# الفصل 2 الطاقة والتغيرات الكيميائية

## تجربة استهلالية كيف تعمل كمّادة باردة؟

### التحليل

1. **حلل واستنتج** أي المواد الكيميائية الثلاث المستعملة في التجربة تعد الأفضل لعمل كمّادة كيميائية باردة؟

**نترات الأمونيوم $NH_4NO_3$ ؛ لأنها تُخفّض درجة حرارة الماء بقدر أكبر.**

2. **صف** استعمالا أفضل لإحدى المادتين الأخريين المستعملتين في التجربة.

**يُستخدم نترات البوتاسيوم $KNO_3$ كسماد غني بالنيتروجين، ويدخل في تركيب البارود، ويُستخدم كلوريد الكالسيوم في التجفيف نظرًا لأنه شره لامتصاص الماء.**

**استقصاء** ابحث عن تعديل يمكنك أن تعمله في خطوات العمل بحيث يزيد التغير في درجة الحرارة.

**زيادة كتلة المادة الكيميائية المُضافة إلى الماء المُقطّر.**

# 2–1 الطاقة

**الشكل 1-2**

**a** . تكون طاقة الوضع للمتزلج عالية في أعلى المسار بسبب موضعه.

**b**. تتحول طاقة الوضع للمتزلج إلى طاقة حركية.

**قارن فيم تختلف طاقة الوضع للمتزلج عند بوابة البدء عنها عند خط النهاية؟**

**طاقة الوضع للمتزلج عند بوابة البدء تكون أكبر ما يمكن، أما طاقة الوضع عند خط النهاية تكون أقل منها عند بوابة البدء.**

**ماذا قرأت؟ اذكر** نص قانون حفظ الطاقة.

**في أي تفاعل كيميائي أو عملية فيزيائية يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها لا تُستحدث ولا تفنى.**

## مسائل تدريبية

1. تحتوي حبة حلوى الفواكه والشوفان على 142 Cal من الطاقة. ما مقدار هذه الطاقة بوحدة cal؟

**باستخدام العلاقة:** $1\ \text{Cal} = 1\ \text{kcal}$

$$142\ \text{Cal} \times \frac{1000\ \text{cal}}{1\ \text{Cal}} = 1.42 \times 10^5\ \text{cal}$$

2. يطلق تفاعل طارد للطاقة 86.5 kJ من الحرارة. ما مقدار الحرارة التي أطلقت بوحدة Cal؟

**باستخدام العلاقة:** $1\ \text{kJ} = 1000\ \text{J}$

$$86.5\ \text{kJ} \times \frac{1000\ \text{J}}{1\ \text{kJ}} = 86500\ \text{J}$$

باستخدام العلاقة: $1\ J = 0.2390\ cal$

$$86500\ J \times \frac{0.2390\ cal}{1\ J} = 20.6735 \times 10^3\ cal$$

باستخدام العلاقة: $1\ Cal = 1\ kcal$

$$20.6735 \times 10^3\ cal \times \frac{1\ Cal}{1000\ cal} = 20.6735\ Cal$$

ويُمكن تجميع الخطوات الثلاث في خطوة واحدة كما يلي:

$$86.5\ kJ \times \frac{1000\ J}{1\ kJ} \times \frac{0.2390\ cal}{1\ J} \times \frac{1\ Cal}{1000\ cal} = 20.6735\ Cal$$

3. **تحفيز** عرّف وحدة طاقة جديدة، وسمّها باسمك، واجعل قيمتها عُشر سُعر. ما عوامل التحويل التي تربط هذه الوحدة الجديدة مع الجول J، ومع السُّعر الغذائي Kcal؟

باستخدام العلاقة: $1cal = 4.184J$

$$x = \frac{1}{10}\ cal = \frac{4.184}{10}\ J = 0.418J$$

باستخدام العلاقة: $1\ Cal = 1000\ cal$

$$x = \frac{1}{10}\ \text{cal} \times \frac{1\ \text{Cal}}{1000\ \text{cal}} = \frac{1}{10000}\ \text{Cal}$$

4. إذا ارتفعت درجة حرارة 34.4 g من الإيثانول من 25 °C إلى 78.8 °C، فما كمية الحرارة التي امتصها الإيثانول؟ ارجع إلى الجدول 2-2.

**الجدول 2-2** الحرارة النوعية لبعض المواد عند 298k (25°C)

| المادة | الحرارة النوعية J/g.°C |
|---|---|
| الماء (l) | 4.184 |
| الإيثانول (l) | 2.44 |
| الماء (s) | 2.03 |
| الماء (g) | 2.01 |
| البريليوم (s) | 1.825 |
| الماغنسيوم (s) | 1.023 |

| | |
|---|---|
| الألومنيوم (s) | 0.897 |
| الأسمنت (s) | 0.84 |
| الجرانيت (s) | 0.803 |
| الكالسيوم (s) | 0.647 |
| الحديد (s) | 0.449 |
| الإسترانشيوم (s) | 0.301 |
| الفضة (s) | 0.235 |
| الباريوم (s) | 0.204 |
| الرصاص (s) | 0.128 |
| الذهب (s) | 0.129 |

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

$$c = 2.44\ J/\ (g.^{\circ}C)$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 78.8\ ^{\circ}C - 25\ ^{\circ}C = 53.8\ ^{\circ}C$$

$$q = 2.44\ J/g.^{\circ}C \times 34.4\ g \times 53.8\ ^{\circ}C = 4515.7568\ J$$

**5.** سخنت عينة من مادة مجهولة كتلتها 155 g فارتفعت درجة حرارتها من 25 °C إلى 40.0 °C فامتصت 5696 J من الطاقة. ما الحرارة النوعية للمادة؟ عيّن المادة بالرجوع إلى **الجدول 2–2** .

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

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

$$\Delta T = T_f - T_i = 40.0\ ^\circ C - 25\ ^\circ C = 15\ ^\circ C$$

$$c = \frac{5696\ J}{155\ g \times 15\ ^\circ C} = 2.45\ J/\ (g.^\circ C)$$

**المادة هي: الإيثانول.**

**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؟

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

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

$$c = 0.129\ J/\ (g.°C)$$

$$\Delta T = \frac{276\ J}{4.50\ g \times 0.129 \frac{J}{g.°C}} = 475.452\ °C$$

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$T_f = \Delta T + T_i = 475.452\ °C + 25\ °C = 500.452\ °C$$

## التقويم 1-2

7. الفكرة الرئيسة وضح كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعل الطارد للطاقة والتفاعل الماصّ لها.

**في التفاعل الطارد للحرارة تتحول طاقة الوضع المخزونة بين روابط الجزيئات المتفاعلة إلى طاقة حرارية تنتج من التفاعل، أما في التفاعل الماص للحرارة فتتحول الطاقة الحرارية التي تمتصها الجزيئات إلى طاقة وضع كيميائية تختزن في الروابط بين الجزيئات الناتجة من التفاعل.**

8. ميّز بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الأمثلة التالية: مغناطيسين منفصلين؛ انهيار ثلجي، كتب موضوعة على رفوف، نهر، سباق سيارات، فصل الشحنات في بطارية.

**مغناطيسين منفصلين: عند وجود المغناطيسين على مسافة تكون طاقة الوضع كبيرة، وعندما يتجاذب المغناطيسان تتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركة وتقل طاقة الوضع.**

**انهيار ثلجي: عند نقطة البداية يكون للثلج أكبر طاقة وضع ولا يكون له طاقة حركة، وما إن يبدأ الانهيار تتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركة حتى تنتهي الحركة فتتحول إلى طاقة وضع مرة أخرى.**

**كتب موضوعة على رفوف: يكون لها طاقة وضع فقط ولا يكون لها طاقة حركة.**

**نهر: عند بداية المصب تكون هناك طاقة وضع، ثم تتحول إلى طاقة حركة أثناء سير النهر، ثُمّ تتحول إلى طاقة وضع مرة أخرى عند توقف النهر عن السير.**

**سباق سيارات: عند نقطة البداية تكون طاقة الوضع أعلى ما يمكن ثم تتحول إلى**

طاقة حركة حتى تسكن عند خط النهاية وتتحول طاقة الحركة إلى طاقة وضع مرة أخرى.

فصل الشحنات في بطارية: في البداية تكون طاقة الوضع أعلى ما يمكن ثم عند تحريك الشحنات تتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركة.

**9.** وضح علاقة الضوء والحرارة في شمعة محترقة بطاقة الوضع الكيميائية.

تتحول طاقة الوضع الكيميائية المخزونة في روابط جزئيات الجزء المُحترق من الشمعة إلى طاقة ضوئية وحرارية.

