達思化學

課本 3C

第 9 章 化學反應和能量

目錄

- 35.1 赫斯定律
- 35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？
- 35.3 由燃燒焓變求得生成焓變
- 35.4 由生成焓變求得反應焓變

續下頁

目錄

- 關鍵詞彙
- 摘要
- 按節練習
- 按章練習

35.1 赫斯定律 (頁45)

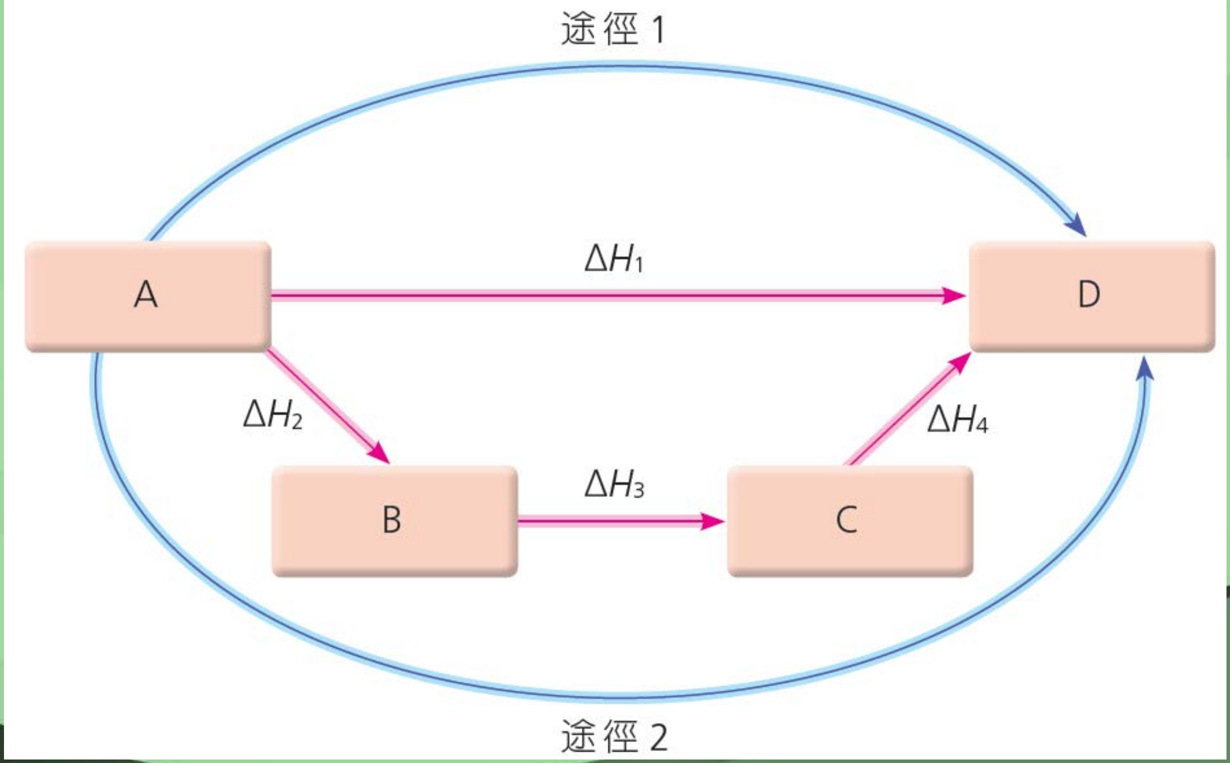
- 你可使用在第34 節中描述的技術直接從單一實驗測定反應焓變。可是，許多反應的焓變很難直接測定。
- 通過**赫斯定律 (Hess's law)**，可間接求得這類反應的焓變。

赫斯定律指出：「只要起始和最終條件是一樣，一項化學反應的總焓變與該反應進行時所循的途徑無關。」

赫斯定律 參

35.1 赫斯定律 (頁45)

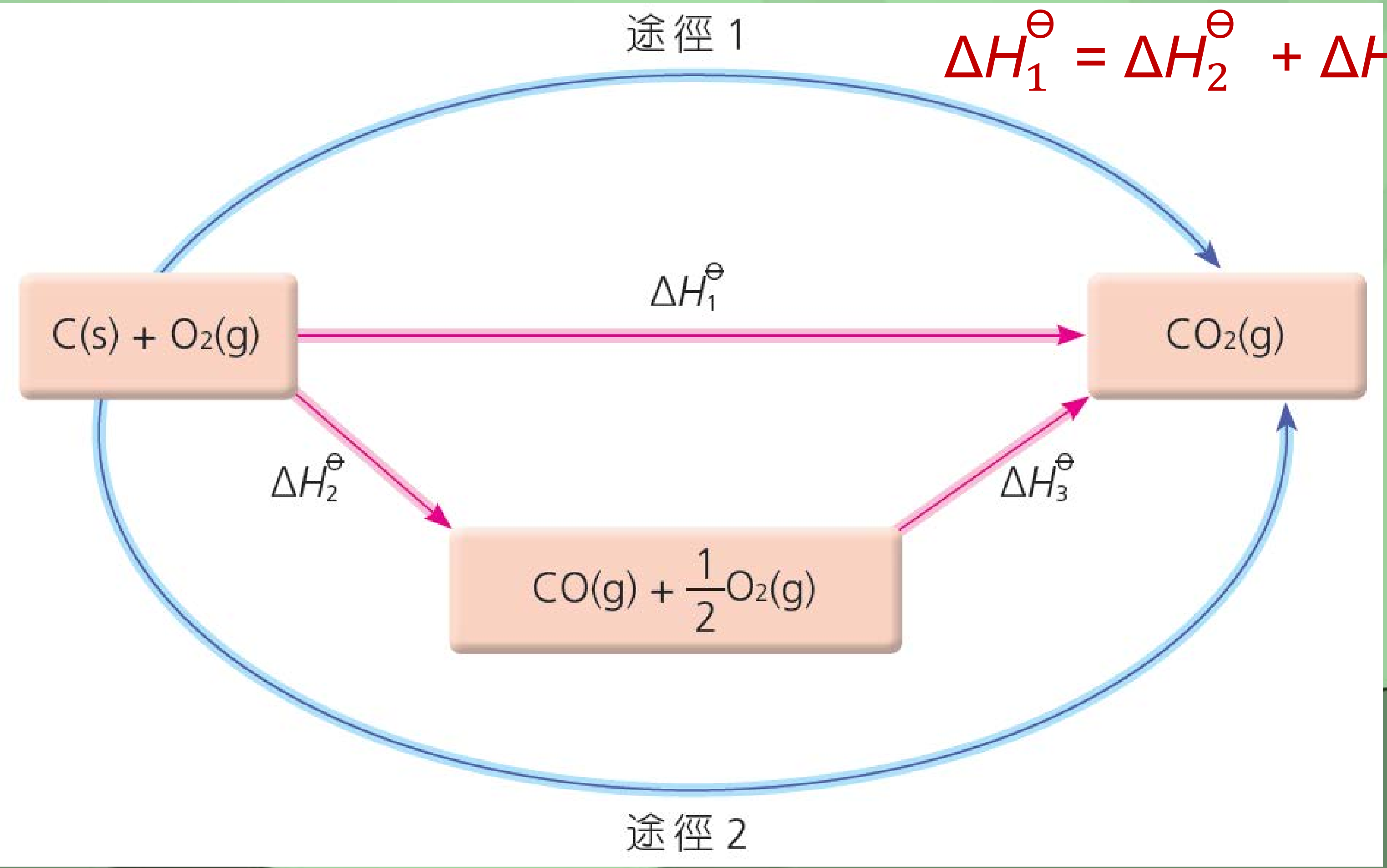
- 以下所示的**焓變循環 (enthalpy change cycle)**有助於說明赫斯定律。
- 根據赫斯定律，*途徑1* 的焓變會與*途徑2* 中各反應的焓變的總和相等。 $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$



35.1 赫斯定律 (頁45)

- 考慮以下反應： 碳 + 氧 → 二氧化碳
  兩個可能的途徑： 直接的*途徑 1* 與 非直接的*途徑 2*

$$\Delta H_1^{\ominus} = \Delta H_2^{\ominus} + \Delta H_3^{\ominus}$$



35.1 赫斯定律 (頁45)

問 (例題 35.1)

利用下列的標準焓變數據：

$P(s) + \frac{3}{2}Cl_2(g) \rightarrow PCl_3(l)$ $\Delta H_1^\ominus = -339\ \text{kJ mol}^{-1}$

$PCl_3(l) + Cl_2(g) \rightarrow PCl_5(s)$ $\Delta H_2^\ominus = -124\ \text{kJ mol}^{-1}$

計算以下反應的標準焓變：

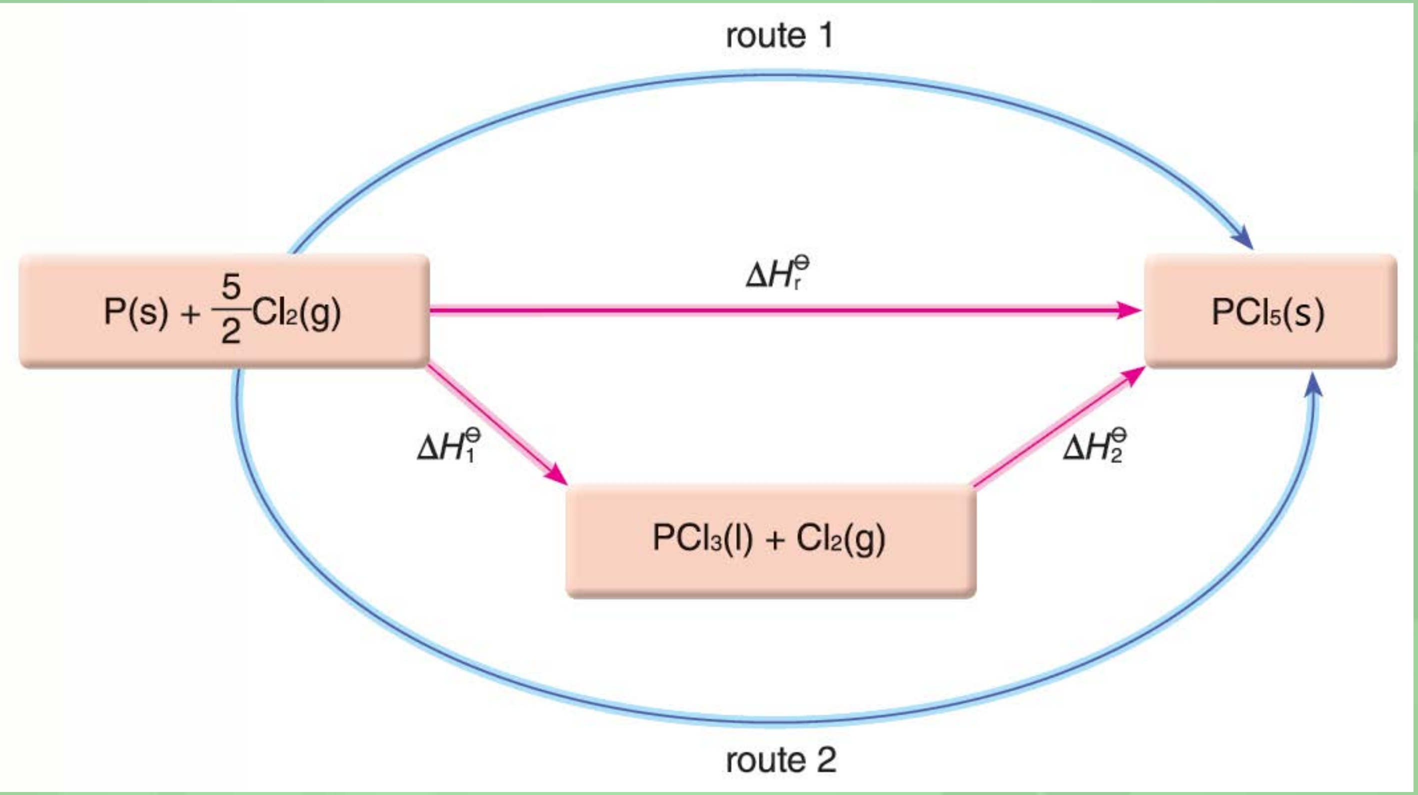
$P(s) + \frac{5}{2}Cl_2(g) \rightarrow PCl_5(s)$

答

方法 1 利用焓變循環

基於已知數據建構焓變循環，並把與待求焓變對應的方程式寫在該焓變循環的頂端。

35.1 赫斯定律 (頁45)



根據赫斯定律： $\Delta H_r^\ominus = \Delta H_1^\ominus + \Delta H_2^\ominus$

$= [(-339) + (-124)]\ \text{kJ mol}^{-1} = -463\ \text{kJ mol}^{-1}$

35.1 赫斯定律 (頁45)

方法 2 對方程式進行操作

把兩條方程式加在一起：

$$P(s) + \frac{3}{2}Cl_2(g) \longrightarrow \cancel{PCl_3(l)} \qquad \Delta H_1^{\ominus} = -339\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$\cancel{PCl_3(l)} + Cl_2(g) \longrightarrow PCl_5(s) \qquad \Delta H_2^{\ominus} = -124\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$P(s) + \frac{5}{2}Cl_2(g) \longrightarrow PCl_5(s)$$

$$\Delta H_r^{\ominus} = [(-339) + (-124)]\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$= -463\ \text{kJ mol}^{-1}$$

∴ 該反應的焓變是 -463 kJ mol^{-1}。

35.1 赫斯定律 (頁45)

問 (例題 35.2)

利用下列的標準焓變數據：

$C(石墨) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_1^{\ominus} = -394\ \text{kJ mol}^{-1}$

$C(鑽石) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_2^{\ominus} = -395\ \text{kJ mol}^{-1}$

