11) ما قيمة حرارة التكوين (KJ/mol) التي تمثل المركب الأقل استقرارا؟

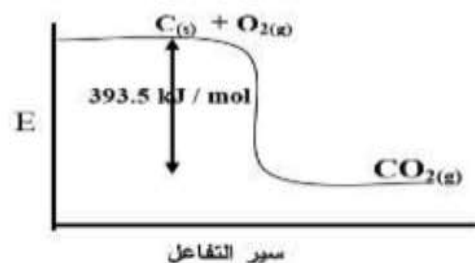
• 270 • 226.7 • 26.6 • - 393.5

(12) أي المركبات التالية الأكثر استقرارا حراريا؟

• $\text{NO}_2 : \Delta H^\circ_f = + 82 \text{ KJ/mol}$ • $\text{C}_2\text{H}_2 : \Delta H^\circ_f = +228 \text{ KJ/mol}$

• $\text{CaO} : \Delta H^\circ_f = - 635 \text{ KJ/mol}$ • $\text{CuO} : \Delta H^\circ_f = - 157 \text{ KJ/mol}$

- (13) اعتمادا على حرارة التكوين بـ (KJ/mol) أي المركبات التالية الأقل استقرارا؟
 $C_6H_6(l)$ (+ 49.1) • $NO_2(g)$ (+ 33.2) • $Ag_2S(s)$ (- 32.6) • $CuSO_4$ (- 771) •
- (14) افترض أنه يمكن كتابة معادلة كيميائية على شكل مجموع معادلتين أخريين . إذا كانت قيمتا ΔH للتفاعلين 658 J - و 458 J + ، فما قيمة ΔH (KJ) للتفاعل الناتج من جمعهما؟
 +1116 • +200 • -200 • -1116 •
- (15) افترض أن $\Delta H = -200$ KJ للتفاعل A و $\Delta H = -100$ KJ للتفاعل B ، وأنه يمكن كتابة التفاعل C على شكل مجموع التفاعل الأمامي لـ A والتفاعل العكسي لـ B فما قيمة ΔH (KJ) للتفاعل C الناتج عنهما؟
 +300 • -300 • +100 • -100 •
- (16) إذا علمت أن حرارة تكوين المركب A هي (- 612 KJ/mol) وحرارة تكوين المركب B الناتج الوحيد من احتراقه هي (- 671 KJ/mol) فما حرارة احتراق المركب A بـ (KJ/mol)؟
 +59 • +1283 • -1283 • -59 •
- (17) إذا علمت أن حرارة تكوين المركب X هي (- 110.5 KJ/mol) وحرارة تكوين المركب Y الناتج الوحيد من احتراقه هي (- 393.5 KJ/mol) فما حرارة احتراق المركب X بـ (KJ/mol)؟
 +504 • +283 • -283 • -504 •
- (18) بالنسبة للتفاعل : $2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$ $\Delta H = -792$ KJ أي العبارات التالية صحيحة؟
 • حرارة تكوين $SO_3(g)$ = حرارة التفاعل
 • حرارة تكوين $SO_3(g)$ = حرارة احتراق $S(s)$
 • التفاعل ماص للحرارة
 • حرارة تكوين $SO_3(g)$ = حرارة احتراق $S(s)$
- (19) إذا كانت حرارة التكوين للمركب لها قيمة كبيرة بإشارة موجبة فإن حرارة التفكك لها قيمة؟
 • كبيرة بإشارة موجبة • كبيرة بإشارة سالبة • صغيرة بإشارة موجبة • صغيرة بإشارة سالبة
- (20) معتمدا على التفاعل : $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g) + 483.6$ KJ ما قيمة الطاقة (KJ) المنطلقة من تكون 0.25 mol من بخار الماء؟
 60.45 • 120.9 • 241.8 • 483.6 •
- (21) ما الذي تعبر عنه قيمة ΔH للتفاعل $N_2(g) + O_2(g) + 106.5$ KJ $\rightarrow 2NO(g)$ ؟
 • حرارة التكوين • نصف حرارة التكوين
 • ضعف حرارة التكوين • ضعف حرارة الاحتراق
- (22) إذا علمت أن المحتوى الحراري لنواتج تفاعل يساوي + 458 KJ/mol والمحتوى الحراري للمتفاعلات يساوي + 658 KJ/mol ، فأأي العبارات التالية صحيحة؟
 • النواتج أكثر استقرارا والتفاعل طارد للحرارة
 • النواتج أكثر استقرارا والتفاعل ماص للحرارة
 • المتفاعلات أكثر استقرارا والتفاعل طارد للحرارة
 • المتفاعلات أكثر استقرارا والتفاعل ماص للحرارة