**10.** احسب كمية الحرارة الممتصة عند تسخين 50.0 g ألومنيوم من درجة حرارة 25 °C إلى درجة حرارة 95.0° C ، علمًا أن الحرارة النوعية للألومنيوم 0.897 J /g °C.

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

$$\Delta T = T_f - T_i = 95.0\ ^\circ C - 25\ ^\circ C = 70\ ^\circ C$$

$$q = 0.897\ J/(g.^\circ C) \times 50.0\ g \times 70\ ^\circ C = 3139.5\ J = 3.1395\ kJ$$

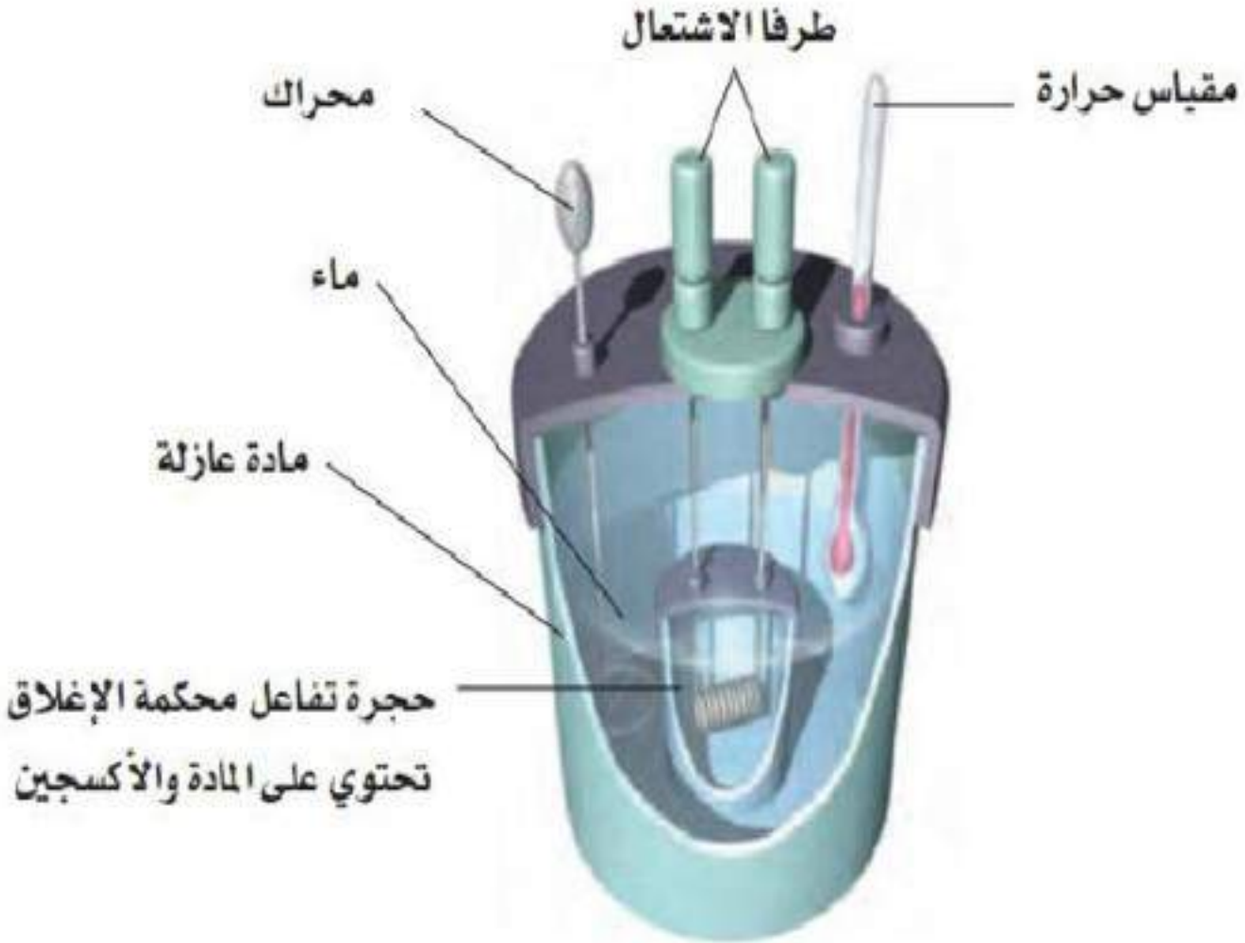
**11. تفسير البيانات** وضعت كتل متساوية من الألومنيوم والذهب والحديد والفضة تحت أشعة الشمس في الوقت نفسه ولفترة زمنية محددة. استعمل **الجدول 2-2** لترتيب الفلزات الأربعة وفق ازدياد درجات حرارتها من الأعلى إلى الأقل.

**ترتيب الفلزات وفق ازدياد درجات حرارتها من الأعلى للأقل هو:**

**الذهب ـ الفضة ـ الحديد ـ الألومنيوم.**

## 2-2 الحرارة

**الشكل 2-4** وضعت عينة في حجرة فولاذية داخلية تسمى القنبلة، مملوءة بالأكسجين المضغوط ضغطًا عاليًا، وحول القنبلة كمية معلومة من الماء تحرك بمحراك قليل الاحتكاك للمحافظة على درجة حرارة منتظمة. بدأ التفاعل بشرارة، وسجلت درجة الحرارة حتى وصلت إلى أقصاها.



مسعر التفجير (القنبلة)

**استنتج لماذا يعد من المهم ألا ينتج المحراك احتكاكاً؟**

**لأن الاحتكاك يُولّد حرارة يُمكن ان يمتصّها الماء فيؤثر في دقة قياس كمية الحرارة.**

**ماذا قرأت؟ حدد** المتغيرات الأربعة في المعادلة أعلاه.

**المتغيرات الأربعة هي: q، m، ΔT، c.**

**q: الطاقة الحرارية المُنطلقة أو المُمتصة (J).**

**m: كتلة المادة (g).**

**ΔT: التغير في درجة الحرارة (°C)**

**c: الحرارة النوعية.**

## مسائل تدريبية

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

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

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

$$c = \frac{25.6\ J}{90.0\ g \times 1.18\ ℃} = 0.241\ J/\ (g.°C)$$

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

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

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

$$\Delta T = T_f - T_i = 46.6\ ^\circ C - 20.0\ ^\circ C = 26.6\ ^\circ C$$

$$c = 4.184\ J/\ (g.^\circ C)$$

$$m = \frac{5650\ J}{4.184 \frac{J}{g.^\circ C} \times 26.6\ ^\circ C} = 50.77\ g.$$

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

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

$$\Delta T = T_f - T_i = 29.0\ ^\circ C - 10.0\ ^\circ C = 19.0\ ^\circ C$$

$$q = 0.803\ J/\ (g.^\circ C) \times 2.00 \times 10^3\ g \times 19.0\ ^\circ C = 30514\ J$$

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

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

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

$$c = 4.184\ J/\ (g.°C)$$

$$\Delta T = \frac{9750\ J}{335\ g \times 4.184\ \frac{J}{g.°C}} = 6.96\ °C$$

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$T_f = \Delta T + T_i = 6.96\ °C + 65.5\ °C = 72.46\ °C$$

## تحديد الحرارة النوعية

## التحليل

1. **احسب** كمية الحرارة التي اكتسبها الماء، علمًا بأن الحرارة النوعية للماء $4.184\ J/(g.°C)$. ولأن كثافة الماء تساوي $1.0\ g/mL$، استخدم حجم الماء على أنه الكتلة.

**يتم حساب كمية الحرارة من العلاقة:** $q = c \times m \times \Delta T$

2. **احسب** الحرارة النوعية للفلز. افترض أن الحرارة التي امتصها الماء تساوي الحرارة التي فقدها الفلز.