計算在標準條件下石墨轉化成鑽石的標準焓變：

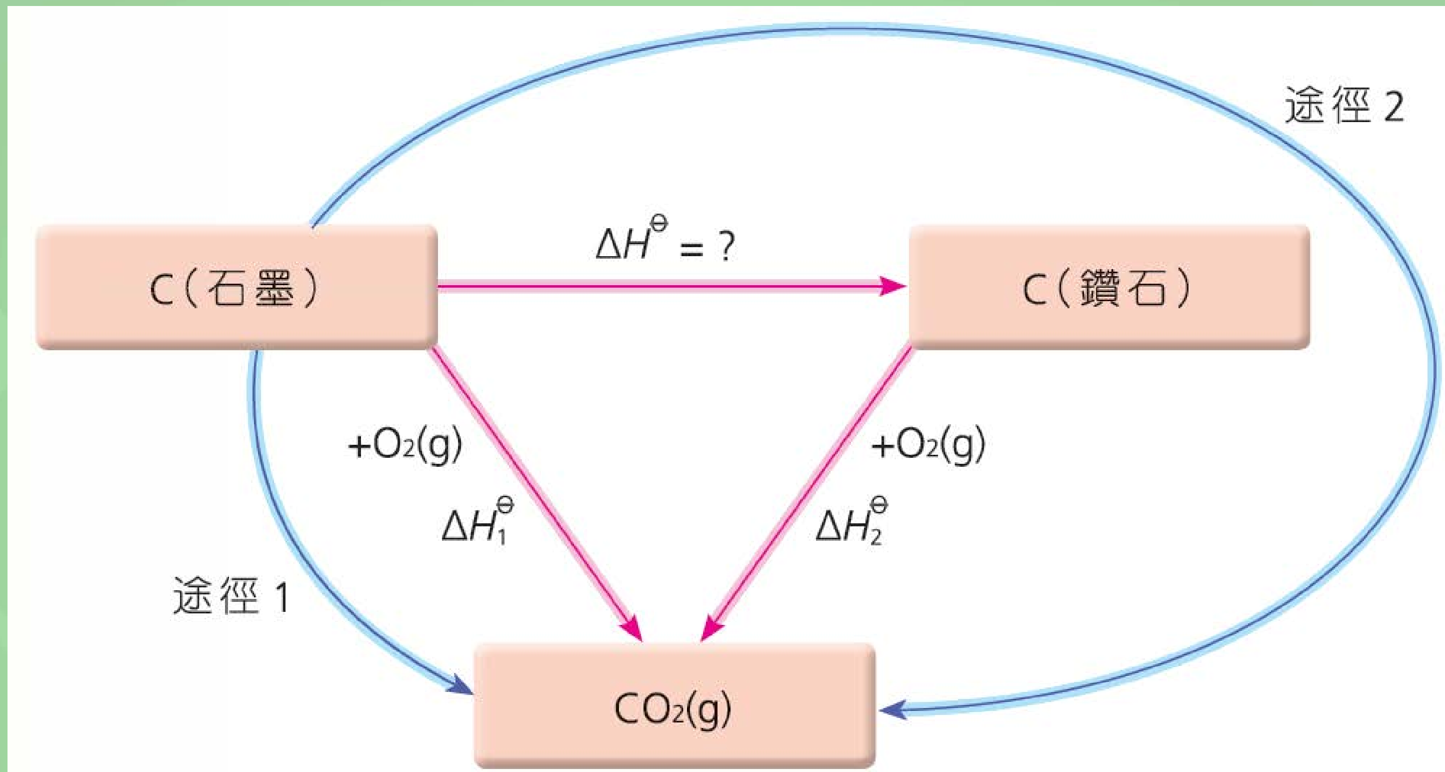
$C(石墨) \rightarrow C(鑽石)$

答

方法 1 利用焓變循環

基於已知數據建構焓變循環，並把與待求焓變對應的方程式寫在該焓變循環的頂端。

35.1 赫斯定律 (頁45)



根據赫斯定律： $\Delta H_1^{\ominus} = \Delta H^{\ominus} + \Delta H_2^{\ominus}$

$\Delta H^{\ominus} = \Delta H_1^{\ominus} - \Delta H_2^{\ominus}$

$= [(-394) - (-395)]\ \text{kJ mol}^{-1} = +1\ \text{kJ mol}^{-1}$

35.1 赫斯定律 (頁45)

方法 2 對方程式進行操作

在生成物的一方需要C (鑽石)。因此，要把第二條反應方程式左右方對調及改變焓變的正負符號。

$CO_2(g) \longrightarrow$ C(鑽石) + $O_2(g)$　　$\Delta H^\ominus = +395\ \text{kJ mol}^{-1}$

把首條方程式和已對調的方程式加在一起：

C(石墨) + $\cancel{O_2(g)} \longrightarrow \cancel{CO_2(g)}$　　$\Delta H^\ominus = -394\ \text{kJ mol}^{-1}$

$\cancel{CO_2(g)} \longrightarrow$ C(鑽石) + $\cancel{O_2(g)}$　　$\Delta H^\ominus = +395\ \text{kJ mol}^{-1}$

C(石墨) $\longrightarrow$ C(鑽石)

該轉化的焓變 = [(–394) + (+395)] kJ mol^{-1} = +1 kJ mol^{-1}

∴ 在標準條件下，石墨轉化成鑽石的標準焓變是 +1 kJ mol^{-1}。

35.1 赫斯定律 (頁45)

問 (例題 35.3)

乙硼烷 (B_2H_6) 可用作火箭燃料。乙硼烷燃燒的方程式顯示如下：

$$B_2H_6(g) + 3O_2(g) \rightarrow B_2O_3(s) + 3H_2O(1)$$

下列是在某條件下的三項反應的焓變：

反應	焓變
(1) $2B(s) + 3H_2(g) \rightarrow B_2H_6(g)$	$+42\ \text{kJ mol}^{-1}$
(2) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$	$-286\ \text{kJ mol}^{-1}$
(3) $B(s) + \frac{3}{4}O_2(g) \rightarrow \frac{1}{2}B_2O_3(s)$	$-635\ \text{kJ mol}^{-1}$

計算在相同條件下，乙硼烷的燃燒焓變。

35.1 赫斯定律 (頁45)

答

觀察 $B_2H_6(g)$ 燃燒的方程式。在反應物的一方需要一個 $B_2H_6(g)$ 。因此，把方程式 (1) 左右方對調，得出方程式 (1)’。

(1)’ $B_2H_6(g) \rightarrow 2B(s) + 3H_2(g)$ ΔH = –42 kJ mol^{-1}

在生成物一方需要三個 $H_2O(l)$。因此，把方程式 (2) 乘以 3，得出方程式 (2)’。

(2)’ $3H_2(g) + \frac{3}{2} O_2(g) \rightarrow 3H_2O(l)$ ΔH = 3(–286) kJ mol^{-1}

在生成物一方需要一個 $B_2O_3(s)$ 。因此，把方程式 (3)乘以2 ，得出方程式 (3)’。

(3)’ $2B(s) + \frac{6}{4} O_2(g) \rightarrow B_2O_3(s)$ ΔH = 2(–635) kJ mol^{-1}

35.1 赫斯定律 (頁45)

把方程式(1)’、(2)’ 和 (3)’ 加在一起：

$$(1)'\quad B_2H_6(g) \longrightarrow \cancel{2B(s)} + \cancel{3H_2(g)} \qquad \Delta H = -42\ \text{kJ}$$

$$(2)'\quad \cancel{3H_2(g)} + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow 3H_2O(l) \qquad \Delta H = 3(-286)\ \text{kJ}$$

$$(3)'\quad \cancel{2B(s)} + \frac{6}{4}O_2(g) \longrightarrow B_2O_3(s) \qquad \Delta H = 2(-635)\ \text{kJ}$$

$$B_2H_6(g) + 3O_2(g) \longrightarrow B_2O_3(s) + 3H_2O(l)$$

乙硼烷的燃燒焓變 = [(–42) + 3(–286) + 2(–635)] kJ mol^{-1}
= –2 170 kJ mol^{-1}
∴ 乙硼烷的燃燒焓變是 –2 170 kJ mol^{-1}。

35.1 赫斯定律 (頁45)

小測試 35.1

1 利用下列的標準焓變數據：

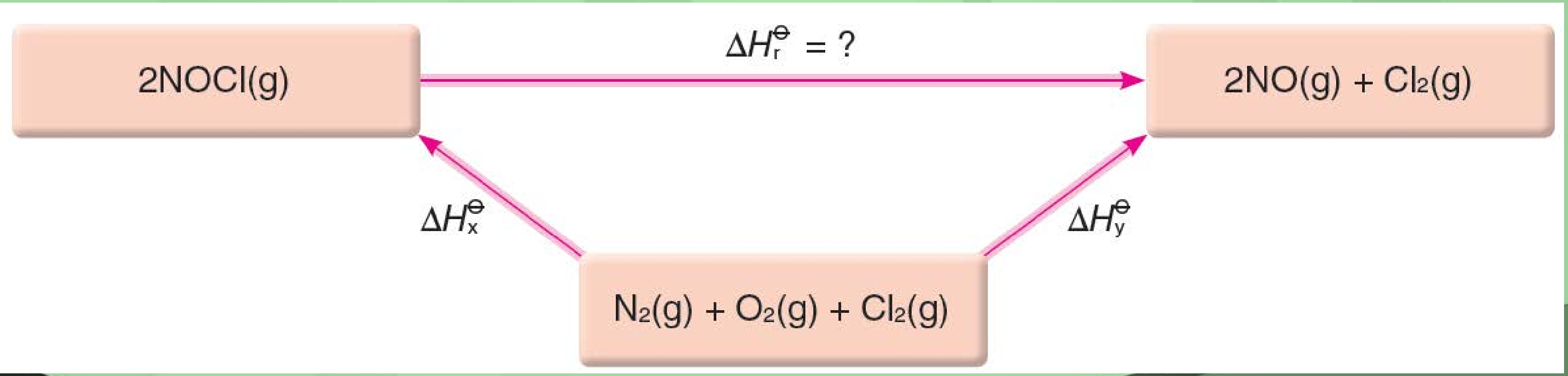
$2NO(g) \rightarrow N_2(g) + O_2(g)$ $\Delta H^{\ominus} = -180\ kJ\ mol^{-1}$

$N_2(g) + O_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2NOCl(g)$ $\Delta H^{\ominus} = +103\ kJ\ mol^{-1}$

計算以下反應的標準焓變：

$2NOCl(g) \rightarrow 2NO(g) + Cl_2(g)$

基於已知數據建構的焓變循環顯示如下：



35.1 赫斯定律 (頁45)

a) 分別寫出 $\Delta H_x^\ominus$ 和 $\Delta H_y^\ominus$ 的值。

$\Delta H_x^\ominus$ = +103 kJ; $\Delta H_y^\ominus$ = +180 kJ

b) 計算以下反應的標準焓變：

2NOCl(g) → 2NO(g) + Cl_2(g)

根據赫斯定律：

$\Delta H_x^\ominus + \Delta H_r^\ominus = \Delta H_y^\ominus$

$\Delta H_r^\ominus = \Delta H_y^\ominus - \Delta H_x^\ominus$ = [+180 – (+103)] kJ = +77 kJ

35.1 赫斯定律 (頁45)

2 遇到危險時，放屁蟲會向攻擊者發射熾熱的有毒化學混合物。這混合物含醌（$C_6H_4O_2$ ），是由氫醌（$C_6H_4(OH)_2$）與過氧化氫（H_2O_2）反應生成。
整體反應的方程式顯示如下：

$$C_6H_4(OH)_2(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + 2H_2O(l)$$

在某組條件下的三項反應的焓變顯示如下：

反應	焓變
(1) $C_6H_4(OH)_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + H_2(g)$	$+177\ kJ\ mol^{-1}$
(2) $H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O_2(aq)$	$-191\ kJ\ mol^{-1}$
(3) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$	$-286\ kJ\ mol^{-1}$

計算在相同條件下，由$C_6H_4(OH)_2(aq)$ 和$H_2O_2(aq)$ 反應生成$C_6H_4O_2(aq)$ 和$2H_2O(l)$ 的焓變。

35.1 赫斯定律 (頁45)

觀察方程式(2)。在反應物的一方需要一個$H_2O_2(aq)$。因此，把方程式(2)左右方對調，得出方程式(2)’。

$H_2O_2(aq) \rightarrow H_2(g) + O_2(g)$ $\Delta H = +191$ kJ

觀察方程式(3)。在生成物的一方需要兩個$H_2O(l)$。因此，把方程式(3) 乘以2，得出方程式(3)’。

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$ $\Delta H = 2(–286)$ kJ

把方程式(1)、(2)’ 和(3)’ 加在一起：

$$
\begin{array}{lll}
(1) & C_6H_4(OH)_2(aq) \longrightarrow C_6H_4O_2(aq) + \cancel{H_2(g)} & \Delta H = +177 \text{ kJ} \\
(2)' & H_2O_2(aq) \longrightarrow \cancel{H_2(g)} + \cancel{O_2(g)} & \Delta H = +191 \text{ kJ} \\
(3)' & \cancel{2H_2(g)} + \cancel{O_2(g)} \longrightarrow 2H_2O(l) & \Delta H = 2(-286) \text{ kJ} \\
\hline
 & C_6H_4(OH)_2(aq) + H_2O_2(aq) \longrightarrow C_6H_4O_2(aq) + 2H_2O(l) &
\end{array}
$$

35.1 赫斯定律 (頁45)

由$C_6H_4(OH)_2(aq)$ 和$H_2O_2(aq)$ 反應生成$C_6H_4O_2(aq)$ 和$2H_2O(l)$ 的焓變
= [+177 + (+191) + 2(–286)] kJ (1)
= –204 kJ (1)
∴ 由$C_6H_4(OH)_2(aq)$ 和$H_2O_2(aq)$ 反應生成$C_6H_4O_2(aq)$ 和$2H_2O(l)$ 的焓變是–204 kJ。

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

- $Ca(s) + C(石墨) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow CaCO_3(s)$
- 由於碳酸鈣不能直接由其成分元素反應生成，因此，難以通過實驗結果直接測定碳酸鈣的生成焓變，只能利用赫斯定律間接求得。

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

- 你可用以下資料計算碳酸鈣的生成焓變。
  - 鈣與氫氯酸反應的焓變；
  - 碳酸鈣與氫氯酸反應的焓變；
  - 二氧化碳的生成焓變；和
  - 水的生成焓變。

- 首兩項可從實驗結果直接測定，而最後兩項可從數據冊查到。

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

步驟 1 求 $Ca(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2(g)$ 的 ΔH

- 所用的鈣的質量 = 1.04 g
  酸的起始溫度 = 26.0 °C
  所得溶液的最終溫度 = 54.5 °C
  所得溶液的熱容量 = 425 J K^{-1}

溫度變化 ΔT = (54.5 – 26.0) °C = +28.5 °C = +28.5 K

實驗中所用反應物的量涉及的焓變 = 425 J K^{-1} x 28.5 K
= 12 100 J = 12.1 kJ

所用的Ca 的摩爾數 = $\dfrac{1.04\ \text{g}}{40.1\ \text{g mol}^{-1}}$ = 0.0259 mol

反應的焓變 = $\dfrac{-12.1\ \text{kJ}}{0.0259\ \text{mol}}$ = –467 kJ mol^{-1}

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？(頁52)

步驟 2 求 $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ 的 ΔH

- 所用的碳酸鈣的質量 = 2.52 g
  酸的起始溫度 = 26.0 °C
  所得溶液的最終溫度 = 27.1 °C
  所得溶液的熱容量 = 430 J K^{-1}

  溫度變化 ΔT = (27.1 – 26.0) °C = +1.1 °C = +1.1 K

  實驗中所用反應物的量涉及的焓變
  = 430 J K^{-1} x 1.1 K = 473 J

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

步驟 3 **求 $Ca(s) + C(石墨) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow CaCO_3(s)$ 的 ΔH**

已知以下過程的焓變：

(1) $Ca(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2(g)$ $\Delta H = -467\ kJ\ mol^{-1}$

(2) $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ $\Delta H = -18.8\ kJ\ mol^{-1}$

(3) $C(石墨) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -394\ kJ\ mol^{-1}$

(4) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$ $\Delta H = -286\ kJ\ mol^{-1}$