(23) أي العبارات التالية صحيحة فيما يتعلق بالشكل المقابل؟

- قيمة ΔH لتكوين $\text{CO}_2(\text{g})$ موجبة .
- التفاعل ماص للحرارة .

• التفاعل الأمامي يمثل حرارة تكوين $\text{CO}_2(\text{g})$

• المحتوى الحراري للنواتج أكبر من المتفاعلات .

(24) في التفاعل : $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{g})$, $\Delta H = + 52 \text{ KJ}$ ، عندما يتفكك 2 mol من HI؟

- ينتج 52 KJ
- يمتص 52 KJ
- ينتج 104 KJ
- يمتص 104 KJ

إجابات الاختيار من متعدد

1	ΔH	2	المحتوى الحراري
3	كبيرة وموجبة	4	درجة الحرارة
5	رفع درجة الحرارة	6	الحرارة
7	86	8	2.0
9	3.5 g	10	عالية الاستقرار
11	270	12	$\text{CaO} : \Delta H_f^\circ = - 635 \text{ KJ/mol}$
13	$\text{C}_6\text{H}_6(\text{l}) (+ 49.1)$	14	- 200
15	- 100	16	- 59
17	- 283	18	حرارة تكوين $\text{SO}_3(\text{g})$ = حرارة احتراق $\text{S}(\text{s})$
19	كبيرة بإشارة سالبة	20	60.45
21	ضعف حرارة التكوين	22	النواتج أكثر استقرارا والتفاعل طارد للحرارة
23	التفاعل الأمامي يمثل حرارة تكوين $\text{CO}_2(\text{g})$	24	ينتج 52 KJ

(25) احسب الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة عينة من الحديد كتلتها 72.5 g من 24 °C إلى 51 °C علماً بأن الحرارة النوعية للحديد 0.449 J/(g.K)؟

878.9 J

(26) إذا أضيف 340 KJ من الطاقة إلى 1.7 L من الزئبق عند درجة حرارة 20 °C فما درجة الحرارة النهائية للزئبق ؟ (الحرارة النوعية للزئبق 0.14 J/(g.°C) , كثافة الزئبق 13.6 g/cm³)؟

125°C

(27) احسب c لغاز الأمونيا NH₃ إذا علمت أن 1 mol منه يمتص 178.5 J عندما ترتفع درجة حرارته من 23 °C إلى 28 °C ؟ (NH₃ = 17 g/mol)

2.1 J/(g.°C)

(28) بالاعتماد على التفاعل : $\frac{1}{2} S_{8(g)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 4SO_{3(g)} \quad \Delta H = -1582 \text{ KJ}$ احسب؟

(1) حرارة احتراق الكبريت : - 3164 kJ/mol

(2) حرارة تكوين ثالث أكسيد الكبريت : - 395.5 kJ/mol

(29) رتب المركبات التالية تصاعدياً تبعاً للاستقرار والثبات الحراري اعتماداً على قيم ΔH_f° (KJ/mol) :

(1) CaO (- 635) - C₂H₂ (+ 228) - N₂O (+ 82) - CuO (- 175)