**يتم حساب الحرارة النوعية للفلز من العلاقة:** $c = \frac{q}{m \times \Delta T}$

3. **قارن** القيمة التي حصلت عليها في التجربة بالقيمة المقبولة للفلز. **متروك للطالب.**

4. **صف** مصادر الخطأ الرئيسة في هذه التجربة. ما التحسينات التي يمكن أن تعملها في هذه التجربة لتقليل الخطأ؟

**بعض مصادر الخطأ:**

- **عدم الدقة في قياس كتل الماء والفلز.**
- **عدم الدقة في قياس درجات الحرارة.**
- **التعجُّل في قياس درجة الحرارة النهائية.**
- **الخطأ فى إجراء العمليات الحسابية.**

## تحسينات يُمكن إجراؤها لتقليل الخطأ:

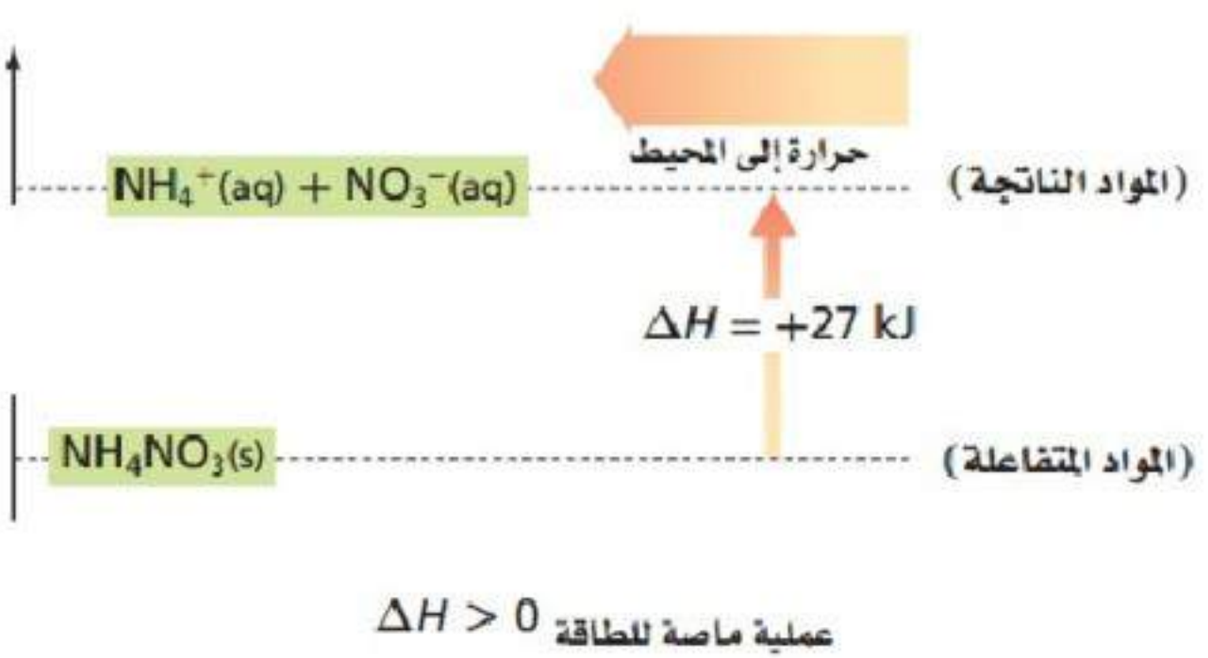
- تحري الدقة في قياس الكُتل، والحجوم، ودرجات الحرارة.
- الانتظار مدة كافية حتى تصل درجة الحرارة النهائية إلى أقصى قيمة.
- تحري الدقة في إجراء العمليات الحسابية.

**الشكل 7-2** يشير السهم المتجه إلى أسفل إلى أن 1625 J من الحرارة انطلقت إلى المحيط، في التفاعل بين الحديد والأكسجين لتكوين $Fe_2O_3$. يمكن استخدام كمّادة ساخنة من هذا النوع لتدفئة الأيدي الباردة.

**اشرح** كيف يبين المخطط أن التفاعل طارد للحرارة.

**لأن المقياس المدرج يشير إلى أن طاقة المتفاعلات أكبر من طاقة النواتج.**

**الشكل 8-2** يبين السهم الذي يشير إلى أعلى أن 27 kJ من الحرارة قد تم امتصاصها من المحيط في أثناء عملية إذابة $NH_4NO_3$. يعد هذا التفاعل الأساس في صناعة الكمّادة الباردة؛ فعند وضع الكمّادة على كاحل الشخص يزود الكاحل الكمادة بالحرارة و يبرد هو بدوره.




**حدد ما مقدار الطاقة التي تمتصها نترات الأمونيوم عند استعمال الكمّادة الباردة؟**

**مقدار الطاقة التي تمتصها نترات الأمونيوم = 27 kJ**

# التقويم 2-2

16. الفكرة الرئيسة صف كيف تحسب كمية الحرارة المكتسبة أو المنطلقة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها؟

**١٦. تُحسب كمية الحرارة المكتسبة أو المنطلقة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها بتطبيق العلاقة التالية: $q = c \times m \times \Delta T$**

**حيث:**

**q: الطاقة الحرارية المُنطلقة أو المُمتصة (J).**

**c: الحرارة النوعية للمادة (J/ (g.°C).**

**m: كتلة المادة (g).**

**ΔT: التغير في درجة الحرارة (°C)**

$$\Delta T = T_f - T_i$$

**$T_f$: درجة الحرارة النهائية (°C)**

**$T_i$: درجة الحرارة الابتدائية (°C)**

17. اشرح لماذا تكون إشارة $\Delta H_{rxn}$ سالبة للتفاعل الطارد للحرارة؟

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

**في حالة التفاعل الطارد للحرارة تُفقد حرارة ويكون: $H_{reactants} > H_{products}$**
**لذا تكون إشارة $\Delta H$ سالبة.**

18. اشرح لماذا يشكل الحجم المعلوم من الماء جزءًا مهمًا من المسعر؟

**١٨. لكي يمتص الماء الطاقة المنطلقة من التفاعل أو ليزود الطاقة التي يمتصها التفاعل، ومن ثمّ يمكننا قياس التغير في درجة حرارة كتلة الماء.**

19. اشرح لماذا يجب أن تعرف الحرارة النوعية للمادة حتى تحسب الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة؟

**١٩. لأن حساب الحرارة المُكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة تعتمد على قيمة الحرارة النوعية للمادة، كما تُوضحها العلاقة التالية:**

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

**حيث:**

**q: الطاقة الحرارية المُنطلقة أو المُمتصة (J).**

**c: الحرارة النوعية للمادة (J/ (g.°C).**

**m: كتلة المادة (g).**

**$\Delta T$: التغير في درجة الحرارة (°C)**

$$\Delta T = T_f - T_i$$

**$T_f$: درجة الحرارة النهائية (°C)**

**$T_i$: درجة الحرارة الابتدائية (°C)**

**وكل من m و $\Delta T$ كميات يُمكن قياسها معمليًا.**

**20.** صف معنى النظام في الديناميكا الحرارية، واشرح العلاقة بين النظام والمحيط والكون.

**النظام: هو جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية التي نريد دراستها.**

**العلاقة بين النظام والمحيط والكون: كل شيء في الكون غير النظام يُسمى المحيط،**

**لذلك يُعرّف الكون بأنه النظام مع المحيط.**

**الكون = النظام + المحيط**

**21.** احسب الحرارة النوعية $J/(g.^\circ C)$ لمادة مجهولة؛ إذ تطلق عينة كتلتها 2.50 g منها 12.0 cal عندما تتغير درجة حرارتها من 25°C إلى 20.0°C (استعن بالجدول **1 – 2** صفحة 56).

**نحول أولًا وحدة q من Cal إلى J.**

**باستخدام العلاقة:** $1\ Cal = 1\ kcal$

$$12.0\ Cal \times \frac{1000\ cal}{1\ Cal} = 12.0 \times 10^3\ cal$$

**باستخدام العلاقة:** $1\ cal = 4.184\ J$

$$12.0 \times 10^3\ cal \times \frac{4.184\ J}{1\ cal} = 50208\ J$$

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

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

$$\Delta T = T_f - T_i = 20.0\ ^\circ C - 25\ ^\circ C = -5\ ^\circ C$$

$$c = \frac{50208\ J}{2.50\ g \times 5\ ^\circ C} = 4.01664 \times 10^3\ J/\ (g.^\circ C)$$

22. صمّم تجربة صِف خطوات العمل التي يمكنك أن تتبعها لإيجاد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 45.0 g .