需要求出以下過程的焓變：

$Ca(s) + C(石墨) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow CaCO_3(s)$

把方程式(2) 左右方對調，得出方程式(2)’。如下所示把方程式加在一起：

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

$$(1)\quad Ca(s) + \cancel{2HCl(aq)} \longrightarrow \cancel{CaCl_2(aq)} + \cancel{H_2(g)} \qquad \Delta H = -467\ kJ\ mol^{-1}$$

$$(2)'\quad \cancel{CaCl_2(aq)} + \cancel{H_2O(l)} + \cancel{CO_2(g)} \longrightarrow CaCO_3(s) + \cancel{2HCl(aq)} \qquad \Delta H = +18.8\ kJ\ mol^{-1}$$

$$(3)\quad C(\text{石墨}) + O_2(g) \longrightarrow \cancel{CO_2(g)} \qquad \Delta H = -394\ kJ\ mol^{-1}$$

$$(4)\quad \cancel{H_2(g)} + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow \cancel{H_2O(l)} \qquad \Delta H = -286\ kJ\ mol^{-1}$$

$$Ca(s) + C(\text{石墨}) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow CaCO_3(s)$$

根據赫斯定律：

$\Delta H_f^{\ominus}[CaCO_3(s)] = [(-467) + (+18.8) + (-394) + (-286)]\ kJ\ mol^{-1} = -1\ 128\ kJ\ mol^{-1}$

∴ 碳酸鈣的生成焓變是 $-1\ 128\ kJ\ mol^{-1}$。

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

你可根據已知焓變數據建構焓變循環：

$Ca(s) + C(石墨) + \frac{3}{2}O_2(g) + 2HCl(aq) \xrightarrow{\Delta H_f[CaCO_3(s)]} CaCO_3(s) + 2HCl(aq)$

$\Delta H = -467\ kJ\ mol^{-1}$ ↓

$CaCl_2(aq) + H_2(g) + C(石墨) + \frac{3}{2}O_2(g)$

$\Delta H = -394\ kJ\ mol^{-1}$ ↓

$CaCl_2(aq) + H_2(g) + CO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$

$\Delta H = -286\ kJ\ mol^{-1}$ ↓

$CaCl_2(aq) + H_2O(g) + CO_2(g)$

$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \xrightarrow{\Delta H = -18.8\ kJ\ mol^{-1}} CaCl_2(aq) + H_2O(g) + CO_2(g)$

根據赫斯定律：

$\Delta H_f[CaCO_3(s)] + (-18.8\ kJ\ mol)$

$= (-467\ kJ\ mol^{-1}) + (-394\ kJ\ mol^{-1}) + (-286\ kJ\ mol^{-1})$

$\Delta H_f[CaCO_3(s)] = [(-467) + (-394) + (-286) - (-18.8)]\ kJ\ mol^{-1}$

$= -1\ 128\ kJ\ mol^{-1}$

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？(頁52)

求出氧化鎂的生成焓變 參

求出碳酸氫鉀的熱分解焓變

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

小測試 35.2

碳酸氫鉀受熱時分解生成碳酸鉀。直接量度碳酸氫鉀的分解焓變並不容易。

$$KHCO_3(s) \rightarrow \frac{1}{2} K_2CO_3(s) + \frac{1}{2} CO_2(g) + \frac{1}{2} H_2O(l)$$

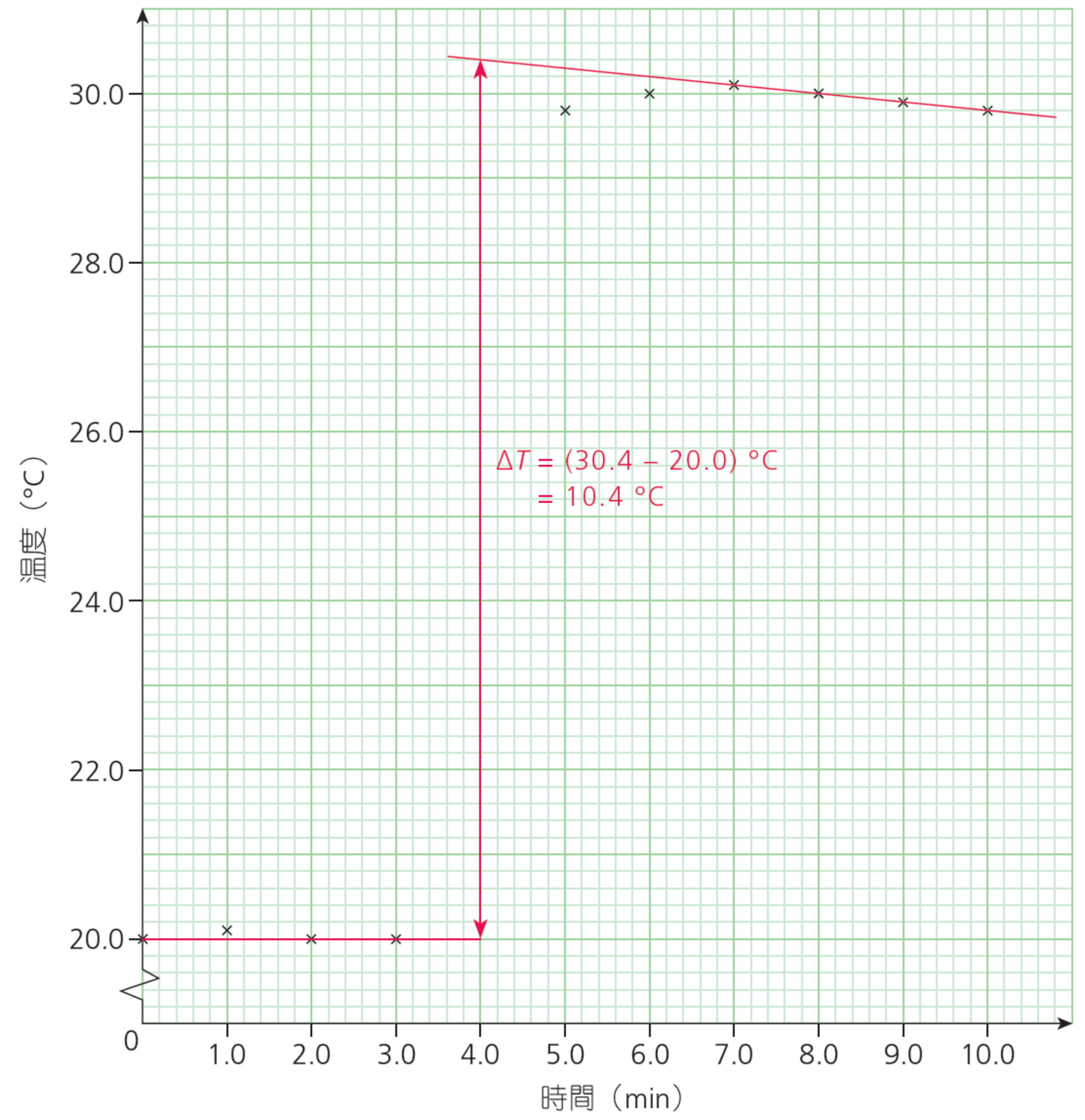
其中一項測定這焓變的方法是把已知質量的碳酸氫鉀和碳酸鉀分別與過量的稀氫氯酸反應。

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？(頁52)

a) 一名學生讓已知量的碳酸鉀和稀氫氯酸反應，並測定溫度的變化。
- 把稀氫氯酸（過量）倒入發泡聚苯乙烯杯子內。
- 每隔一分鐘量度酸的温度，歷時3.0 分鐘。
- 在第4.0 分鐘，把0.0300 摩爾的碳酸鉀加進酸中。
- 接着每隔一分鐘量度所得溶液的温度，歷時6.0 分鐘。

以下坐標圖顯示所得的結果：

i) 從坐標圖估算，所得溶液的最大温度升幅是多少？


30.0
28.0
26.0
24.0
22.0
20.0
0
溫度（°C）
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
9.0
10.0
時間（min）
ΔT = (30.4 – 20.0) °C
= 10.4 °C

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？(頁52)

ii) 已知：

所得溶液的質量 = 28.0 g

所得溶液的比熱容 = 4.3 J g^{-1} K^{-1}

根據在這實驗中所用反應物的量，計算焓變。

實驗中所用反應物的量涉及的焓變 = $m \times c \times \Delta T$

= 28.0 g x 4.3 J g^{-1} K^{-1} x 10.4 K = 1 250 J = 1.25 kJ

iii) 計算1 摩爾的碳酸鉀和稀氫氯酸反應的反應焓變。

K_2CO_3(s) 與 HCl(aq) 的反應焓變

$$= \frac{-1.25 \text{ kJ}}{0.0300 \text{ mol}} = -41.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

b) 學生用類似的方法求得碳酸氫鉀和稀氫氯酸反應的焓變是+19.6 kJ mol^{-1}。

計算在實驗條件下碳酸氫鉀的分解焓變。

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？(頁52)

(1) $KHCO_3(s) + HCl(aq) \longrightarrow KCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ $\Delta H = +19.6\ kJ\ mol^{-1}$

(2) $K_2CO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow 2KCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ $\Delta H = -41.7\ kJ\ mol^{-1}$

在生成物的一方需要 $\frac{1}{2}K_2CO_3(s)$。因此，把方程式 (2) 乘以 $\frac{1}{2}$，然後左右方對調，得出方程式 (2)′。

$$KCl(aq) + \frac{1}{2}H_2O(l) + \frac{1}{2}CO_2(g) \longrightarrow \frac{1}{2}K_2CO_3(s) + HCl(aq) \qquad \Delta H = \frac{+41.7}{2}\ kJ$$

把方程式 (1) 和 (2)′ 加在一起：

(1) $KHCO_3(s) + \cancel{HCl(aq)} \longrightarrow \cancel{KCl(aq)} + \overset{\frac{1}{2}}{\cancel{H_2O(l)}} + \overset{\frac{1}{2}}{\cancel{CO_2(g)}}$ $\Delta H = +19.6\ kJ$

(2)′ $\cancel{KCl(aq)} + \cancel{\frac{1}{2}H_2O(l)} + \cancel{\frac{1}{2}CO_2(g)} \longrightarrow \frac{1}{2}K_2CO_3(s) + \cancel{HCl(aq)}$ $\Delta H = \frac{+41.7}{2}\ kJ$

$$KHCO_3(s) \longrightarrow \frac{1}{2}K_2CO_3(s) + \frac{1}{2}CO_2(g) + \frac{1}{2}H_2O(l)$$

35.2 如何求得碳酸鈣的生成焓變？ (頁52)

根據赫斯定律：

$KHCO_3(s)$ 的分解焓變

$$= \left(+19.6 + \frac{+41.7}{2}\right) \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= +40.5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

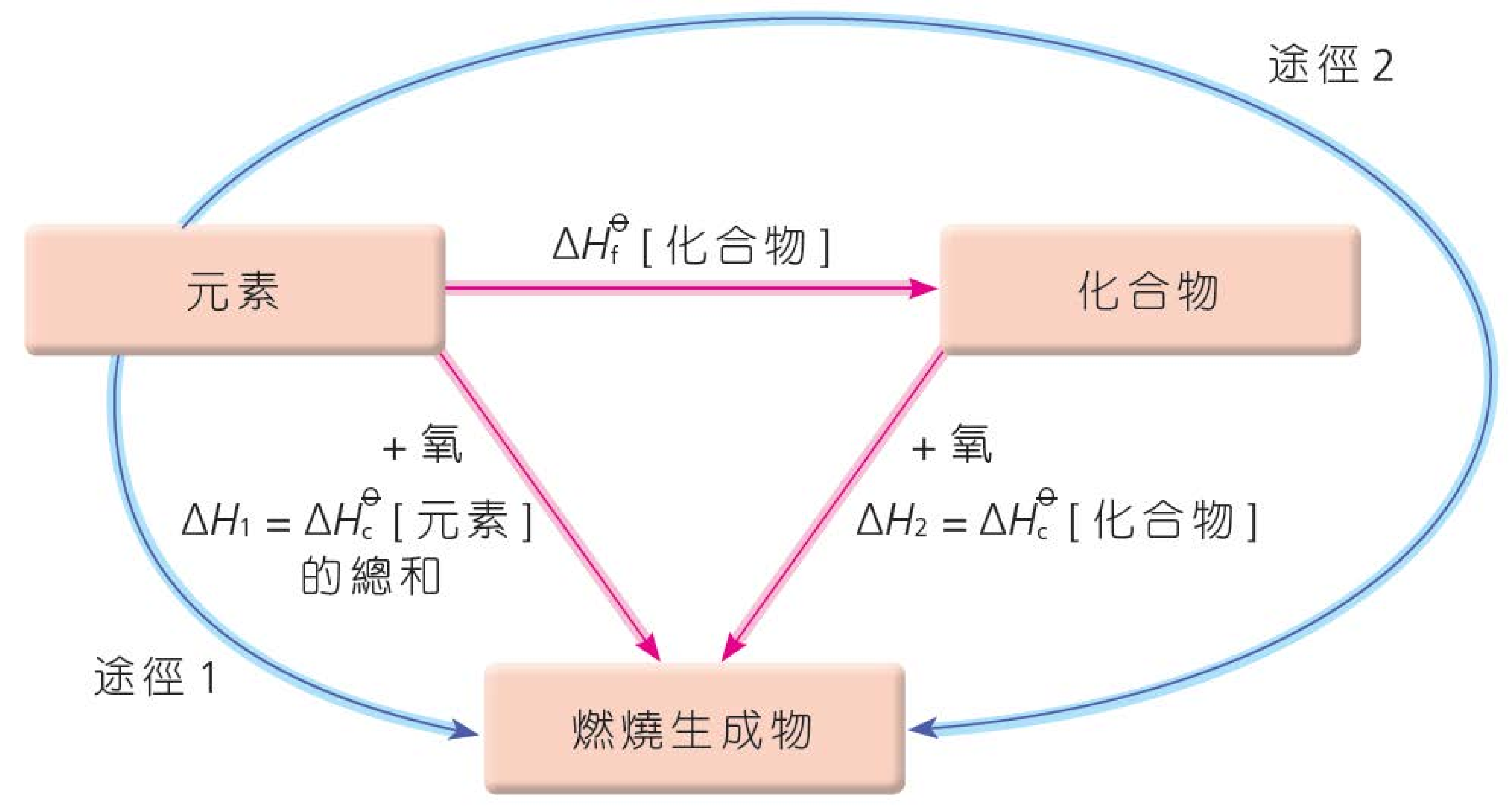
- 化合物的生成焓變通常是難以或不可能直接測定，原因是成分元素通常不會直接反應生成你所需的化合物。

- 例如，從其成分元素生成乙炔（C_2H_2）的反應的方程式顯示如下：

$$2C(石墨) + H_2(g) \rightarrow C_2H_2(g)$$

- 可是，在正常條件下，碳和氫不會反應生成乙炔。然而，所有涉及的化學物種都會在氧中燃燒，因此可從實驗測定它們的燃燒焓變。

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)



35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

- 根據赫斯定律： $\Delta H_1 = \Delta H_f^{\ominus} + \Delta H_2$

  重新排列後得出： $\Delta H_f^{\ominus} = \Delta H_1 - \Delta H_2$

  所以，

$$\Delta H_f^{\ominus}[\text{化合物}] = \Delta H_c^{\ominus}[\text{元素}]\text{ 的總和} - \Delta H_c^{\ominus}[\text{化合物}]$$

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

問 (例題 35.4)