الأقل C₂H₂ ثم N₂O ثم CuO ثم CaO الأكبر

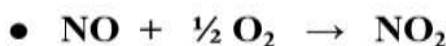
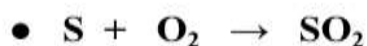
(2) NaBr (- 361.8) - C₆H₆ (+82.88) - HBr (- 36.29) - NO₂ (+33.2)

الأقل C₆H₆ ثم NO₂ ثم HBr ثم NaBr الأكبر

(3) CH₄ (- 74.3) - NO₂ (+ 33.2) - O₃ (+ 192.7) - CO₂ (- 393.5)

الأقل O₃ ثم NO₂ ثم CH₄ ثم CO₂ الأكبر

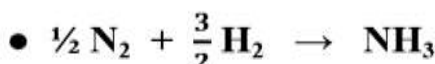
(30) اختر البديل غير المنسجم علميا مع التبرير :



البديل : التبرير :

$NO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO_2$ لأنها تمثل معادلة احتراق فقط والباقي معادلات تكوين واحتراق مولية.

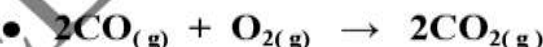
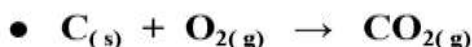
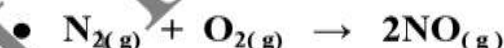
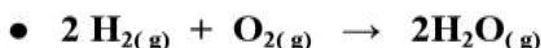
(31) اختر البديل غير المنسجم علميا مع التبرير :



البديل : التبرير :

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ لأنها لا تمثل معادلة تكوين مولية والباقي يمثل.

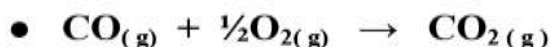
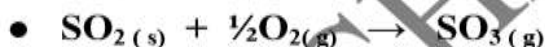
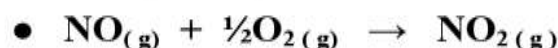
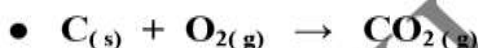
(32) اختر البديل غير المنسجم علميا مع التبرير :



البديل : التبرير :

$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ لأنها تمثل معادلة تكوين ومعادلة احتراق مولية والباقي لا يمثل.

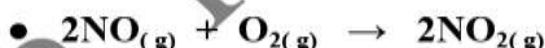
(33) اختر البديل غير المنسجم علميا مع التبرير :



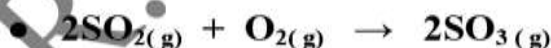
البديل : التبرير :

$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ لأنها تمثل معادلة تكوين مولية والباقي لا يمثل.

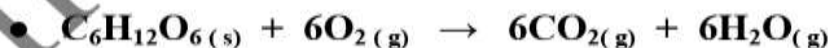
(34) اختر البديل غير المنسجم علميا مع التبرير :



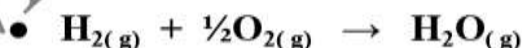
$\Delta H = -114.2 \text{ KJ}$



$\Delta H = -196 \text{ KJ}$



$\Delta H = -2548 \text{ KJ}$

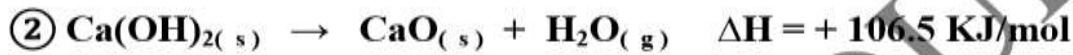
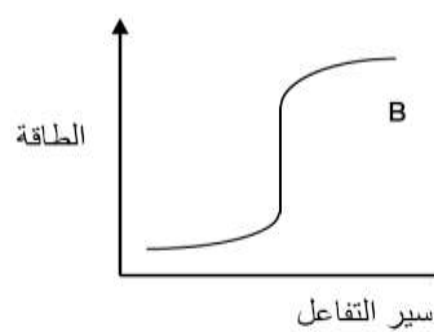
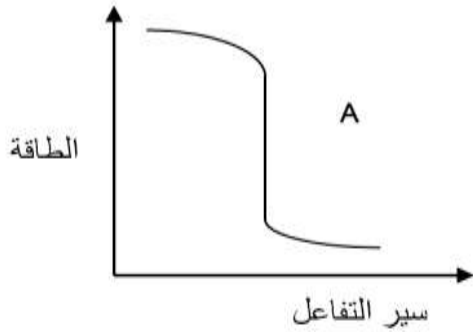


$\Delta H = -241.8 \text{ KJ}$

البديل : التبرير :

$H_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(g)}$ لأنها تمثل معادلة تكوين مولية والباقي لا يمثل.