**يُمكن استخدام الكأس المصنوعة من البوليسترين بوصفها مسعرًا لتحديد الحرارة النوعية للفلز.**

**خطوات العمل:**

١. **اسكب 150 mL تقريبًا من الماء المقطر في كأس زجاجية سعتها 250 mL. ثم ضع الكأس على السخان الكهربائي.**

٢. **أمسك قطعة الفلز بحذر بالملقط. وضعها في الكأس التي على السخان الكهربائي.**

٣. **قس 90.0 mL من الماء المقطر بالمخبار المدرج.**

٤. اسكب الماء في كأس بوليسترين موضوعة داخل كأس زجاجية ثانية سعتها 250 mL.
٥. قس درجة حرارة الماء بمقياس غير زئبقي.
٦. عندما يبدأ الماء الموجود في الكأس التي على السخان الكهربائي في الغليان قس درجة الحرارة وسجلها على أنها درجة الحرارة الأولية للفلز.
٧. أمسك قطعة الفلز الساخنة بالملقط بحذر. وضعها في الماء البارد الموجود في كأس البوليسترين. لا تلمس الفلز الساخن بيدك.
٨. حرك الماء في الكاس، وقس أعلى درجة حرارة يصل إليها بعد إضافة الفلز.
٩. بفرض أنه لم تُفقد حرارة إلى المحيط فإن الحرارة التي يكتسبها الماء = الحرارة التي يفقدها الفلز.

$$q_{metal} = q_{water}$$

ويمكن حساب كمية الحرارة التي يكتسبها الماء من العلاقة: $q_{water} = c \times m \times \Delta T$

حيث:

$q_{water}$: كمية الحرارة التي يكتسبها الماء (J)

c: الحرارة النوعية للماء = 4.184 J/(g.°C)

m: كتلة الماء في كأس البوليسترين = 90 g؛ لأن كثافة الماء = 1 g/mL

ΔT: التغير في درجة الحرارة، $\Delta T = T_f - T_i$

بعد حساب $q_{water}$ نُساوي قيمتها بـ $q_{metal}$. ثم نحسب الحرارة النوعية للفلز مر

العلاقة: $c = \frac{q_{metal}}{m \times \Delta T}$

حيث:

$q_{metal}$: كمية الحرارة التي يفقدها (J)

m: كتلة الفلز = 45.0 g

ΔT: التغير في درجة الحرارة، $\Delta T = T_f - T_i$

## 2—3 المعادلات الكيميائية الحرارية

**ماذا قرأت؟** **صنف** عمليات كل من التكثّف، والتجمّد، والتبخّر، والانصهار، إلى طاردة للحرارة أو ماصّة لها.

**كل من عمليتي التكثف والتجمد طاردة للحرارة، في حين أن عمليتي التبخر والانصهار ماصة للحرارة.**

## مختبر حل المشكلات

### التحليل

استعمل بيانات الجدول لرسم منحنى التسخين لعينة من الماء كتلتها 180 g عند تسخينها بمعدل ثابت من 20°C– إلى 120°C. ثم سجل الوقت الذي يحتاج إليه الماء ليمر في كل قطاع من الرسم البياني.

| بيانات الزمن ودرجة حرارة الماء | | | |
|---|---|---|---|
| الزمن<br>min | درجة الحرارة<br>°C | الزمن<br>min | درجة الحرارة<br>°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 | 120 |

**ينقسم الرسم البياني إلى خمسة أجزاء، وفيما يلي توضيح للزمن المُستغرق في كل جزء:**

**الجزء الأول: تزداد درجة الحرارة من 20- °C إلى 0 °C خلال دقيقة واحدة.**

**الجزء الثاني: تثبت درجة الحرارة عند 0 °C لمدة دقيقة واحدة.**

**الجزء الثالث: تزداد درجة الحرارة من 0 °C إلى 100 °C خلال ٩ دقائق.**

**الجزء الرابع: تثبت درجة الحرارة عند 100 °C لمدة ١٣ دقيقة.**

**الجزء الخامس: تزداد درجة الحرارة من 100 °C إلى 120 °C خلال دقيقة واحدة.**

## التفكير الناقد

1. **حلل** كلًّا من الأجزاء الخمسة من الرسم. والتي تتميز بتغير حاد في ميل المنحنى. وبين كيف يغير امتصاص الحرارة من طاقة الوضع وطاقة الحركة لجزيئات الماء.

**الجزء الأول: خلال الدقيقة الأولى تزداد درجة الحرارة من 20- °C إلى 0 °C، فتقل طاقة الوضع وتزيد طاقة الحركة.**

**الجزء الثاني: من الدقيقة الأولى إلى الدقيقة الثانية تثبت درجة الحرارة عند 0°C. خلال هذه الفترة يحدث تحول لجزء آخر من طاقة الوضع إلى طاقة حركة.**

**الجزء الثالث: من الدقيقة الثانية إلى الدقيقة الحادية عشر تزيد درجة الحرارة بشكل كبير من 0 °C إلى 100 °C، وهنا تزيد طاقة الحركة بشكل كبير وتقل طاقة الوضع.**

**الجزء الرابع: من الدقيقة الحادية عشر إلى الدقيقة الرابعة والعشرون تثبت درجة الحرارة عند 100 °C. أيضًا خلال هذه الفترة تزيد طاقة الحركة وتقل طاقة الوضع بشكل تدريجي.**

**الجزء الخامس: من الدقيقة الرابعة والعشرون إلى الدقيقة الخامسة والعشرون تزيد درجة الحرارة من 100 °C إلى 120 °C. تقل طاقة الوضع أكثر وتزيد طاقة الحركة حتى تصل إلى أقصى قيمة عند نهاية الدقيقة الخامسة والعشرون مقارنة بالأجزاء الأخرى.**

2. **احسب** كمية الحرارة اللازمة لكل منطقة من الرسم.

$180\ \text{g}\ H_2O = 10\ \text{mol}\ H_2O, \Delta H_{fus} = 6.01\ \text{kJ/mol},$

$\Delta H_{vap} = 40.7\ kJ/mol$, $C_{H_2O(s)}=2.03\ J/g\cdot°C$,
$C_{H_2O(\ell)} = 4.184\ J/g\cdot°C$, $C_{H_2O(g)} = 2.01\ J/g\cdot°C$

ما علاقة الزمن اللازم في كل منطقة في الرسم بكمية الحرارة الممتصة؟

**الجزء الأول:**

$$q = c_{H_2O(s)} \times m \times \Delta T$$

$$c_{H_2O(s)} = 2.03\ J/\ (g.°C)$$

$$m = 180\ g$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 0\ °C - (-20\ °C) = 20\ °C$$

$$q = 2.03\ J/\ (g.°C) \times 180\ g \times 20\ °C = 7.308 \times 10^3\ J$$

**الجزء الثاني:**

**كمية الحرارة المُمتصة في هذه المرحلة تُستهلك في عملية الانصهار.**

$q =$ عدد المولات $\times\ \Delta H_{fus}$

$$= 10 \text{ mol} \times 6.01 \text{ kJ/mol}$$

$$= 60.1 \text{ kJ}$$

$$= 60.1 \times 10^3 \text{ J}$$

**الجزء الثالث:**

$$q = c_{H_2O(l)} \times m \times \Delta T$$

$$c_{H_2O(l)} = 4.184 \text{ J/ (g.°C)}$$

$$m = 180 \text{ g}$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 100 \text{ °C} - 0 \text{ °C} = 100 \text{ °C}$$

$$q = 4.184 \text{ J/ (g.°C)} \times 180 \text{ g} \times 100 \text{ °C} = 75.312 \times 10^3 \text{ J}$$

**الجزء الرابع:**

**كمية الحرارة المُمتصة في هذه المرحلة تُستهلك في عملية التبخر.**

$$q = \text{عدد المولات} \times \Delta H_{vap}$$

$$= 10 \text{ mol} \times 40.7 \text{ kJ/mol}$$

$$= 407 \text{ kJ}$$

**الجزء الخامس:**

$$q = c_{H_2O(g)} \times m \times \Delta T$$

$$c_{H_2O(g)} = 2.01\ J/\ (g.^\circ C)$$

$$m = 180\ g$$

$$\Delta T = T_f - T_i = 120\ ^\circ C - 100\ ^\circ C = 20\ ^\circ C$$

$$q = 2.01\ J/\ (g.^\circ C) \times 180\ g \times 20\ ^\circ C = 7.236 \times 10^3\ J$$