從下列標準燃燒焓變計算乙炔 (C_2H_2(g)) 的標準生成焓變。

物質	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
C_2H_2(g)	–1 300
C(石墨)	–394
H_2(g)	–286

答

方法 1 利用焓變循環

基於已知的標準燃燒焓變的數據，根據定義可寫出以下的熱化學方程式：

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

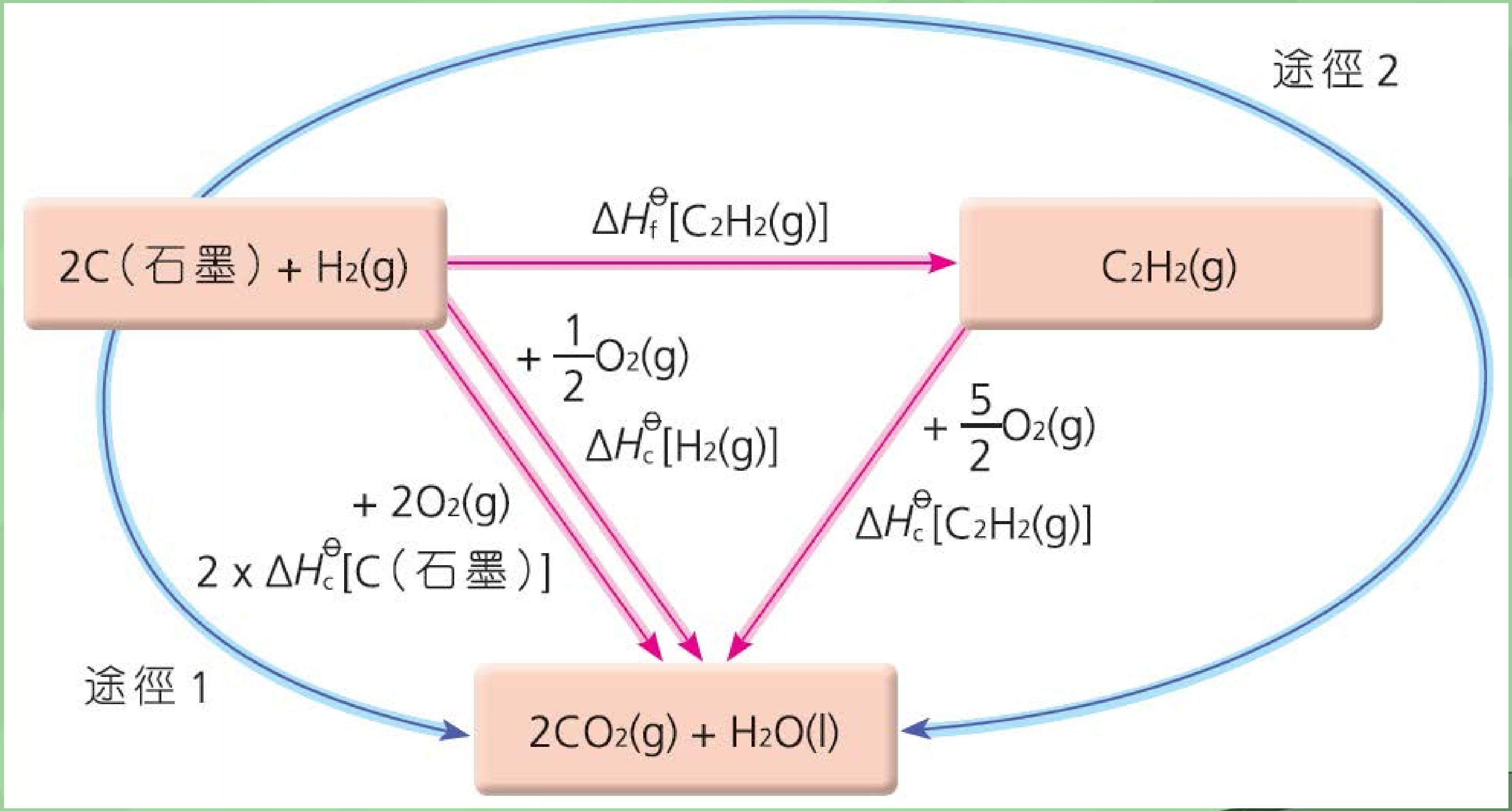
$$C_2H_2(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + H_2O(l) \qquad \Delta H_c^{\ominus} = -1\ 300\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$C(\text{石墨}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_c^{\ominus} = -394\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H_c^{\ominus} = -286\ \text{kJ mol}^{-1}$$

基於已知數據可建構焓變循環，其中與待求焓變對應的方程式寫在焓變循環的頂端，以及箭頭向下指向燃燒生成物。

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)



35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

根據赫斯定律：

$2 \times \Delta H^{\ominus}_{c}$[C(石墨)] + $\Delta H^{\ominus}_{c}[H_2(g)] = \Delta H^{\ominus}_{f}[C_2H_2(g)] + \Delta H^{\ominus}_{c}[C_2H_2(g)]$

$\Delta H^{\ominus}_{f}[C_2H_2(g)] = 2 \times \Delta H^{\ominus}_{c}[C(graphite)] + \Delta H^{\ominus}_{c}[H_2(g)] - \Delta H^{\ominus}_{c}[C_2H_2(g)]$

$= [2(-394) + (-286) - (-1\,300)]\ kJ\ mol^{-1} = +226\ kJ\ mol^{-1}$

<u>方法 2 利用焓變總和</u>

$\Delta H^{\ominus}_{f}$[化合物] = $\Delta H^{\ominus}_{c}$[元素] 的總和 – $\Delta H^{\ominus}_{c}$[化合物]

$\Delta H^{\ominus}_{f}[C_2H_2(g)] = 2 \times \Delta H^{\ominus}_{c}$[C(石墨)] + $\Delta H^{\ominus}_{c}[H_2(g)] - \Delta H^{\ominus}_{c}[C_2H_2(g)]$

$= [2(-394) + (-286) - (-1\,300)]\ kJ\ mol^{-1} = +226\ kJ\ mol^{-1}$

∴ 乙炔的標準生成焓變是 $+226\ kJ\ mol^{-1}$。

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

小測試 35.3

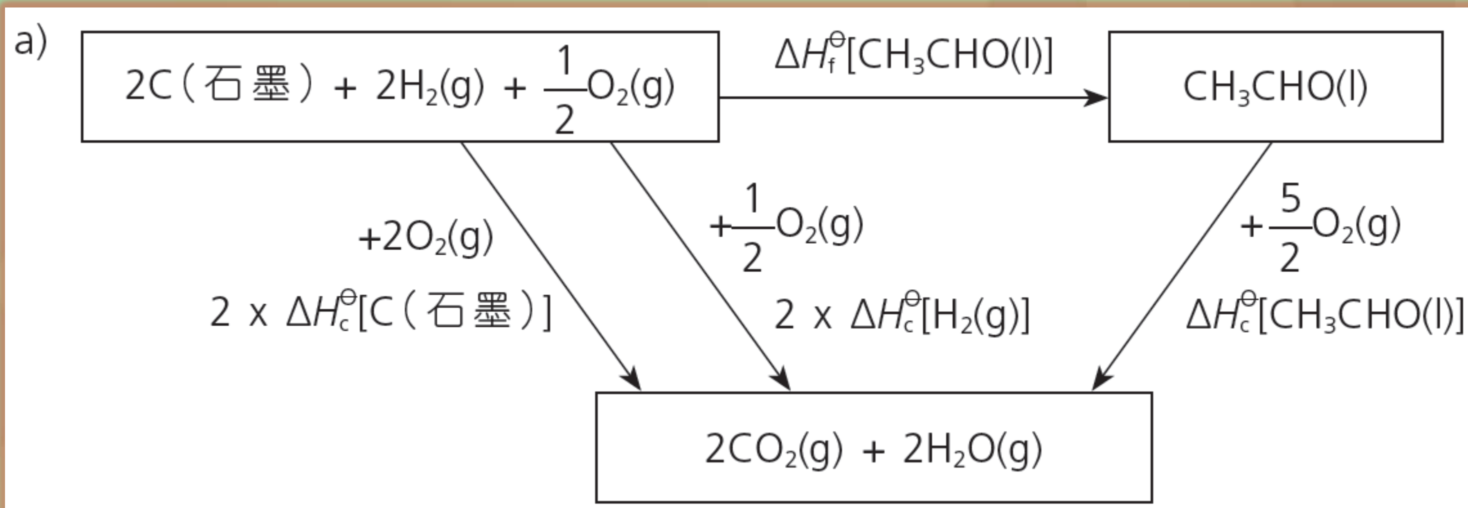
1 基於$CH_3CHO(l)$、C（石墨）和$H_2(g)$ 的各燃燒焓變（ΔH_c），可建構一個焓變循環和運用赫斯定律求得CH3CHO(l) 的生成焓變。
a) 繪出這焓變循環（附各標示）。
b) 下列是$CH_3CHO(l)$、C（石墨）和$H_2(g)$ 的標準燃燒焓變($\Delta H_c^\ominus$):

物質	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$CH_3CHO(l)$	–1 167
C（石墨）	–394
$H_2(g)$	–286

計算$CH_3CHO(l)$ 的標準生成焓變。

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

a)



b)

根據赫斯定律：

$$\Delta H_f^\ominus[CH_3CHO(l)] + \Delta H_c^\ominus[CH_3CHO(l)] = 2 \times \Delta H_c^\ominus[\text{C（石墨）}] + 2 \times \Delta H_c^\ominus[H_2(g)]$$

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\ominus[CH_3CHO(l)] &= 2 \times \Delta H_c^\ominus[\text{C（石墨）}] + 2 \times \Delta H_c^\ominus[H_2(g)] - \Delta H_c^\ominus[CH_3CHO(l)] \\ &= [2(-394) + 2(-286) - (-1\ 167)]\ \text{kJ mol}^{-1} \\ &= -193\ \text{kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

∴ $CH_3CHO(l)$ 的標準生成焓變是 $-193\ \text{kJ mol}^{-1}$。

35.3 由燃燒焓變求得生成焓變 (頁57)

2 硅烷（SiH_4）是由硅和氫反應生成。

$Si(s) + 2H_2(g) \rightarrow SiH_4(g)$

燃燒硅烷釋出二氧化硅和水。

$SiH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow SiO_2(s) + 2H_2O(l) \quad \Delta H_c^\ominus = -1\ 517\ kJ\ mol^{-1}$

硅和氫的標準燃燒焓變分別是 $-911\ kJ\ mol^{-1}$ 和 $-286\ kJ\ mol^{-1}$。

計算硅烷的標準生成焓變。

$\Delta H_f^\ominus[SiH_4(g)] = \Delta H_c^\ominus$[元素] 的總和 $- \Delta H_c^\ominus[SiH_4(g)]$

$= [(-911) + 2(-286) - (-1\ 517)]\ kJ\ mol^{-1}$

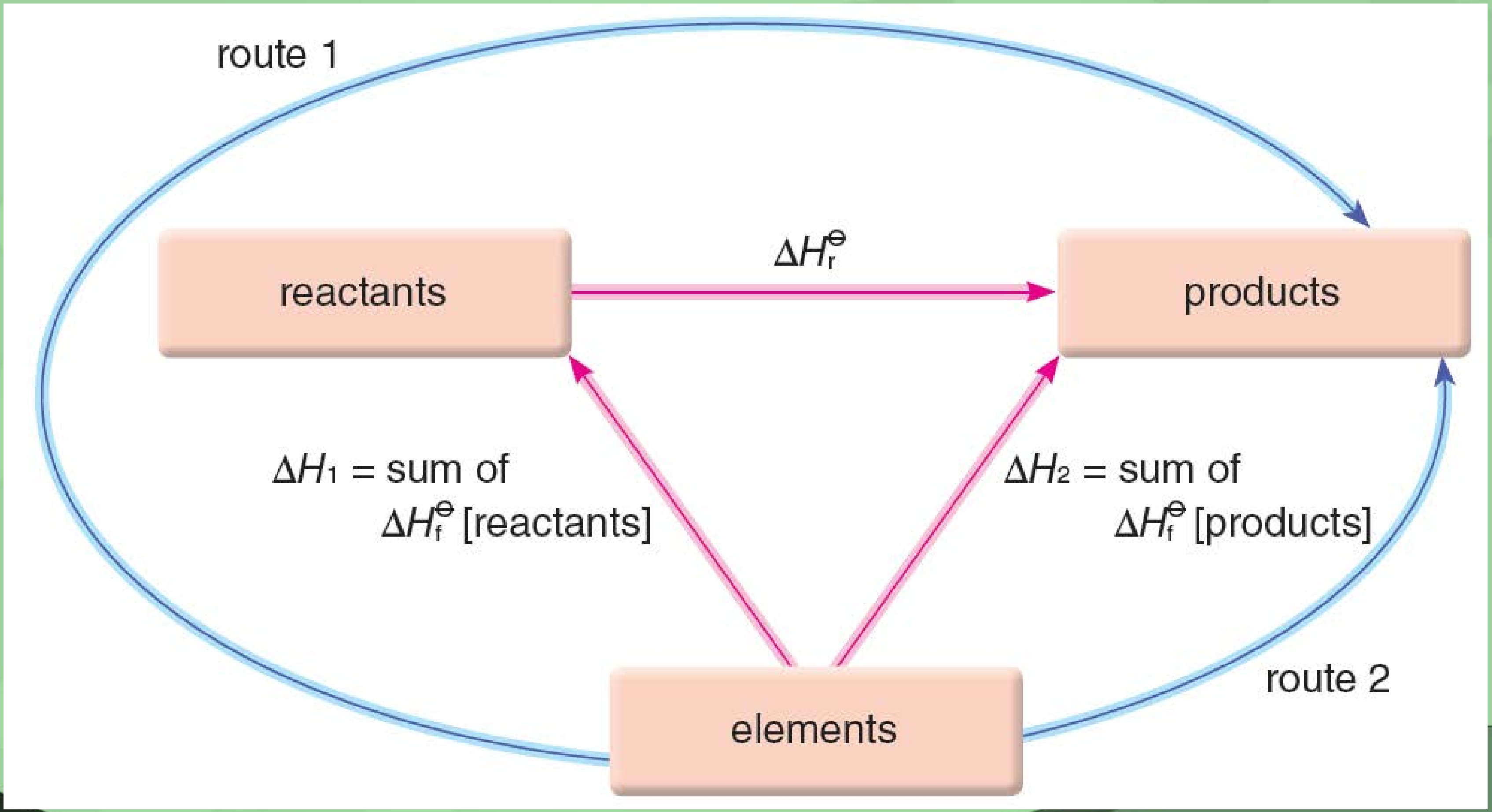
$= +34\ kJ\ mol^{-1}$

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

- 數據冊載有有機和無機化合物的標準生成焓變。這些數據的最大用途是讓化學家能計算列在表中的物質涉及的任何反應的標準反應焓變。

- 全賴赫斯定律，讓人們能利用數據冊所載的標準生成焓變求得標準反應焓變

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)



35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

- 根據赫斯定律： $\Delta H_1 + \Delta H_r^{\ominus} = \Delta H_2$

重新排列後得出： $\Delta H_r^{\ominus} = \Delta H_2 - \Delta H_1$

所以，

$\Delta H_r^{\ominus} = \Delta H_f^{\ominus}$ [生成物] 的總和 – $\Delta H_f^{\ominus}$ [反應物] 的總和