(35) تأمل كلا من الشكلين والتفاعلين التاليين وأجب عن الأسئلة التي تليها؟



B

- (1) أي الشكلين يمثل المعادلة رقم ②؟
- (2) لا تمثل ΔH في التفاعل ① حرارة تكوين بخار الماء ، فسر ذلك؟
حرارة التكوين تكون لتكوين مول واحد من المركب من عناصره في حالتها القياسية أما في التفاعل (1) ينتج 2 mol من بخار الماء
- (3) في الشكل A تكون المواد الناتجة أكثر استقراراً من المواد المتفاعلة ، فسر ذلك؟
لأن طاقة المواد الناتجة أقل من طاقة المواد المتفاعلة والتفاعل طارد للحرارة .
- (4) في التفاعل ② إذا تكون الماء السائل بدلاً من بخار الماء ، ماذا تتوقع لقيمة ΔH مع التفسير؟
قيمة ΔH سوف تقل ، لأن جزء من الطاقة المستخدمة كان يستهلك في تحويل $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ إلى $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ وبما أنه سوف ينتج $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ يتم توفير جزء من الطاقة .
- (5) في التفاعل ① إذا تكون الماء السائل بدلاً من بخار الماء ، ماذا تتوقع لقيمة ΔH مع التفسير؟
قيمة ΔH سوف تزداد ، لأن جزء من الطاقة كان يختزن في $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ وبما أنه سوف ينتج $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ تنتج كمية أكبر من الطاقة .

(36) بالجدول المجاور مجموعة من المعادلات ضع الرقم المناسب بين القوسين بما يتوافق مع العبارة؟

1	$2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$
2	$\frac{1}{2}\text{N}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}$
3	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$
4	$\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

- (1) معادلة تعبر عن حرارة التكوين
- (2) معادلة تعبر عن حرارة الاحتراق
- (3) حرارة الاحتراق = حرارة التكوين \neq حرارة التفاعل

(1) (3)

(4) (2)

(2) (1)

(37) في التفاعل : $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, $\Delta\text{H}^\circ = -572\text{KJ}$ احسب؟

- 286 kJ/mol

- 143 kJ/mol

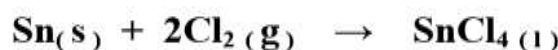
+ 1430 kJ/mol

(1) كمية الطاقة المنطلقة عند تكوين مول واحد من الماء؟

(2) كمية الطاقة المنطلقة من حرق $\frac{1}{2}$ mol من الهيدروجين؟

(3) كمية الطاقة اللازمة لتفكك 5 mol من الماء؟

(38) يمثل الشكل التوضيحي اللاحق قانون هس للتفاعل التالي.



استخدم الشكل البياني لتحديد قيم ΔH لكل خطوة من الخطوات

التالية والتفاعل النهائي؟



- 511.3 (3) - 186.2 (2) - 325.1 (1)

(39) فسر علميا.

(1) في التفاعل : $\text{CO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 283 \text{ KJ}$ لا تعتبر الحرارة الناتجة حرارة تكوين CO_2

لأن CO مركب وحرارة التكوين تكون لتكوين مول واحد من المركب من عناصره في حالتها القياسية.

(2) كمية الطاقة الممتصة من جزيئات الماء لتكوين الهيدروجين والأكسجين تساوي كمية الطاقة المنطلقة

لدى اتحاد الهيدروجين والأكسجين لتكوين الماء.

لأن الفرق بين طاقة المتفاعلات والنواتج ثابت لم يتغير ولأن الطاقة المفقودة تساوي الطاقة المكتسبة.