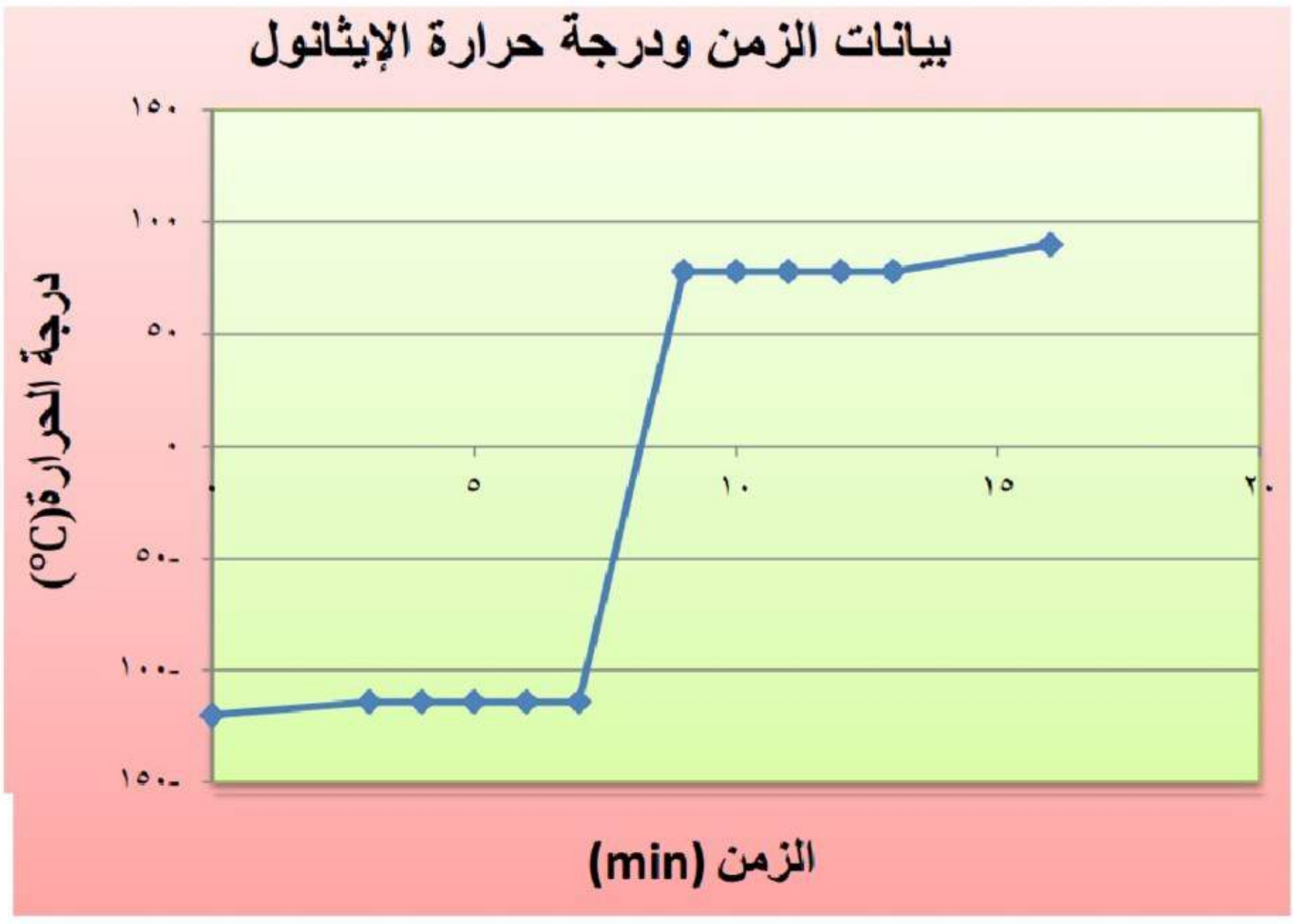
نلاحظ أن الأزمنة التي يتم فيها امتصاص الحرارة في كل من الأجزاء الأول والثاني والخامس متساوية. وعلى الرغم من ذلك فإن كميات الحرارة المُمتصّة غير مُتساوية.

بالنسبة للجزء الثالث فإن الزمن المُستغرق و كمية الحرارة المُمتصة خلاله أكبر من الزمن المُستغرق وكمية الحرارة المُمتصة خلال الأجزاء الأول والثاني والخامس وأقل من تلك في الجزء الرابع.

في الجزء الرابع يحدث امتصاص لأكبر كمية من الحرارة في أطول زمن مقارنة بالأجزاء الأخرى.

3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى التسخين للإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند 114 °C– ويغلي عند 78 °C. ارسم منحنى تسخين الإيثانول في مدى درجات الحرارة من 120 °C– إلى 90 °C. ما العوامل التي تحدد طول الأجزاء التي تثبت فيها درجة الحرارة (الخطوط الأفقية)، وميل المنحنى بين الأجزاء التي تتغير فيها درجة الحرارة؟

**ينتُج منحنى مُشابه لمُنحنى تسخين الماء. ويتحكم في طول الأجزاء التي تثبت فيها درجات الحرارة، وميل المنحنى بين الأجزاء التي تتغير فيها درجات الحرارة الفترة الزمنية المُستغرقة لإتمام العملية في كل مرحلة.**


بيانات الزمن ودرجة حرارة الإيثانول
درجة الحرارة (°C)
١٥٠
١٠٠
٥٠
٠
٥٠-
١٠٠-
١٥٠-
٠
٥
١٠
١٥
٢٠
الزمن (min)

**23.** احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7g من الميثانول الصلب عند درجة انصهاره. استعن بالجدول 4-2 .

$q$ = عدد المولات × $\Delta H_{fus}$

من الجدول (٤- ٢) نجد أن: $\Delta H_{fus} = 3.22\ kJ/mol$

$$\text{عدد المولات (mol)} = \text{الكتلة (g)} \times \frac{1\ mol}{\text{الكتلة المولية (g)}}$$

الكتلة المولية لـ $CH_3OH$ =

$$(12.011\ g/mol) + (4 \times 1.008\ g/mol) + (15.999\ g/mol)$$

$$32.042\ g/mol =$$

$$\text{عدد مولات } CH_3OH = 25.7\ g \times \frac{1\ mol}{32.042\ g} = 0.802\ mol$$

$q$ = عدد المولات × $\Delta H_{fus}$

$$= 0.802\ mol \times 3.22\ kJ/mol$$

$$= 2.583\ kJ$$

**24.** ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثّف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن استعن بالجدول 4–2 لتحديد $\Delta H_{cond}$

**q = عدد المولات × $\Delta H_{cond}$**

**من الجدول (٤- ٢) نجد أن: $\Delta H_{cond} = -23.3\ kJ/mol$**

$$\text{عدد المولات (mol)} = \text{الكتلة (g)} \times \frac{1\ mol}{\text{الكتلة المولية (g)}}$$

**الكتلة المولية لـ $NH_3 = (3 \times 1.008\ g/mol) + (14.007\ g/mol)$**

**$= 17.031\ g/mol$**

$$\text{عدد مولات } NH_3 = 275\ g \times \frac{1\ mol}{17.031\ g} = 16.147\ mol$$

**q = عدد المولات × $\Delta H_{cond}$**

**$= 16.147\ mol \times 23.3\ kJ/mol$**

**$= 376.226\ kJ$**

**25. تحفيز.** ما كتلة الميثان $CH_4$ التي يجب احتراقها لإطلاق 12880 kJ من الحرارة؟ استعن بالجدول 3-2

$$q = \text{عدد المولات} \times \Delta H_{comb}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{q}{\Delta H_{comb}}$$

من الجدول (٣- ٢) نجد أن: $\Delta H_{comb} = -891\ kJ/mol$

$$\text{عدد مولات } CH_4 = \frac{12.880\ kJ}{891 \frac{kJ}{mol}} = 0.0145\ mol$$

$$\text{الكتلة (g)} = \text{عدد المولات} \times \text{الكتلة المولية } g/mol$$

$$\text{الكتلة المولية لـ } CH_4 = (12.011\ g/mol) + (4 \times 1.008\ g/mol)$$

$$= 16.043\ g/mol$$

$$\text{كتلة } CH_4 = 0.0145\ mol \times 16.043\ g/mol$$

$$= 0.232\ g$$

## التقويم 3-2

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

$$C_2H_5OH_{(l)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -1367 kJ/\ mol$$