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

問 (例題 35.5)

把鐵從其礦石提取涉及反應的化學方程式顯示如下：

$$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$$

從下列 $\Delta H_f^\ominus$ 計算這反應的 $\Delta H_r^\ominus$ 。

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$Fe_2O_3(s)$	–826
$CO(g)$	–111
$Fe(s)$	0
$CO_2(g)$	–394

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

答

方法 1 利用焓變循環

基於已知的 $\Delta H_f^\ominus$，根據定義可寫出以下的熱化學方程式：

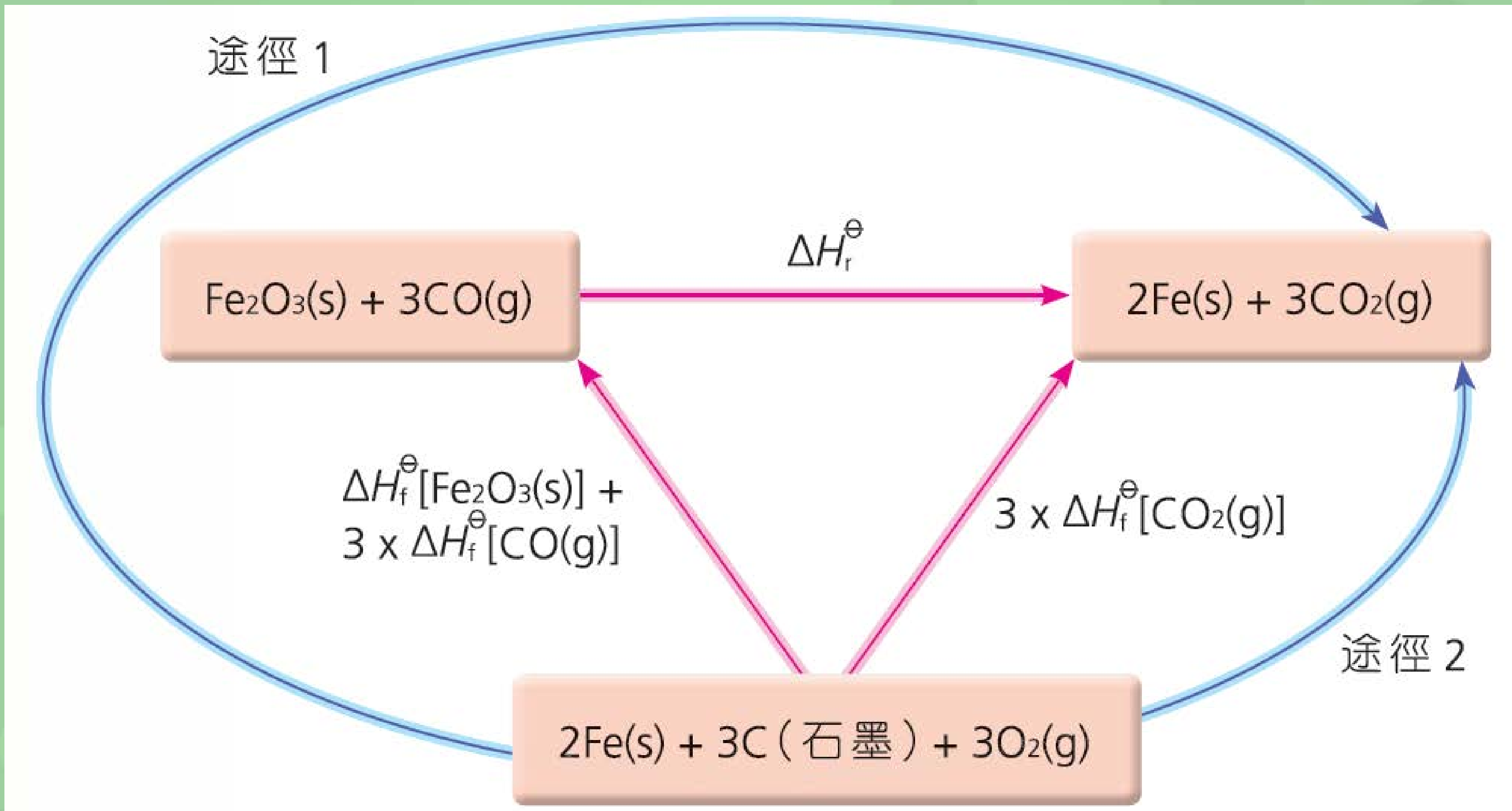
$$2Fe(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow Fe_2O_3(s) \qquad \Delta H_f^\ominus = -826\ kJ\ mol^{-1}$$

$$C(\text{石墨}) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) \qquad \Delta H_f^\ominus = -111\ kJ\ mol^{-1}$$

$$C(\text{石墨}) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H_f^\ominus = -394\ kJ\ mol^{-1}$$

基於已知數據可建構焓變循環，其中與待求焓變對應的方程式寫在焓變循環的頂端，以及箭頭由元素向上指向化合物。

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)



35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

根據赫斯定律：

$\Delta H_f^{\ominus}[Fe_2O_3(s)] + 3 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO(g)] + \Delta H_r^{\ominus} = 3 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO_2(g)]$

$\Delta H_r^{\ominus} = 3 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO_2(g)] - \Delta H_f^{\ominus}[Fe_2O_3(s)] + 3 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO(g)]$

$= [(-394) - (-826) - 3(-111)]\ kJ\ mol^{-1} = -23\ kJ\ mol^{-1}$

<u>方法 2 利用焓變總和</u>

$\Delta H_r^{\ominus} = \Delta H_f^{\ominus}$[生成物] 的總和 – $\Delta H_f^{\ominus}$[反應物] 的總和

$\Delta H_r^{\ominus} = 3 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO_2(g)] - \Delta H_f^{\ominus}[Fe_2O_3(s)] + 3 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO(g)]$

$= [(-394) - (-826) - 3(-111)]\ kJ\ mol^{-1} = -23\ kJ\ mol^{-1}$

∴ 這反應的標準焓變是 $-23\ kJ\ mol^{-1}$。

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

小測試 35.4

1 安裝在汽車的催化轉化器把一氧化氮和一氧化碳轉化成傷害性較低的物質。在該轉化中涉及反應的方程式顯示如下：

$$2CO(g) + 2NO(g) \rightarrow 2CO_2(g) + N_2(g)$$

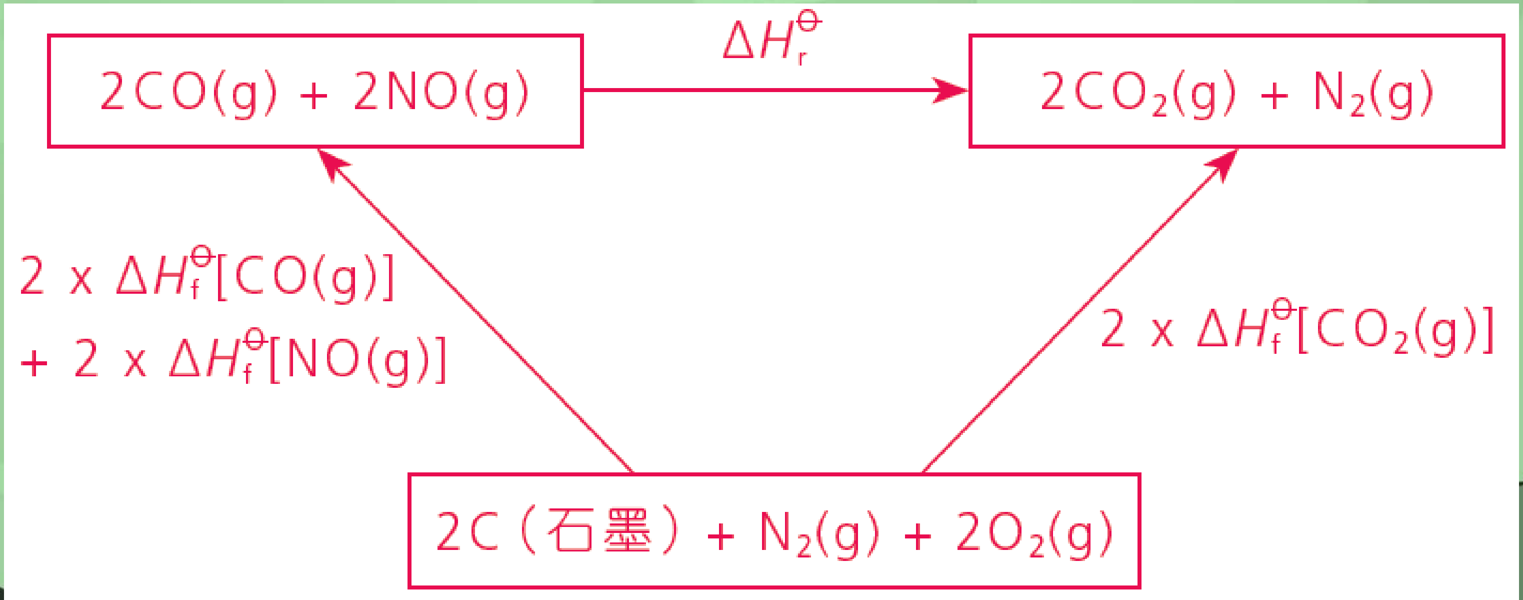
基於CO(g)、NO(g) 和CO_2(g) 的各生成焓變（ $\Delta H_f^\ominus$ ），可建構一個焓變循環和運用赫斯定律求得上述反應的焓變。

a) 繪出這焓變循環（附各標示）。

b) 下列是CO(g)、NO(g) 和CO_2(g) 的標準生成焓變：

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$CO(g)$	–111
$NO(g)$	+90
$CO_2(g)$	–394



35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

b) 根據赫斯定律：

$2 \times \Delta H_f^\ominus[CO(g)] + 2 \times \Delta H_f^\ominus[NO(g)] + \Delta H_r^\ominus = 2 \times \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)]$

$\Delta H_r^\ominus = 2 \times \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] - 2 \times \Delta H_f^\ominus[CO(g)] - 2 \times \Delta H_f^\ominus[NO(g)]$

$= [2(-394) - 2(-111) - 2(+90)] \text{ kJ mol}^{-1}$

$= -746 \text{ kJ mol}^{-1}$

∴ 該反應的標準焓變是 -746 kJ mol^{-1}。

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

2 鉛生成多種固體氧化物，最常見的是PbO、PbO_2 和Pb_3O_4。

a) 通過在氧中加熱可從PbO(s) 生成Pb_3O_4(s)。

$$3PbO(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow Pb_3O_4(s)$$

計算這反應的標準焓變。

（PbO(s) 的標準生成焓變 = $-219\ kJ\ mol^{-1}$；Pb_3O_4(s) 的標準生成焓變 = $-735\ kJ\ mol^{-1}$）

b) Pb_3O_4(s) 受熱時，會分解成PbO(s) 和PbO_2(s)。

$$Pb_3O_4(s) \rightarrow 2PbO(s) + PbO_2(s) \qquad \Delta H_r^{\ominus} = +20\ kJ\ mol^{-1}$$

利用這資料和(a) 所提供的數據，計算PbO_2(s) 的標準生成焓變。

35.4 由生成焓變求得反應焓變 (頁60)

a) $\Delta H_r^\ominus = \Delta H_f^\ominus[Pb_3O_4(s)] - 3 \times \Delta H_f^\ominus[PbO(s)]$

$= [(-735) - 3(-219)]\ kJ\ mol^{-1}$

$= -78\ kJ\ mol^{-1}$

∴ 這反應的標準焓變是 $-78\ kJ\ mol^{-1}$。

b) $\Delta H_r^\ominus = 2 \times \Delta H_f^\ominus[PbO(s)] + \Delta H_f^\ominus[PbO_2(s)] - \Delta H_f^\ominus[Pb_3O_4(s)]$

$\Delta H_f^\ominus[PbO_2(s)] = \Delta H_r^\ominus - 2 \times \Delta H_f^\ominus[PbO(s)] + \Delta H_f^\ominus[Pb_3O_4(s)]$

$= [+20 - 2(-219) + (-735)]\ kJ\ mol^{-1}$

$= -277\ kJ\ mol^{-1}$

∴ $PbO_2(s)$ 的標準生成焓變是 $-277\ kJ\ mol^{-1}$。

關鍵詞彙 (頁64)

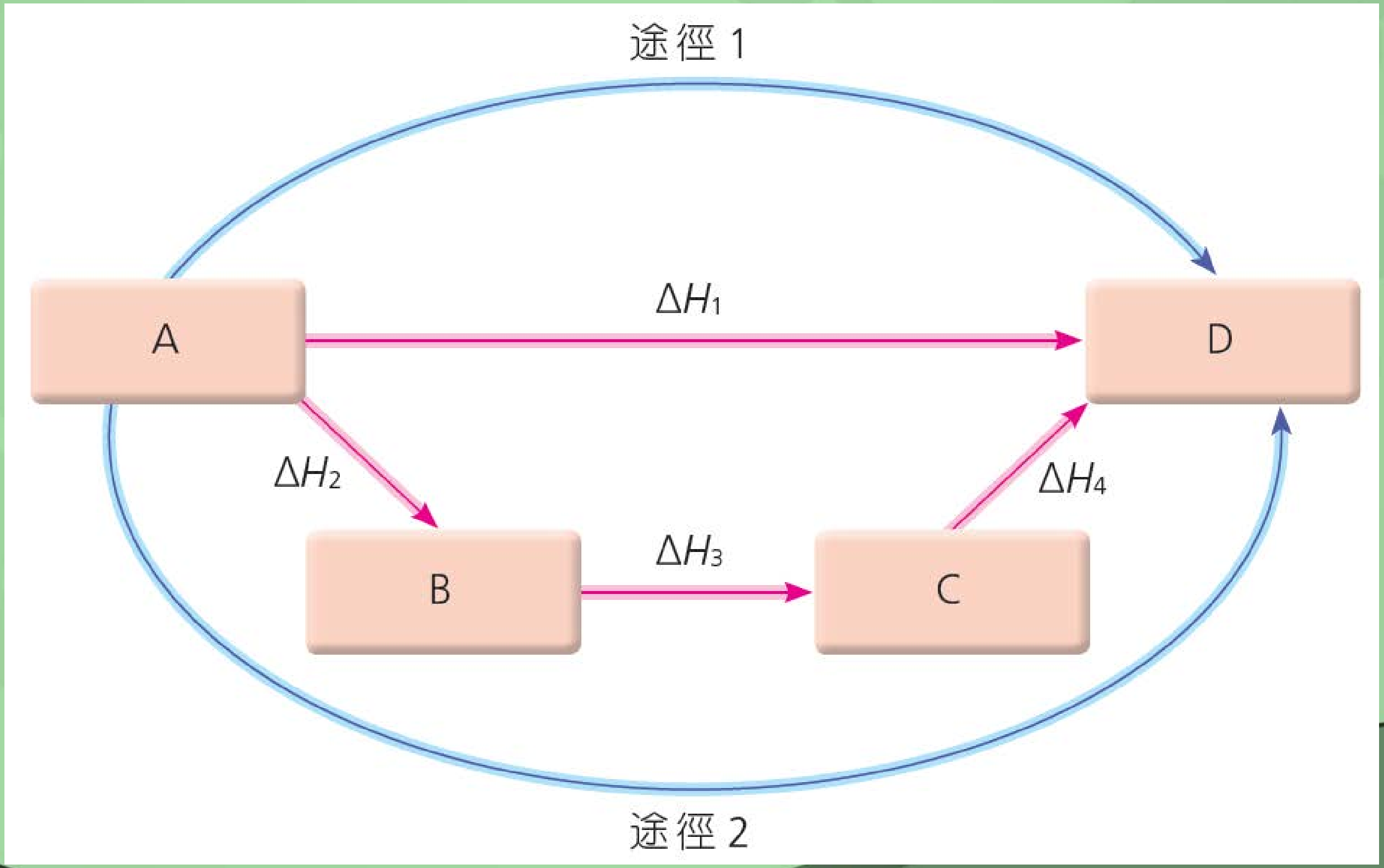
赫斯定律	Hess’s law	焓變循環	Enthalpy change cycle