(3) لا تعد حرارة التفاعل $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 483 \text{ KJ}$ حرارة تكوين الماء.

لأن حرارة التكوين تكون لتكوين مول واحد من المركب من عناصره في حالتها القياسية أما هنا تكون 2 mol

(حرارة التفاعل = 483 KJ ، حرارة التكوين = 241.5 KJ/mol)

(4) معظم التفاعلات الكيميائية هي تفاعلات طاردة للحرارة.

لأن الطاقة تفقد في التفاعلات الطاردة للحرارة ويقل المحتوى الحراري فتعطي نواتج أكثر استقرارا حراريا.

(5) يمكن قياس حرارة تكوين ثاني أكسيد الكربون CO_2 وقياس حرارة احتراق أول أكسيد الكربون CO .

لأن CO_2 يتكون منه 1 mol من عناصره في حالتها القياسية $(\text{C}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)})$

و CO يحترق 1 mol منه $(\text{CO}_{(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)})$

(6) لا يمكن قياس حرارة تكوين أول أكسيد الكربون من الكربون والأكسجين بصورة مباشرة.

عند احتراق الكربون في الأكسجين يتأكسد الكربون ليعطي CO_2 ثم يختزل جزء من CO_2 ليعطي CO

فيتكون مزيج من CO و CO_2 فلا يمكن تكوين 1 mol من CO من عناصره في حالتها القياسية.

(7) لا تمثل حرارة التفاعل $\text{HNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, $\Delta H = -57.3 \text{ KJ/mol}$ حرارة تكوين الماء.

لأن حرارة التكوين تكون لتكوين مول واحد من المركب من عناصره في حالتها القياسية والمتفاعلات هنا هي مركبات

وليس العناصر المكونة للماء (H_2, O_2)

(40) موظفا المعادلتين التاليتين: $\text{C}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)}$ $\Delta H = -393.5 \text{ KJ/mol}$

$\text{CH}_{4(g)} + 2\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ $\Delta H = -890.8 \text{ KJ/mol}$

تتساوى قيمة حرارة تكوين CO_2 وحرارة احتراق الكربون في حين لا ينطبق ذلك على حرارة احتراق الميثان.

لأن التفاعل الأول يمثل احتراق واحد مول من الكربون وكذلك تكوين واحد مول من ثاني أكسيد الكربون من عناصره

أما في التفاعل الثاني فهو يمثل احتراق واحد مول من الميثان بينما لا يمثل تكوين واحد مول من ثاني أكسيد الكربون من عناصره.

(41) احسب حرارة التفاعل التالي: $\text{NO}_{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{NO}_{2(g)}$

علما بأن NO $(\Delta H_f^\circ = +90.29 \text{ KJ/mol})$ ، NO_2 $(\Delta H_f^\circ = +33.2 \text{ KJ/mol})$

- 57.09 KJ

(42) احسب ΔH للتفاعل التالي $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$ علما بأن حرارة التكوين بـ (KJ/mol)

تساوي $\text{Fe}_2\text{O}_3 = -826$ و $\text{Al}_2\text{O}_3 = -1676$

- 850 KJ

(43) احسب حرارة التفاعل $\text{Ca(OH)}_2(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ إذا علمت أن ΔH°_f للمركبات:
 $(- 242 \text{ KJ/mol}) \text{H}_2\text{O}$ ، $(- 634.9 \text{ KJ/mol}) \text{CaO}$ ، $(- 983.2 \text{ KJ/mol}) \text{Ca(OH)}_2$

106.3 KJ

(44) احسب حرارة تفاعل احتراق غاز الميثان CH_4 لتكوين $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ علماً بأن ΔH°_f لكل من
 $(- 285.8 \text{ KJ/mol}) \text{H}_2\text{O}$ ، $(- 393.5 \text{ KJ/mol}) \text{CO}_2$ ، $(- 74.9 \text{ KJ/mol}) \text{CH}_4$