**27. حدد** أي العمليات الآتية طاردة للحرارة، وأيها ماصّة لها؟

**a.** $C_2H_5OH_{(l)} \rightarrow C_2H_5OH_{(g)}$

**b.** $Br_{2(l)} \rightarrow Br_{2(s)}$

**c.** $C_5H_{12(g)} + 8O_{2(g)} \rightarrow 5CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$

**a.** عملية ماصة للحرارة.

**b.** عملية طاردة للحرارة.

**c.** عملية طاردة للحرارة.

**28. اشرح** كيف يمكنك حساب الحرارة المنطلقة عند تجمد 0.25 mol ماء.

---

**لدينا عدد مولات الماء = 0.25 mol، ومن الجدول (٤- ٢) نجد أن:**

$$\Delta H_{solid} = -6.01\ kJ/\ mol$$

**ومن العلاقة: q = عدد المولات × $\Delta H_{solid}$، يمكن إيجاد الحرارة المنطلقة عند التجمد.**

$$q = 0.25\ mol \times 6.01\ kJ/\ mol = 1.5025\ kJ$$

**29. احسب** كمية الحرارة المنطلقة عند احتراق 206 g من غاز الهيدروجين؟

$$\Delta H_{comb} = -286\ kJ/mol$$

$$q = \text{عدد المولات} \times \Delta H_{comb}$$

$$\text{عدد المولات (mol)} = \text{الكتلة (g)} \times \frac{1\ mol}{\text{الكتلة المولية (g)}}$$

$$\text{الكتلة المولية لـ } H_2 = (2 \times 1.008\ g/mol)$$

$$= 2.016\ g/mol$$

عدد مولات $H_2$ = 206 g × $\frac{1\ mol}{2.016\ g}$ = 102.183 mol

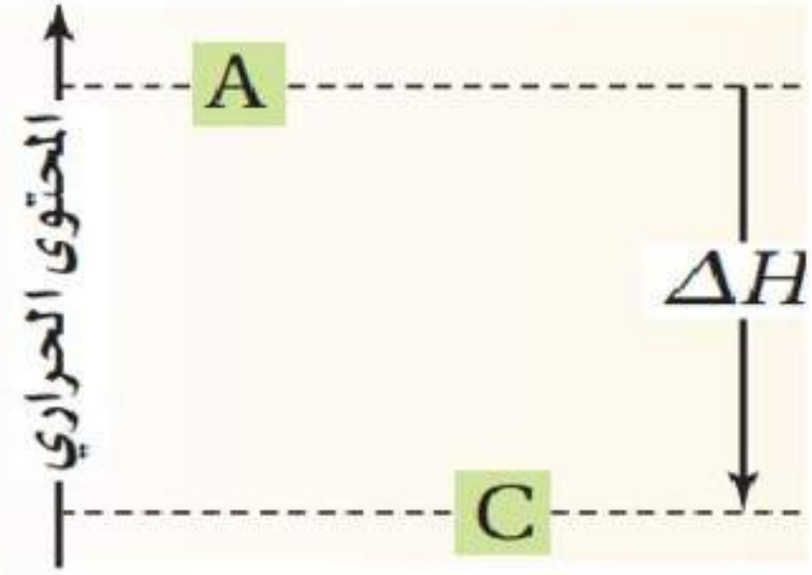
286 kJ/mol × 102.183 mol = q

= 29224.338 kJ

30. **طبّـق** إذا كانت حرارة التبخُّر المولارية للأمونيا هي 23.3 kJ /mol فما مقدار حرارة التكثّف المولارية للأمونيا؟

$\triangle H_{cond}$ = -23.3 kJ /mol

31. **تفسير الرسوم العلمية** يبين الرسم المجاور المحتوى الحراري للتفاعل $A \rightarrow C$. هل التفاعل طارد أم ماصّ للحرارة؟ فسر إجابتك.

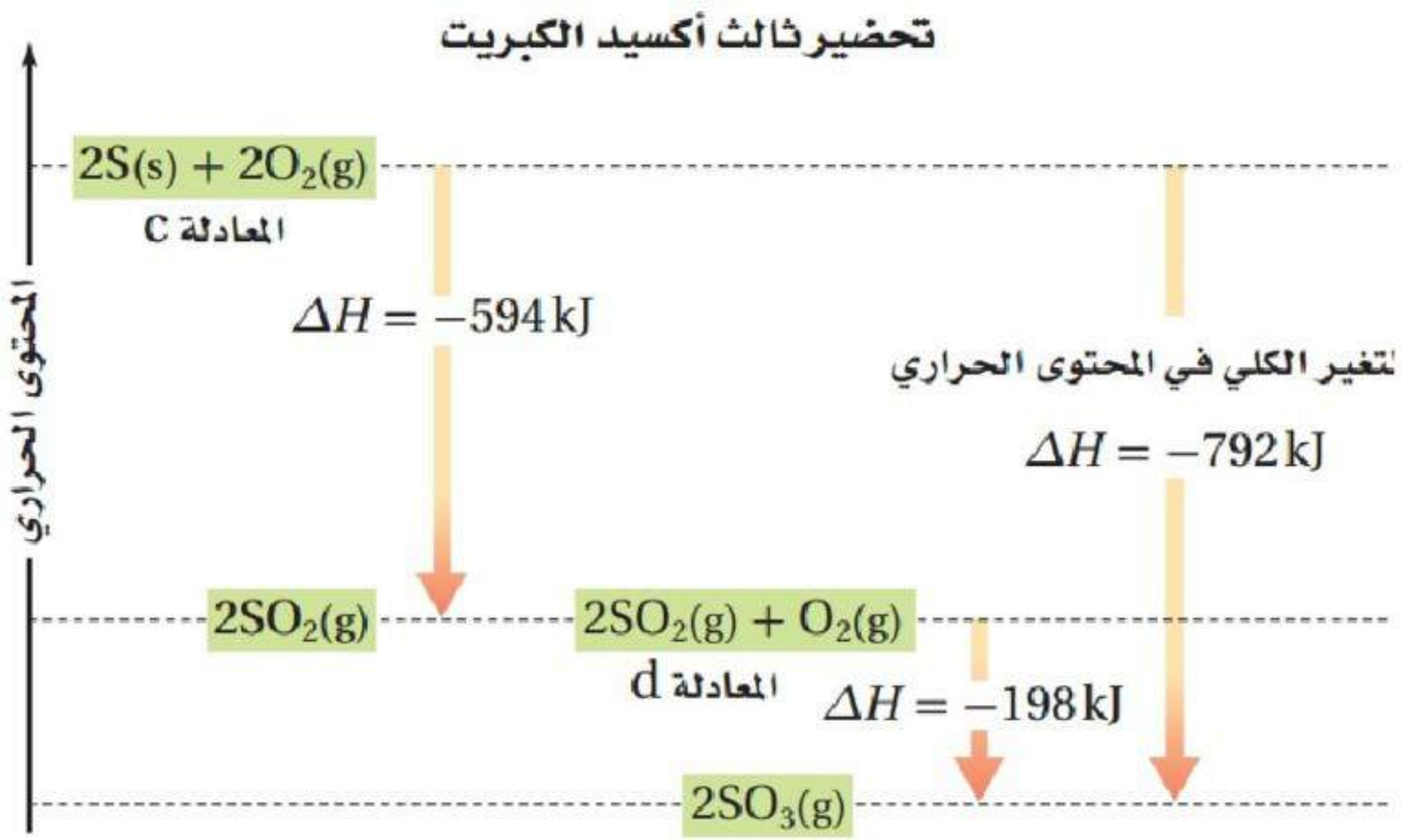



٣١. التفاعل طارد للحرارة؛ حيث يُشير السهم المتجه لأسفل (من المتفاعلات إلى النواتج) إلى أن هناك حرارة انطلقت إلى المُحيط. أي أن طاقة النواتج أقل من طاقة المتفاعلات.

## 2–4 حساب التغير في المحتوى الحراري

**الشكل 12-2** يدل السهم الموجود عن اليسار على إطلاق 594 kJ عند اتحاد S و $O_2$ لتكوين $SO_2$ (المعادلة c). ثم يتحد $SO_2$ مع $O_2$ لتكوين $SO_3$ (المعادلة d) عند إطلاق 198 kJ (السهم الأوسط). إن التغير الكلي في الحرارة (مجموع العمليتين) يمثله السهم الأيمن.

**أوجد التغير في المحتوى الحراري لتحلّل $SO_3$ إلى S و $O_2$.**




**التغير في المحتوى الحراري لتحلل $SO_3$ إلى S و $O_2$ = 792 kJ (تفاعل ماص للحرارة)**

**ماذا قرأت؟ قارن** بين المعادلة أعلاه والمعادلة الكيميائية الحرارية للمواد نفسها على الصفحة السابقة.

تم قسمة معاملات المعادلة $(2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)})$ على ٢ للحصول على المعادلة: $(S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)})$، وهي معادلة تكوين ١ مول من $SO_3$ أما المعادلة السابقة فهي لتكوين ٢ مول من $SO_3$ لذلك فإن قيمة $\Delta H$ للمعادلة السابقة هي ضعف قيمتها للمعادلة أعلاه.