摘要 (頁65)

1 赫斯定律指出：
只要起始和最終條件是一樣，一項化學反應的總焓變與該反應進行時所循的途徑無關。

摘要 (頁65)

2 以下焓變循環有助說明赫斯定律。
以符號表示：$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$



摘要 (頁65)

3 可用赫斯定律間接求得難以從實驗直接測定的焓變。

4 $\Delta H_{\mathrm{f}}^{\ominus}$[化合物] = $\Delta H_{\mathrm{c}}^{\ominus}$[元素] 的總和 – $\Delta H_{\mathrm{c}}^{\ominus}$[化合物]

5 $\Delta H_{\mathrm{r}}^{\ominus}$ = $\Delta H_{\mathrm{f}}^{\ominus}$[生成物] 的總和 – $\Delta H_{\mathrm{f}}^{\ominus}$[反應物] 的總和

按節練習 (頁66)

註：題目按難度由淺至深（1 至5 級）分類：

 題目以3 級或以上程度為目標；

 題目以4 級或以上程度為目標；

 題目以5 級程度為目標。

「 * 」顯示有效的傳意可取一分。

按節練習 (頁66)

第一部分 知識和理解

1 完成以下概念圖。

焓變（ΔH）

類別：
- 反應焓變（ΔH_r）相等於 (e)
- ___(b)___ 焓變（ΔH_f）相等於 (f)
- ___(c)___ 焓變（ΔH_c）
- ___(d)___ 焓變（ΔH_n）

求得焓變的方法：赫斯定律

指出：化學反應的總焓變是 ___(a)___

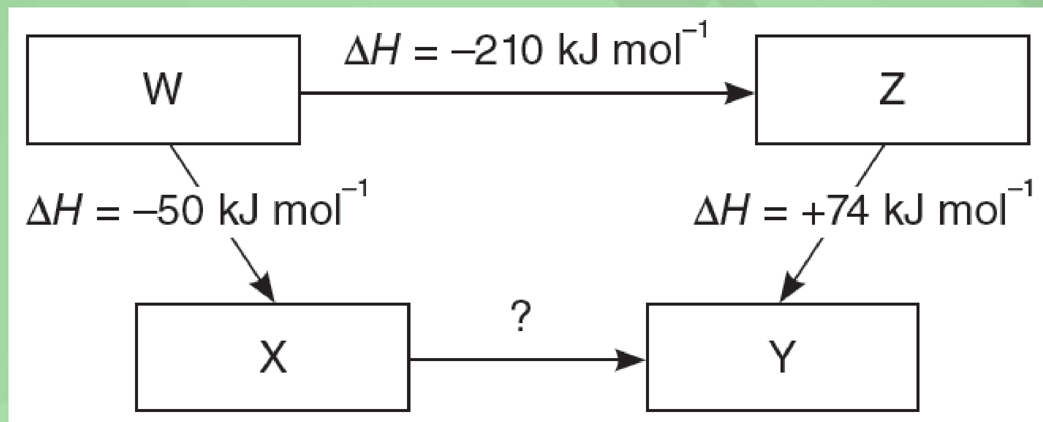
a) 與該反應進行時所循的途徑無關
b) 生成
c) 燃燒
d) 中和
e) $\Delta H_f^{\ominus}$[生成物] 的總和 – $\Delta H_f^{\ominus}$[反應物] 的總和

f) $\Delta H_c^{\ominus}$[元素] 的總和 – $\Delta H_c^{\ominus}$[化合物]

按節練習 (頁66)

第二部分 多項選擇題

2 參照以下的焓變循環：



答案：A

根據赫斯定律，X 反應生成Y 的ΔH 值是

A –86 kJ mol^{-1}
B –234 kJ mol^{-1}
C +86 kJ mol^{-1}
D +234 kJ mol^{-1}

題解：

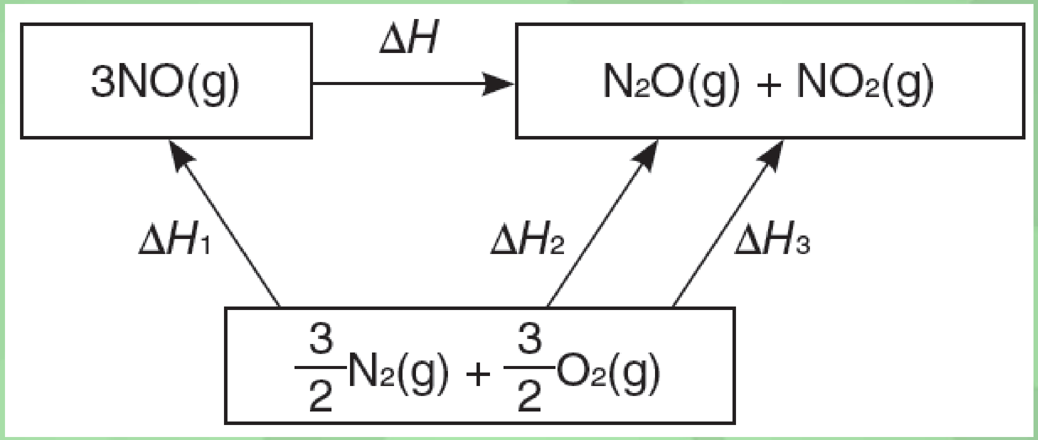
根據赫斯定律：

$-50\ \text{kJ mol}^{-1} + \Delta H = -210\ \text{kJ mol}^{-1} + 74\ \text{kJ mol}^{-1}$

$\Delta H = -86\ \text{kJ mol}^{-1}$

按節練習 (頁66)

3 以下是涉及NO(g) 的分解的焓變循環：



答案：A

下列哪項正確？

A $\Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3 - \Delta H_1$
B $\Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_1$
C $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_3 - \Delta H_1$
D $\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_3 + \Delta H_1$

題解：

根據赫斯定律：

$\Delta H_1 + \Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3$

$\Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3 - \Delta H_1$

按節練習 (頁66)

4 製造硫酸涉及反應的兩條方程式和焓變顯示如下：

$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g) \quad \Delta H = -297\ kJ\ mol^{-1}$

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad \Delta H = -198\ kJ\ mol^{-1}$

答案：D

以下反應的焓變是多少？

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

A –99 kJ mol^{-1}
B –495 kJ mol^{-1}
C –693 kJ mol^{-1}
D –792 kJ mol^{-1}

把方程式 (1) 乘以 2，得出方程式 (1)′。

$2S(s) + 2O_2(g) \longrightarrow 2SO_2(g) \qquad \Delta H = 2(-297)\ kJ$

把方程式 (1)′ 和 (2) 加在一起：

$(1)'\ 2S(s) + 2O_2(g) \longrightarrow \cancel{2SO_2(g)} \qquad \Delta H = 2(-297)\ kJ$

$(2)\ \cancel{2SO_2(g)} + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g) \qquad \Delta H = -198\ kJ$

$2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$

根據赫斯定律：

$\Delta H_r = [2(-297) + (-198)]\ kJ\ mol^{-1}$
$= -792\ kJ\ mol^{-1}$

按節練習 (頁66)

5 銅與氧按以下方程式反應生成兩種氧化物：

$2Cu(s) + O_2(g) \rightarrow 2CuO(s)$ $\Delta H = -312\ kJ\ mol^{-1}$

$2Cu(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow Cu_2O(s)$ $\Delta H = -170\ kJ\ mol^{-1}$

以下反應的焓變是多少？

$4CuO(s) \rightarrow 2Cu_2O(s) + O_2(g)$

A –284 kJ mol^{-1}
B –142 kJ mol^{-1}
C +142 kJ mol^{-1}
D +284 kJ mol^{-1}

答案：D

把方程式 (1) 乘以 2，然後左右方對調，得出方程式 (1)′。

$4CuO(s) \longrightarrow 4Cu(s) + 2O_2(g)$ $\Delta H = 2(+312)\ kJ$

把方程式 (2) 乘以 2，得出方程式 (2)′。

$4Cu(s) + O_2(g) \longrightarrow 2Cu_2O(s)$ $\Delta H = 2(-170)\ kJ$

把方程式 (1)′ 和 (2)′ 加在一起：

$4CuO(s) \longrightarrow \cancel{4Cu(s)} + \cancel{2}O_2(g)$ $\Delta H = 2(+312)\ kJ$

$\cancel{4Cu(s)} + \cancel{O_2(g)} \longrightarrow 2Cu_2O(s)$ $\Delta H = 2(-170)\ kJ$

$4CuO(s) \longrightarrow 2Cu_2O(s) + O_2(g)$

根據赫斯定律：

$$\Delta H_r = [2(+312) + 2(-170)]\ kJ\ mol^{-1}$$
$$= +284\ kJ\ mol^{-1}$$

按節練習 (頁66)

6 甲烷可通過涉及兩個步驟的過程生成甲醇。在第一個步驟中，甲烷和水蒸汽反應生成一氧化碳和氫。

$$CH_4(g) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + 3H_2(g)$$

參照下列焓變：

反應	焓變
$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$	$-283\ kJ\ mol^{-1}$
$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$	$-242\ kJ\ mol^{-1}$
$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$	$-803\ kJ\ mol^{-1}$

甲烷與水蒸汽之間反應的焓變是多少？

A $+360\ kJ\ mol^{-1}$
B $+206\ kJ\ mol^{-1}$
C $-206\ kJ\ mol^{-1}$
D $-360\ kJ\ mol^{-1}$

答案：B

把方程式 (1) 左右方對調，得出方程式 (1)′。

$$CO_2(g) \longrightarrow CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad \Delta H = +283\ kJ$$

把方程式 (2) 乘以 3，然後左右方對調，得出方程式 (2)′。

$$3H_2O(g) \longrightarrow 3H_2(g) + \frac{3}{2}O_2(g) \qquad \Delta H = 3(+242)\ kJ$$

把方程式 (1)′、(2)′ 和 (3) 加在一起：

$$\cancel{CO_2(g)} \longrightarrow CO(g) + \cancel{\frac{1}{2}O_2(g)} \qquad \Delta H = +283\ kJ$$

$$\cancel{3H_2O(g)} \longrightarrow 3H_2(g) + \cancel{\frac{3}{2}O_2(g)} \qquad \Delta H = 3(+242)\ kJ$$

$$CH_4(g) + \cancel{2O_2(g)} \longrightarrow \cancel{CO_2(g)} + \cancel{2H_2O(g)} \qquad \Delta H = -803\ kJ$$

$$CH_4(g) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + 3H_2(g)$$

根據赫斯定律：

$$\Delta H_r = [+283 + 3(+242) + (-803)]\ kJ\ mol^{-1}$$
$$= +206\ kJ\ mol^{-1}$$

按節練習 (頁66)

7 已知下列數據：

物質	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
C(石墨)	–394
$H_2(g)$	–286
$CH_3CH_2CH_2OH(l)$	–2 021

$CH_3CH_2CH_2OH(l)$ 的標準生成焓變是多少？

A +1 341 kJ mol^{-1}
B –1 341 kJ mol^{-1}
C –305 kJ mol^{-1}
D +305 kJ mol^{-1}

答案：C

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\ominus[CH_3CH_2CH_2OH(l)] &= \Delta H_c^\ominus[\text{元素}]\text{的總和} - \Delta H_c^\ominus[CH_3CH_2CH_2OH(l)]\\ &= 3 \times \Delta H_c^\ominus[C(\text{石墨})] + 4 \times \Delta H_c^\ominus[H_2(g)] - \Delta H_c^\ominus[CH_3CH_2CH_2OH(l)]\\ &= [3(-394) + 4(-286) - (-2\ 021)]\ \text{kJ mol}^{-1}\\ &= -305\ \text{kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

按節練習 (頁66)

8 考慮$MnO_2(s)$ 與$C(s)$ 的反應：

$$MnO_2(s) + C(s) \rightarrow Mn(s) + CO_2(g)$$

$CO_2(g)$ 和$MnO_2(s)$ 的標準生成焓變顯示如下：

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$CO_2(g)$	–394
$MnO_2(s)$	–520

上述反應的標準焓變是多少？

A +914 kJ mol^{-1}
B +126 kJ mol^{-1}
C –126 kJ mol^{-1}
D –914 kJ mol^{-1}

答案：B

$$\begin{aligned}\Delta H_r^\ominus &= \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] - \Delta H_f^\ominus[MnO_2(s)] \\ &= [(-394) - (-520)]\ \text{kJ mol}^{-1} \\ &= +126\ \text{kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

按節練習 (頁66)

9 在標準條件下，完全燃燒0.0180 摩爾的乙烯（$C_2H_4(g)$）放出25.4 kJ 的熱。乙烯的標準生成焓變是多少？
（$H_2(g)$ 的標準燃燒焓變 = –286 kJ mol^{-1}；
C（石墨）的標準燃燒焓變= –394 kJ mol^{-1}）

A –705 kJ mol^{-1}
B –51 kJ mol^{-1}
C +51 kJ mol^{-1}
D +705 kJ mol^{-1}

答案：C

$$\Delta H_c^\ominus[C_2H_4(g)] = \frac{-25.4\ \text{kJ}}{0.0180\ \text{mol}} = -1\ 411\ \text{kJ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\ominus[C_2H_4(g)] &= \Delta H_c^\ominus[\text{元素}]\text{的總和} - \Delta H_c^\ominus[C_2H_4(g)] \\ &= 2 \times \Delta H_c^\ominus[C(\text{石墨})] + 2 \times \Delta H_c^\ominus[H_2(g)] - \Delta H_c^\ominus[C_2H_4(g)] \\ &= [2(-394) + 2(-286) - (-1\ 411)]\ \text{kJ mol}^{-1} \\ &= +51\ \text{kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

按節練習 (頁66)

10 考慮在某條件下，$TiCl_4(l)$ 與 $H_2O(l)$ 之間的反應：

$$TiCl_4(l) + 2H_2O(l) \rightarrow TiO_2(s) + 4HCl(g) \quad \Delta H = +63 \text{ kJ mol}^{-1}$$

下表列出在相同條件下的生成焓變。

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$H_2O(l)$	–286
$TiO_2(s)$	–945
$HCl(g)$	–92