- 890.2 KJ/mol

(45) استخدم القيم التالية : CO_2 ($\Delta H^\circ_f = - 393.5 \text{ KJ/mol}$) ، Fe_2O_3 ($\Delta H^\circ_f = - 824.2 \text{ KJ/mol}$) لحساب
 التغير في المحتوى الحراري خلال انتاج 1mol من الحديد في التفاعل : $2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{C}(\text{s}) \rightarrow 4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$

116.97 KJ

(46) احسب حرارة التكوين القياسية لحمض النيتريك في التفاعل التالي:

$3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$ ، $\Delta H = - 136.7 \text{ KJ}$
 $(-285.8 \text{ KJ/mol}) \text{H}_2\text{O}$ ، $(+ 33.2 \text{ KJ/mol}) \text{NO}_2$ ، $(+ 90.3 \text{ KJ/mol}) \text{NO}$

- 206.6 KJ/mol

(47) التفاعل التالي يمثل احتراق البروبان : $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, $\Delta\text{H} = - 2219.2 \text{ KJ}$
احسب ΔH°_f للبروبان علماً بأن $(\Delta\text{H}^\circ_f = - 285.8 \text{ KJ/mol}) \text{H}_2\text{O}$, $(\Delta\text{H}^\circ_f = - 393.5 \text{ KJ/mol}) \text{CO}_2$

- 104.5 KJ/mol

(48) بالاعتماد على التفاعل : $\text{C}_5\text{H}_{12}(\text{g}) + 8\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 5\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 3535.6 \text{ KJ}$
احسب حرارة تكوين البنزين C_5H_{12} علماً بأن :

$\Delta\text{H}^\circ_f(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = - 285.8 \text{ KJ/mol}$, $\Delta\text{H}^\circ_f(\text{CO}_2(\text{g})) = - 393.5 \text{ KJ/mol}$

- 146.7 KJ/mol

في ضوء البيانات التي لديك قرر استخدام البنزين كوقود؟ لأنه يطلق كمية كبيرة من الطاقة الحرارية عند احتراقه.

(49) في التفاعل : $2\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $\Delta\text{H} = - 198 \text{ KJ}$

احسب ΔH°_f لثاني أكسيد النيتروجين إذا علمت أن O_3 ($\Delta\text{H}^\circ_f = 143 \text{ KJ/mol}$) , N_2O_5 ($\Delta\text{H}^\circ_f = 11 \text{ KJ/mol}$)

+33 KJ/mol

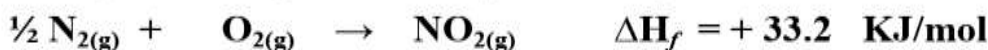
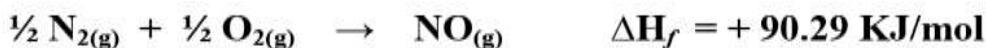
(50) حرارة تكوين الإيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ هي ($- 277 \text{ KJ/mol}$) تحت الشروط القياسية احسب حرارة احتراق مول واحد من الإيثانول علماً بأن النواتج هي H_2O ($\Delta\text{H}^\circ_f = - 285.8 \text{ KJ/mol}$) , CO_2 ($\Delta\text{H}^\circ_f = - 393.5 \text{ KJ/mol}$)

- 1367.4 KJ/mol

(51) احسب حرارة التفاعل لاحتراق غاز أول أكسيد النيتروجين NO لتكوين غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO₂

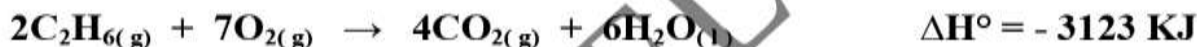


باستخدام المعادلتين الكيميائيتين التاليتين:



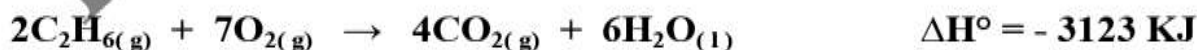
- 57.09 KJ

(52) احسب حرارة التفاعل: $\text{C}_2\text{H}_{2(g)} + 2\text{H}_{2(g)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_{6(g)}$ موظفا المعادلات الكيميائية الحرارية التالية:



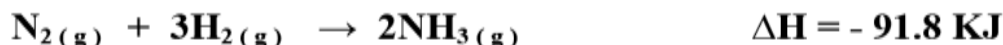
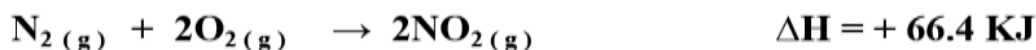
859.4 KJ

(53) احسب حرارة التفاعل: $2\text{C}_{(s)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_{6(g)}$ موظفا المعادلات الكيميائية الحرارية التالية:



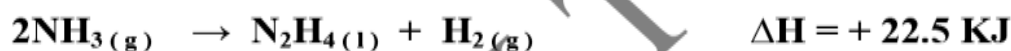
- 82.9 KJ

(54) احسب حرارة التفاعل: $4\text{NH}_3(\text{g}) + 7\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ مستخدماً المعادلات التالية:



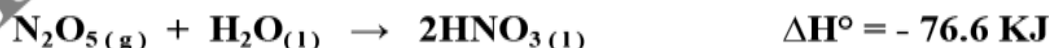
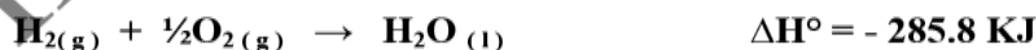
- 1132.6 KJ

(55) احسب ΔH للتفاعل: $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + \text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) \rightarrow \text{HCHO}(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ مستخدماً المعادلات:



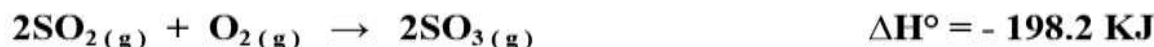
- 46.2 KJ

(56) احسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل: $2\text{N}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ مستخدماً المعادلات التالية:



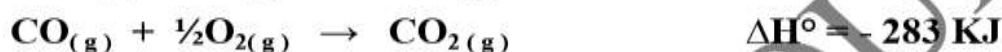
28.4 KJ

(57) احسب حرارة تكوين ثاني أكسيد الكبريت SO_2 من عنصريه الكبريت والاكسجين موظفا المعادلات الكيميائية:



- 296.1 KJ/mol

(58) احسب حرارة تكوين غاز أول أكسيد الكربون CO موظفا المعادلات الكيميائية الحرارية التالية:



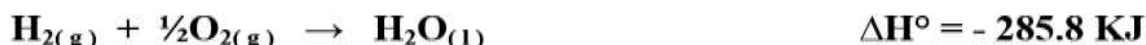
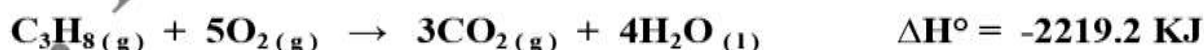
- 110.5 KJ/mol

(59) احسب حرارة تكوين البنتن C_5H_{12} من عنصريه الكربون والهيدروجين موظفا المعادلات الكيميائية التالية:



- 146.7 KJ/mol

(60) استخدم المعادلات التالية لحساب حرارة تكوين البروبان C_3H_8 من عنصريه الكربون والهيدروجين:



- 104.5 KJ/mol

61) احسب الحرارة الناتجة عن احتراق 125 g من غاز البروبان C_3H_8 في الظروف القياسية علماً بأن $(C_3H_8 = 44 \text{ g/mol})$ ومستخدماً المعادلات التالية:



- 2219.2 KJ/mol

- 6304.5 KJ

62) احسب حرارة احتراق الأيزوأوكتان C_8H_{18} مستخدماً المعادلات:



- 5100 KJ/mol

إذا علمت أن كتلة الجالون الواحد من الأيزوأوكتان 2.6 Kg ، احسب ΔH اللازمة لاحتراق جالون واحد منها $(C_8H_{18} = 114 \text{ g/mol})$

- 116316 KJ