## مسائل تدريبية

**32.** استعمل المعادلتين a و b لإيجاد $\Delta H$ للتفاعل الآتي:

$2CO_{(g)} + 2NO_{(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + N_{2(g)}$ $\quad \Delta H = ?$

a. $2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)}$ $\quad \Delta H = -566.0\ kJ$

b. $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)}$ $\quad \Delta H = -180.6\ kJ$

NO مادة متفاعلة، اعكس المعادلة b وغير إشارة ΔH.

c. $2NO_{(g)} \rightarrow N_{2(g)} + O_{2(g)}$ $\Delta H = 180.6\ kJ$

اجمع المعادلة a مع المعادلة c.

a. $2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)}$ $\Delta H = -566.0\ kJ$

c. $2NO_{(g)} \rightarrow N_{2(g)} + O_{2(g)}$ $\Delta H = 180.6\ kJ$

---

$2CO_{(g)} + 2NO_{(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + N_{2(g)}$ $\Delta H = -385.4$

مجموع المعادلتين a و d يُعطي معادلة التفاعل، وكذلك فإن مجموع محتواهما الحراري يُعطي المحتوى الحراري لمعادلة التفاعل.

$\Delta H = -566.0\ kJ + 180.6\ kJ = -385.4\ kJ$

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

$4Al_{(s)} + 3MnO_{2(s)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} + 3Mn_{(s)}$ $\Delta H = -1789\ kJ$

a. $4Al_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)}$ $\Delta H = -3352\ kJ$

b. $Mn_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow MnO_{2(s)}$ $\Delta H = ?$

$MnO_2$ مادة متفاعلة، اعكس المعادلة b. وافرض أن ($\Delta H = x$) واعكس إشارتها.

c. $MnO_{2(s)} \rightarrow Mn_{(s)} + O_{2(g)}$ $\quad \Delta H = -x$

بضرب المعادلة c في 3.

d. $3MnO_{2(s)} \rightarrow 3Mn_{(s)} + 3O_{2(g)}$ $\quad \Delta H = -3x$

اجمع المعادلة a مع المعادلة d.

a. $4Al_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)}$ $\quad \Delta H = -3352\ kJ$

d. $3MnO_{2(s)} \rightarrow 3Mn_{(s)} + 3O_{2(g)}$ $\quad \Delta H = -3x$

---

$$4Al_{(s)} + 3MnO_{2(s)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} + 3Mn_{(s)}$$

مجموع المعادلتين a و d يُعطي معادلة التفاعل، وكذلك فإن مجموع محتواهما الحراري يُعطي المحتوى الحراري لمعادلة التفاعل.

$\Delta H$ لمعادلة التفاعل = -1789 kJ

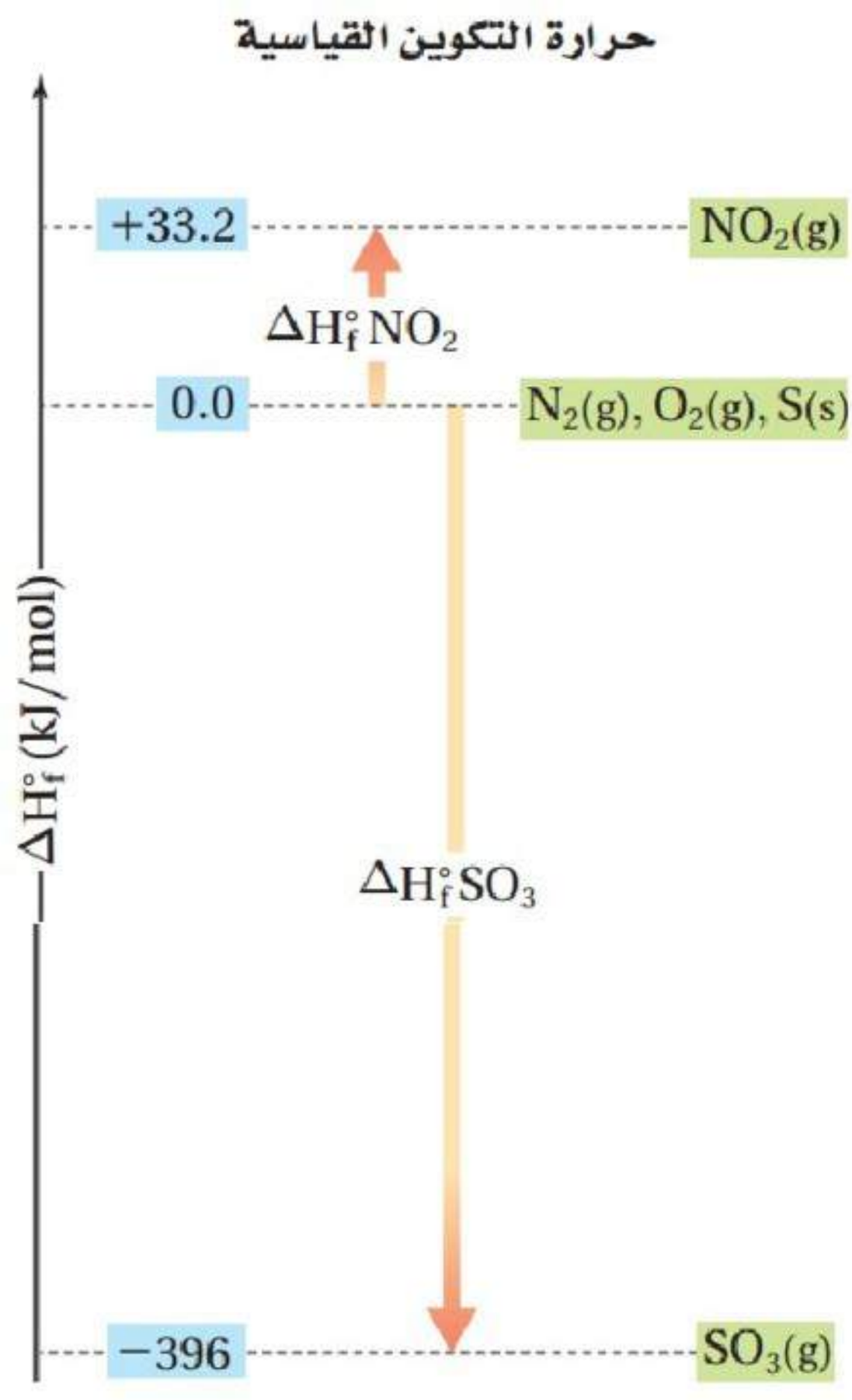
$$-3352\ kJ - 3x = -1789\ kJ$$

$$-3x = -1789\ kJ + 3352\ kJ$$

$$-3x = 1563\ kJ$$

$$x = -521\ kJ$$

$\Delta H$ للمعادلة $b = -521\ kJ$




**الشـــكـل 2-14** $\Delta H_f^\circ$ للعناصـر $N_2$ و $O_2$ و $S$ تسـاوي (0.0 kJ). عندمـا يتفاعـل $N_2$ مع $O_2$ لتكوين مـول واحـد مـن $NO_2$ يتـم امتصاص 33.2kJ مـن الطاقة.

لـذا فـإن $\Delta H_f^\circ$ لـ $NO_2$ تسـاوي 33.2 kJ/mol.

أمـا عنـد تفاعل S مع $O_2$ لتكوين مـول واحد من $SO_3$ فينطلـق 396 kJ من الطاقة. لذا فـإن $\Delta H_f^\circ$ لـ $SO_3$ تساوي −369 kJ/mol.

**توقع صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه.**

$$H_{2(g)}+\frac{1}{2}O_{2(g)}\rightarrow H_2O_{(l)}$$

$$\Delta H_f^\circ = -286\ kJ/mol$$

**موقع الماء أسفل 0.0KJ وعلى بعد تقريبا ثلاثة أرباع المسافة من 0.0KJ إلى -396KJ.**

## مسائل تدريبية

**34.** بين كيف أن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلًّا من التفاعلات الآتية، دون البحث عن قيم $\Delta H$ واستعمالها في الحل.

**.a** $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ **.b** $SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$

**.a** $\mathbf{2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}}$

**.a** $\mathbf{\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)}}$ $\mathbf{\Delta H = \Delta H^{\circ}_f\, NO}$

**.b** $\mathbf{\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)}}$ $\mathbf{\Delta H = \Delta H^{\circ}_f\, NO_2}$

**NO هي مادة متفاعلة لذا نعكس التفاعل a، ونُغيّر إشارة ΔH.**

**.c** $\mathbf{NO_{(g)} \rightarrow \frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)}}$ $\mathbf{\Delta H = -\Delta H^{\circ}_f\, NO}$

**نحتاج إلى 2 mol من كل من NO و $NO_2$ لذا نضرب المعادلتين b و c في 2.**

**.d** $\mathbf{N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}}$ $\mathbf{\Delta H = 2\Delta H^{\circ}_f\, NO_2}$

**.e** $\mathbf{2NO_{(g)} \rightarrow N_{2(g)} + O_{2(g)}}$ $\mathbf{\Delta H = -2\,\Delta H^{\circ}_f\, NO}$

بجمع المعادلتين d وe.