答案：D

在相同條件下，$TiCl_4(l)$ 的生成焓變是多少？

A +804 kJ mol^{-1}
B +528 kJ mol^{-1}
C –528 kJ mol^{-1}
D –804 kJ mol^{-1}

$\Delta H_r = \Delta H_f[TiO_2(s)] + 4 \times \Delta H_f[HCl(g)] - \Delta H_f[TiCl_4(l)] - 2 \times \Delta H_f[H_2O(l)]$

$$\begin{aligned}\Delta H_f[TiCl_4(l)] &= \Delta H_f[TiO_2(s)] + 4 \times \Delta H_f[HCl(g)] - 2 \times \Delta H_f[H_2O(l)] - \Delta H_r \\ &= [(-945) + 4(-92) - 2(-286) - (+63)] \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -804 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

按節練習 (頁66)

11 已知下列數據：

$2FeO(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(s)$ $\Delta H_r^\ominus = -280\ kJ\ mol^{-1}$

$\Delta H_f^\ominus[Fe_2O_3(s)] = -824\ kJ\ mol^{-1}$

FeO(s) 的標準生成焓變是多少？

A $+544\ kJ\ mol^{-1}$
B $+272\ kJ\ mol^{-1}$
C $-272\ kJ\ mol^{-1}$
D $-544\ kJ\ mol^{-1}$

答案：C

$$\Delta H_r^\ominus = \Delta H_f^\ominus[Fe_2O_3(s)] - 2 \times \Delta H_f^\ominus[FeO(s)]$$
$$2 \times \Delta H_f^\ominus[FeO(s)] = \Delta H_f^\ominus[Fe_2O_3(s)] - \Delta H_r^\ominus$$
$$\Delta H_f^\ominus[FeO(s)] = \frac{1}{2}[(-824) - (-280)]\ kJ\ mol^{-1}$$
$$= -272\ kJ\ mol^{-1}$$

按節練習 (頁66)

12 在標準條件下，完全燃燒0.0400 摩爾的丁酮放出97.6 kJ 的熱。

$$C_2H_5COCH_3(l) + \frac{11}{2} O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 4H_2O(l)$$

答案：A

丁酮的標準生成焓變是多少？
（$H_2O(l)$ 的標準生成焓變 = –286 kJ mol_{-1}；
$CO_2(g)$ 的標準生成焓變 = –394 kJ mol^{-1}）

A –280 kJ mol^{-1}
B +280 kJ mol^{-1}
C –2 010 kJ mol^{-1}
D +2 010 kJ mol^{-1}

$$\Delta H_c^{\ominus}[C_2H_5COCH_3(l)] = \frac{-97.6 \text{ kJ}}{0.0400 \text{ mol}} = -2\ 440 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_c^{\ominus} = 4 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO_2(g)] + 4 \times \Delta H_f^{\ominus}[H_2O(l)] - \Delta H_f^{\ominus}[C_2H_5COCH_3(l)]$$

$$\begin{aligned}\Delta H_f^{\ominus}[C_2H_5COCH_3(l)] &= 4 \times \Delta H_f^{\ominus}[CO_2(g)] + 4 \times \Delta H_f^{\ominus}[H_2O(l)] - \Delta H_c^{\ominus} \\ &= [4(-394) + 4(-286) - (-2\ 440)] \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -280 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

按節練習 (頁66)

13 下列反應，何者的焓變必須通過間接方法求得？

(1) $CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

(2) $CH_3OH(l) + \frac{3}{2} O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$

(3) $2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$

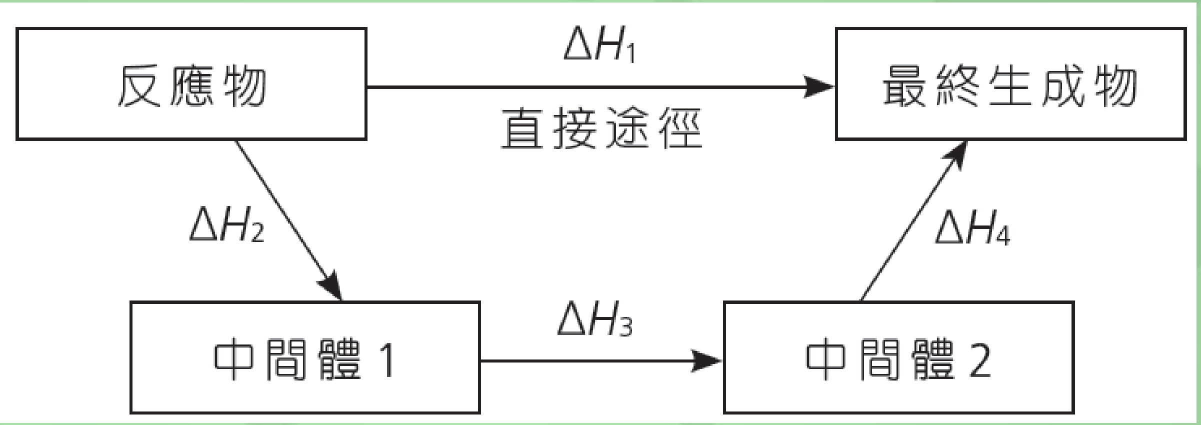
A 只有(1)
B 只有(2)
C 只有(1) 和(3)
D 只有(2) 和(3)

(1) 難以量度加熱中的物質所吸入的熱。
難以量度固體的溫度變化。
(3) 在這反應中，$2C(s) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$，
$CO(g)$ 會進一步被氧化（即是，
$2CO(g) + O_2(g)$ 2CO2(g) ）。

按節練習 (頁66)

第三部分 結構性問題

14 直接量度焓變有時候是不可能的。然而，根據赫斯定律及利用焓變循環可間接求出焓變。



利用焓變循環，

a) 寫出方程式描述ΔH_1、ΔH_2、ΔH_3 和ΔH_4 之間的關係。

$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$ (1)

b) 解釋你對赫斯定律的理解。

赫斯定律指出：「只要起始和最終條件是一樣，一項化學反應的總焓變與該反應進行時所循的途徑無關。」(1)

按節練習 (頁66)

15 通過運用赫斯定律，標準燃燒焓變可用於計算化合物的標準生成焓變。

a) 寫出赫斯定律。

赫斯定律指出：「只要起始和最終條件是一樣，一項化學反應的總焓變與該反應進行時所循的途徑無關。」 (1)

b) 乙酸甲酯是液體酯。

i) 寫出與乙酸甲酯的標準生成焓變對應的化學方程式，包括狀態符號。

$3C$(石墨) $+ 3H_2(g) + O_2(g) \rightarrow CH_3COOCH_3(l)$ (1)

按節練習 (頁66)

ii) 利用下列數據來計算乙酸甲酯的標準生成焓變。

物質	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
C(石墨)	–394
H_2(g)	–286
CH_3COOCH_3(l)	–1 592

$\Delta H_f^\ominus[CH_3COOCH_3(l)] = \Delta H_c^\ominus$[元素] 的總和 $- \Delta H_c^\ominus[CH_3COOCH_3(l)]$

= 3 x $\Delta H_c^\ominus$[C(石墨)] + 3 x $\Delta H_c^\ominus[H_2(g)] - \Delta H_c^\ominus[CH_3COOCH_3(l)]$

= [3(–394) + 3(–286) – (–1 592)] kJ mol^{-1} (1)

= –448 kJ mol^{-1}

∴ 乙酸甲酯的標準生成焓變是 –448 kJ mol^{-1}。 (1)

按節練習 (頁66)

16 丁-1,3- 二烯是氣體烴，分子式為C_4H_6。

a) 以丁-1,3- 二烯（$C_4H_6(g)$）為例，輔以一化學方程式，寫出「標準生成焓變」一詞的意思。

物質的標準生成焓變（ $\Delta H_f^\ominus$ ）是在標準條件下，一摩爾該物質從其處於標準態的成分元素生成時的焓變。(1)
4C(石墨) + $3H_2(g)$ → $C_4H_6(g)$ (1)

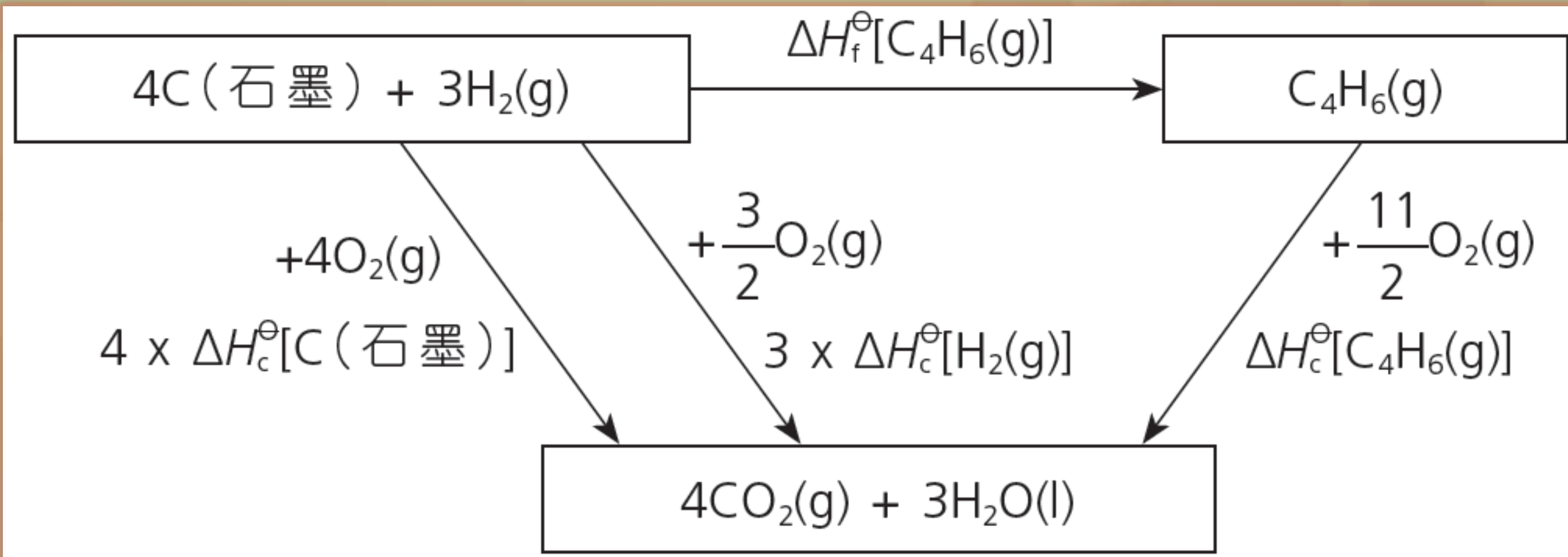
b) 提出為甚麼不能通過實驗直接測定C4H6(g) 的生成焓變。

$C_4H_6(g)$ 不能直接由其成分元素反應生成。/ 在正常條件下，碳和氫不會反應生成$C_4H_6(g)$。 (1)

按節練習 (頁66)

c) 基於$C_4H_6(g)$、C（石墨）和$H_2(g)$ 的各燃燒焓變（ΔH_c），建構一個焓變循環和運用赫斯定律可求得$C_4H_6(g)$ 的生成焓變。

i) 繪出這焓變循環（附各標示）。



(2)

按節練習 (頁66)

ii) 利用下列數據來計算丁-1,3- 二烯的標準生成焓變。

物質	$\Delta H_c^{\ominus}$ (kJ mol^{-1})
C(石墨)	–394
H_2(g)	–286
C_4H_6(g)	–2 542

根據赫斯定律：

$\Delta H_f^{\ominus}[C_4H_6(g)] + \Delta H_c^{\ominus}[C_4H_6(g)] = 4 \times \Delta H_c^{\ominus}[C(graphite)] + 3 \times \Delta H_c^{\ominus}[H_2(g)]$

$\Delta H_f^{\ominus}[C_4H_6(g)] = 4 \times \Delta H_c^{\ominus}[C(graphite)] + 3 \times \Delta H_c^{\ominus}[H_2(g)] - \Delta H_c^{\ominus}[C_4H_6(g)]$

$= [4(-394) + 3(-286) - (-2\ 542)]$ kJ mol^{-1} (1)

$= +108$ kJ mol^{-1} (1)

∴ C_4H_6(g) 的標準生成焓變是+108 kJ mol^{-1}。

按節練習 (頁66)

17 在氧氣不足的情況下，乙烷燃燒時會生成一氧化碳和水。

$$C_2H_6(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \rightarrow 2CO(g) + 3H_2O(l)$$

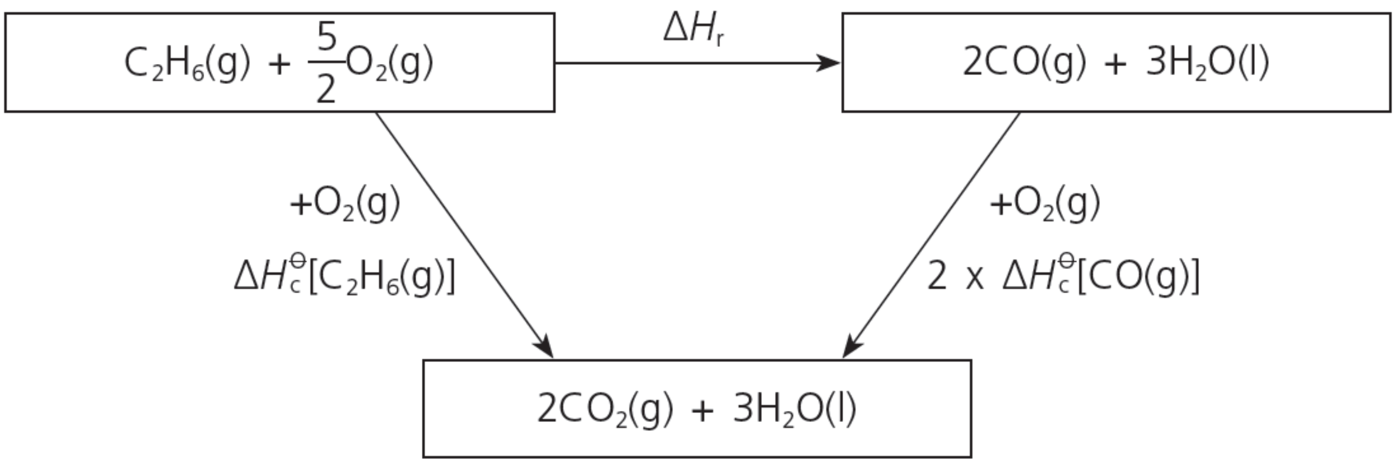
雖然不能直接測定這反應的焓變，但可利用乙烷和一氧化碳的燃燒焓變（ΔH_c）和運用赫斯定律求得這反應的焓變。

a) 解釋為甚麼不能直接測定上述反應的焓變。

反應沒法在生成CO 便停止。該反應會生成一些CO_2，亦可能生成一些碳 / 煙灰。 (1)
不能量度乙烷和氧的實際份量。

按節練習 (頁66)

b) 繪出附有標示的焓變循環，當中可從乙烷和一氧化碳的 $\Delta H_c^\ominus$ 求得由乙烷生成一氧化碳的燃燒焓變。



(2)