---

$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ $\quad \Delta H_{rxn} = 2\Delta H^\circ_f NO_2 - 2\Delta H^\circ_f NO$

$SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$ **.b**

$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)}$ **.a** $\quad \Delta H = \Delta H^\circ_f SO_3$

$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$ **.b** $\quad \Delta H = \Delta H^\circ_f H_2O$

$H_{2(g)} + S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$ **.c** $\quad \Delta H = \Delta H^\circ_f H_2SO_4$

$SO_3$ و$H_2O$ متفاعلات، لذا نعكس المعادلتين a وb ونُغيّر إشارة $\Delta H$.

$SO_{3(g)} \rightarrow S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)}$ **.d** $\quad \Delta H = - \Delta H^\circ_f SO_3$

---

$H_2O_{(l)} \rightarrow H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)}$ **.e** $\quad \Delta H = - \Delta H^\circ_f H_2O$

بجمع المعادلات c وd وe.

$$SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$$

$$\Delta H = \Delta H^\circ_f\, H_2SO_4 - \Delta H^\circ_f\, SO_3 - \Delta H^\circ_f\, H_2O$$

**35.** مستعينًا بجدول قيم حرارة التكوين القياسية في صفحة (215)، احسب $\Delta H^\circ_{rxn}$ للتفاعل الآتي.

$$4NH_{3(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$$

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

$$= [4\Delta H^\circ_f\, NO_2 + 6\Delta H^\circ_f\, H_2O] - [4\Delta H^\circ_f\, NH_3 + 7\Delta H^\circ_f\, O_2]$$

$$= [4(33.2\ kJ/mol) + 6(-285.8kJ/mol] - [4(-45.9kJ/mol) + 7(0kJ/mol)]$$

$$= -1.3984 \times 10^3\ kJ/mol$$

**36.** أوجد $\Delta H^\circ_{comb}$ لحمض البيوتانويك، $C_3H_7COOH_{(l)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$

مستعينًا بجدول قيم حرارة التكوين والمعادلة الكيميائية أدناه:

$$4C_{(s)} + 4H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow C_3H_7COOH_{(l)} \quad \Delta H = -534\ kJ$$

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

$$= [4\Delta H^\circ_f CO_{2(g)} + 4\Delta H^\circ_f H_2O_{(l)}] - [\Delta H^\circ_f C_3H_7COOH_{(l)} + 5\Delta H^\circ_f O_2]$$

$$= [4(-393.5\ kJ/mol) + 4(-285.8kJ/mol] - [\ -534kJ/mol) + 5(0kJ/mol)]$$

$$= -2.1832 \times 10^3 KJ/mol$$

**37. تحفيز** بدمج معادلتي حرارة التكوين a وb تحصل على معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين مع الأكسجين، الذي ينتج عنه ثاني أكسيد النيتروجين. ما قيمة $\Delta H^\circ_f$ للتفاعل b؟

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ_{rxn} = -58.1\ kJ$$

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)} \quad \Delta H^\circ_f = 91.3\ kJ \quad \textbf{a.}$$

$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ_f = ? \quad \textbf{b.}$$

**NO هي مادة متفاعلة، لذا نعكس التفاعل a، ونُغيّر إشارة ΔH.**

$$NO_{(g)} \rightarrow \frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \quad \textbf{c.} \qquad \Delta H = -\Delta H^\circ_f = -91.3\ kJ$$

**بجمع المعادلتين b وc.**

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)}$$

$$\Delta H^{\circ}_{rxn} = \Delta H^{\circ}_{f(b} \text{ للتفاعل}) + \Delta H^{\circ}_{f(c} \text{ للتفاعل}$$

$$\Delta H^{\circ}_{f(b} \text{ للتفاعل} = 58.1 \text{ kJ} - 91.3 \text{ kJ} )$$

$$\Delta H^{\circ}_{f(b} \text{ للتفاعل} = -58.1 \text{ kJ} + 91.3 \text{ kJ} )$$

$$= 33.2 \text{ kJ}$$

## التقويم 2-4

38. الفكرة الرئيسة وضح المقصود بقانون هس، وكيف يستعمل لإيجاد $\Delta H^{\circ}_{rxn}$؟

**قانون هس: عند جمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر لإنتاج معادلة نهائية لتفاعل ما كان مجموع التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الفردية مساويًا لتغير المحتوى الحراري للتفاعل النهائي.**

**يُمكن استعمال قانون هس لحساب $\Delta H^{\circ}_{rxn}$ كالتالي:**

- **يتم كتابة مُعادلات التكوين الفردية لكل مركب من المتفاعلات والنواتج، وإيجاد حرارة التكوين $\Delta H^{\circ}_{f}$ لكل منها.**

- يتم ضبط اتجاه المُتفاعلات والنواتج لكل المعادلات، وتغيير إشارة المُحتوى الحراري للمعادلات التي تمّ عكسها، وضبط عدد المولات بالضرب في المُعامل المُناسب.
- يتم جمع المعادلات للحصول على مُعادلة التفاعل الكلية، وجمع المحتوى الحراري للمعادلات للحصول على $\Delta H^\circ_{rxn}$.

**39. اشرح** بالكلمات الصيغة التي يمكن استعمالها لإيجاد $\Delta H^\circ_{rxn}$ عند استعمال قانون هس.

**٣٩. حرارة التفاعل القياسية تُساوي مجموع التغير في المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه مجموع التغير في المُحتوى الحراري للمُتفاعلات.**

**40. صف** كيف تعرّف العناصر في حالاتها القياسية على تدريج حرارة التكوين القياسية؟

**حرارة التكوين القياسية للعناصر = صفر.**

**41. تفحص** البيانات في **الجدول 5–2**. ماذا يمكن أن تستنتج عن ثبات أو استقرار المركبات المذكورة مقارنةً بالعناصر في حالاتها القياسية؟ تذكر أن الثبات أو الاستقرار يرتبط مع الطاقة المنخفضة.

- أكثر المركبات استقرارًا في الجدول (٥- ٢) هو $SF_6$ لأنه أقل طاقة، في حين أن $H_2S$ أقلهم استقرارًا لأنه الأعلى طاقة.
- جميع المركبات في الجدول (٥- ٢) هي مركبات مستقرة عند مقارنتها بالعناصر في حالاتها القياسية.

**42. احسب** استعمل قانون هس لإيجاد $\Delta H$ للتفاعل أدناه:

$NO_{(g)} + O_{(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H = ?$. مستعينًا بالتفاعلات الآتية:

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

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

$NO_{(g)} + O_{3(g)} \rightarrow NO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H = -199\ kJ$

**$O_3$ لا تظهر في المُتفاعلات أو النواتج، لذا نعكس المعادلة b ونُغير إشارة $\Delta H$.**

**b`. $3O_{2(g)} \rightarrow 2O_{3(g)}$ $\Delta H = +427\ kJ$**

**نحتاج إلى 2 mol من $O_3$ في المعادلة c، لذا نضرب المعادلة c في 2.**

$\Delta H = -398\ kJ$ $\quad c`.\ 2NO_{(g)} + 2O_{3(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)} + 2O_{2(g)}$

Oمن المُتفاعلات، لذا نعكس التفاعل a، ونُغيّر إشارة ΔH.

$\Delta H = -495\ kJ$ $\quad a`.\ 2O_{(g)} \rightarrow O_{2(g)}$

نجمع المعادلات a` و b` و c`.

$\Delta H = -495\ kJ$ $\quad a`.\ 2O_{(g)} \rightarrow O_{2(g)}$

$\Delta H = +427\ kJ$ $\quad b`.\ 3O_{2(g)} \rightarrow 2O_{3(g)}$

$\Delta H = -398\ kJ$ $\quad c`.\ 2NO_{(g)} + 2O_{3(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)} + 2O_{2(g)}$

---

$\Delta H = -466\ kJ$ $\quad 2NO_{(g)} + 2O_{(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$

بقسمة المعادلة النهائية على ٢.

$\Delta H = -233\ kJ$ $\quad NO_{(g)} + O_{(g)} \rightarrow NO_{2(g)}$