按節練習 (頁66)

c) 計算上述反應的焓變。
（乙烷的標準燃燒焓變 = –1 411 kJ mol^{-1}；一氧化碳的標準燃燒焓變 = –283 kJ mol^{-1}）

根據赫斯定律：

$\Delta H_r + 2 \times \Delta H_c^{\ominus}[CO(g)] = \Delta H_c [C_2H_6(g)]$

$\Delta H_r = \Delta H_c^{\ominus}[C_2H_6(g)] - 2 \times \Delta H_c^{\ominus}[CO(g)]$

= [(–1 411) – 2(–283)] kJ mol^{-1} (1)
= –845 kJ mol^{-1} (1)
∴ 該反應焓變是 –845 kJ mol^{-1}。

按節練習 (頁66)

18 火箭利用四氧化二氮（N_2O_4）和甲基.（CH_3NHNH_2）之間的反應放出大量的熱。

$$4CH_3NHNH_2(l) + 5N_2O_4(l) \rightarrow 4CO_2(g) + 12H_2O(g) + 9N_2(g)$$

$$\Delta H_r = -4\ 596 \text{ kJ mol}^{-1}$$

下表列出一些標準生成焓變：

物質	$\Delta H_f^{\ominus}$ (kJ mol^{-1})
$CH_3NHNH_2(l)$	+54
$CO_2(g)$	–394
$H_2O(g)$	–242

按節練習 (頁66)

a)「標準生成焓變」一詞的意思是甚麼？
寫出各標準條件。

物質的標準生成焓變（ $\Delta H_f^\ominus$ ）是在標準條件下，一摩爾該物質從其處於標準態的成分元素生成時的焓變。 (1)
標準條件：298 K，1 個大氣壓強 (1)

b) 寫出與$N_2O_4(l)$ 的標準生成焓變對應的化學方程式，包括狀態符號。

$N_2(g) + 2O_2(g) \rightarrow N_2O_4(l)$ (1)

按節練習 (頁66)

c) 利用上述的數據，計算$N_2O_4(l)$ 的標準生成焓變。

$\Delta H_r = \Delta H_f^\ominus$[生成物] 的總和 – $\Delta H_f^\ominus$[反應物] 的總和

$= 4 \times \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] + 12 \times \Delta H_f^\ominus[H_2O(g)] - 4 \times \Delta H_f^\ominus[CH_3NHNH_2(l)] - 5 \times \Delta H_f^\ominus[N_2O_4(l)]$

$5 \times \Delta H_f^\ominus[N_2O_4(l)] = 4 \times \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] + 12 \times \Delta H_f^\ominus[H_2O(g)] - 4 \times \Delta H_f^\ominus[CH_3NHNH_2(l)] - \Delta H_r$

$\Delta H_f^\ominus[N_2O_4(l)] = \frac{1}{5}[4(-394) + 12(-242) - 4(+54) - (-4\ 596)]\ kJ\ mol^{-1}$ (1)

$= -20\ kJ\ mol^{-1}$ (1)

$\therefore$ $N_2O_4(l)$ 的標準生成焓變是 $-20\ kJ\ mol^{-1}$。

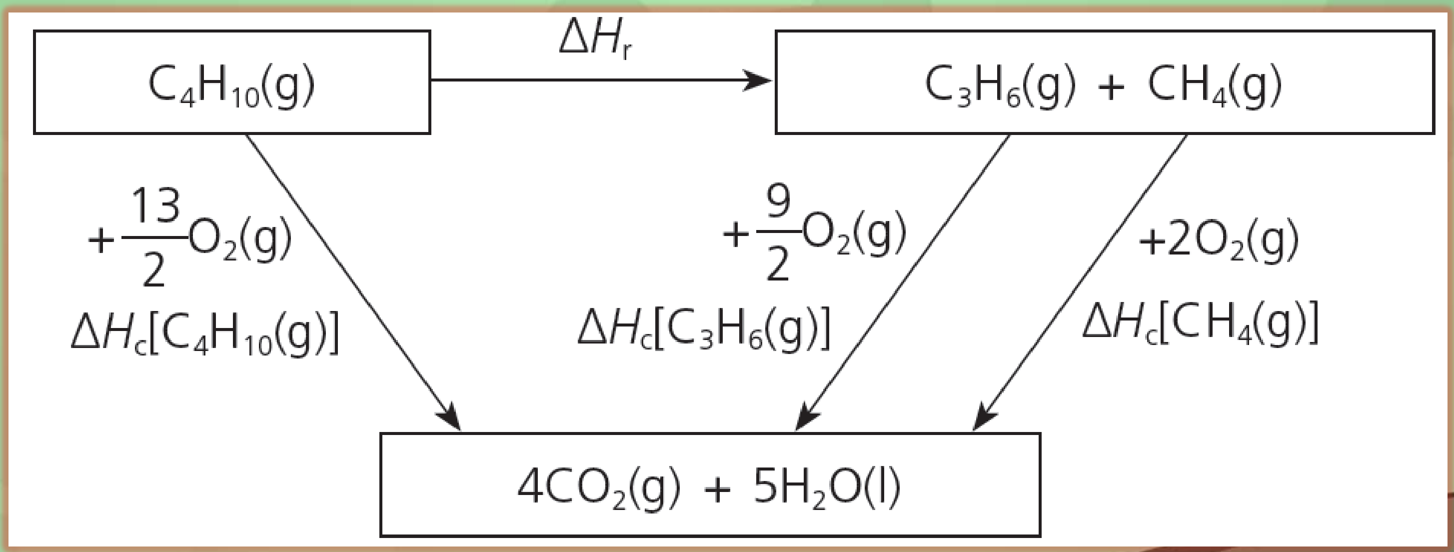
按節練習 (頁66)

19 丁烷的裂解作用的方程式顯示如下：

$C_4H_{10}(g) \rightarrow C_3H_6(g) + CH_4(g)$

基於$C_4H_{10}(g)$、$C_3H_6(g)$ 和$CH_4(g)$ 的各燃燒焓變（ΔH_c），建構一個焓變循環和運用赫斯定律可求得這裂解反應的焓變。

a) 繪出這焓變循環（附各標示）。



按節練習 (頁66)

b) 下列是$C_4H_{10}(g)$、$C_3H_6(g)$和$CH_4(g)$的標準燃燒焓變（$\Delta H_c^\ominus$）。

	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$C_4H_{10}(g)$	–2 877
$C_3H_6(g)$	–2 058
$CH_4(g)$	–890

i) 寫出「標準焓變」的各標準條件。

298 K; 1個大氣壓強 (1)

ii) 計算這裂解反應的標準焓變。

根據赫斯定律：

$\Delta H_c^\ominus[C_4H_{10}(g)] = \Delta H_r^\ominus + \Delta H_c^\ominus[C_3H_6(g)] + \Delta H_c^\ominus[CH_4(g)]$

$\Delta H_r = \Delta H_c^\ominus[C_4H_{10}(g)] - \Delta H_c^\ominus[C_3H_6(g)] - \Delta H_c^\ominus[CH_4(g)]$

= [(–2 877) – (–2 058) – (–890)] kJ mol^{-1} (1) = +71 kJ mol^{-1} (1)

∴ 這裂解反應的標準焓變是 +71 kJ mol^{-1}。

按節練習 (頁66)

20 太空船的火箭助推器用含Al(s) 和NH_4ClO_4(s) 的混合物作為燃料。點燃時，該燃料發生反應生成Al_2O_3(s)、$AlCl_3$(s)、NO(g) 和H_2O(g)。

a) 完成和配平Al(s) 和NH_4ClO_4(s) 之間反應的化學方程式。

3 Al(s) + 3 NH_4ClO_4(s) → Al_2O_3(s) + $AlCl_3$(s) + 3NO(g) + 6H_2O(g) (1)

b) 下表列出一些標準生成焓變。

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
NH_4ClO_4(s)	–295
Al_2O_3(s)	–1 676
$AlCl_3$(s)	–704
NO(g)	+90
H_2O(g)	–242

按節練習 (頁66)

i) 以$NH_4ClO_4(s)$ 為例，輔以一化學方程式來寫出「標準生成焓變」一詞的意思。

物質的標準生成焓變（ $\Delta H_f^\ominus$ ）是在標準條件下，一摩爾該物質從其處於標準態的成分元素生成時的焓變。 (1)

$$\frac{1}{2}N_2(g) + 2H_2(g) + \frac{1}{2}Cl_2(g) + 2O_2(g) \rightarrow NH_4ClO_4(s) \quad (1)$$

ii) 計算Al(s) 和NH_4ClO4(s) 之間反應的標準焓變。

$\Delta H_r^\ominus = \Delta H_f^\ominus$ [生成物] 的總和 – $\Delta H_f^\ominus$ [反應物] 的總和

$= \Delta H_f^\ominus[Al_2O_3(s)] + \Delta H_f^\ominus[AlCl_3(s)] + 3 \times \Delta H_f^\ominus[NO(g)] + 6 \times \Delta H_f^\ominus[H_2O(g)] –$
$3 \times \Delta H_f^\ominus[NH_4ClO_4(s)]$

$= [(–1\ 676) + (–704) + 3(+90) + 6(–242) – 3(–295)]\ kJ\ mol^{–1}$ (1)

$= –2\ 677\ kJ\ mol^{–1}$ (1)

∴ Al(s) 和NH4ClO4(s) 之間反應的標準焓變是 $–2\ 677\ kJ\ mol^{–1}$。

按節練習 (頁66)

21 能量以不同形式存在。
葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$）是生物的一個重要能量來源。
a) 寫出把二氧化碳氣體和液體水轉化為固體葡萄糖和氧氣的化學方程式。

b) 已知以下的標準生成焓變：
$CO_2(g) = -394\ kJ\ mol^{-1}$，$H_2O(l) = -286\ kJ\ mol^{-1}$，
$C_6H_{12}O_6(s) = -1\ 274\ kJ\ mol^{-1}$
計算在上述(a) 中轉化的標準焓變。

c) 綠色植物可把二氧化碳和水轉化為葡萄糖和氧。寫出在這轉化中的能量轉換。

(HKDSE, Paper 1B, 2018, 6(a))

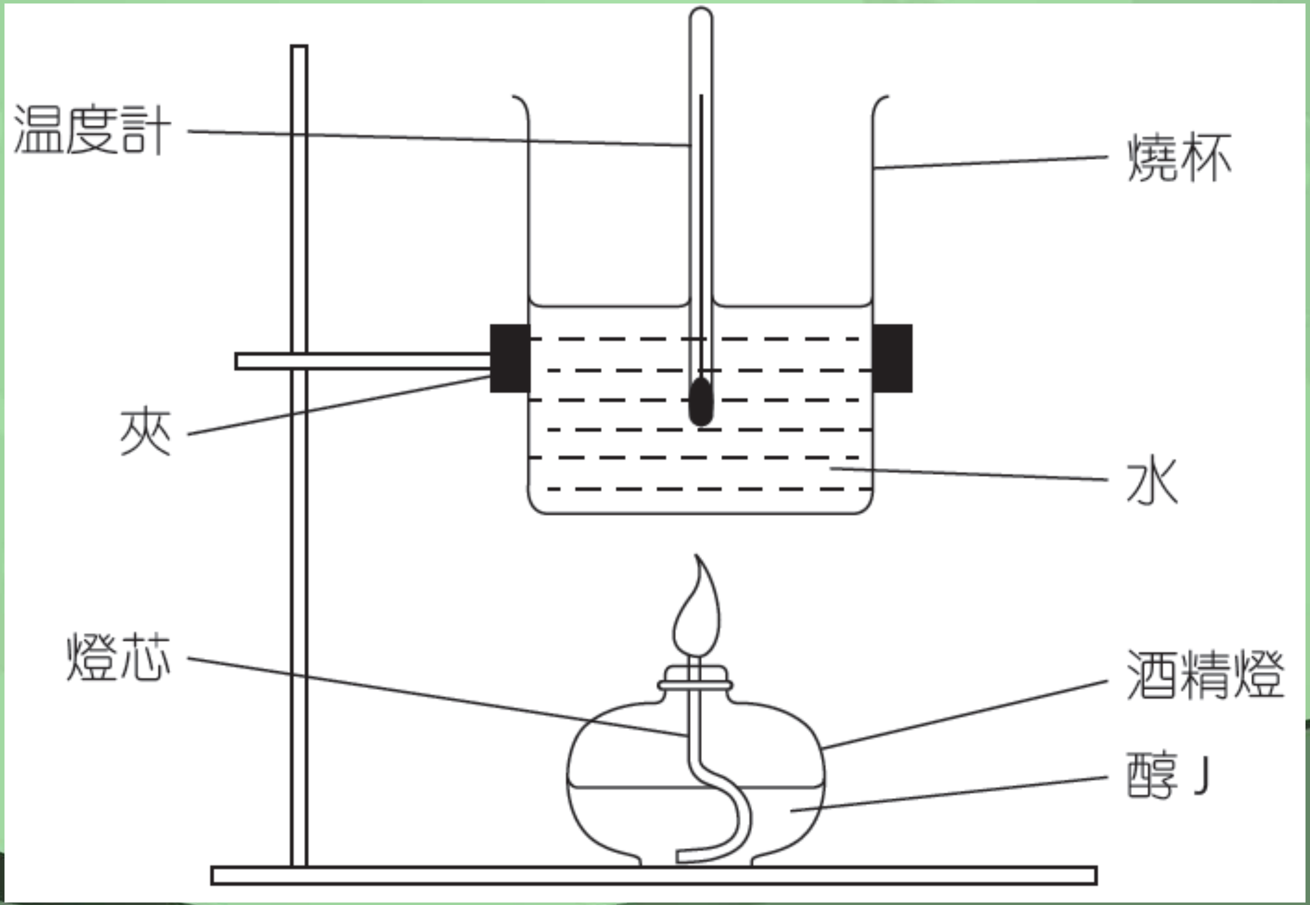
香港公開考試試題答案從略（如適用）。

按節練習 (頁66)

22 含支鏈的醇J 是液體，其分子式是$C_5H_{12}O$。

a) 一名學生進行實驗來量度醇J 的燃燒焓變（ΔH_c）。

i) 該學生利用以下的儀器燃燒醇J。



按節練習 (頁66)

該學生得出燃燒1.54 g 的醇J，使180 g 的水的溫度從22.8 °C 上升至75.3 °C。水的比熱容是4.18 J g^{-1} K^{-1}。

- 計算所燃燒的醇J 的摩爾數。
- 計算醇J 的燃燒焓變（ΔH_c）（以kJ mol^{-1} 為單位）。

放出的熱

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

= 180 g x 4.18 J g^{-1} K^{-1} x (75.3 – 22.8) K = 39 500 J = 39.5 kJ (1)

醇J 的摩爾質量

= (5 x 12.0 + 12 x 1.0 + 16.0) g mol^{-1} = 88.0 g mol^{-1}

所燃燒的醇的摩爾數

$$= \frac{1.54\ \text{g}}{88.0\ \text{g mol}^{-1}} = 0.0175\ \text{mol}$$

醇J 的燃燒焓變

$$= \frac{-39.5\ \text{kJ}}{0.0175\ \text{mol}} = -2\ 260\ \text{kJ mol}^{-1}\ (1)$$

∴ 醇J 的燃燒焓變是 –2 260 kJ mol^{-1}。

按節練習 (頁66)

ii) 從這實驗計算得出的ΔH_c 值與在數據冊所載的不同。
除了熱的散失外，提出導致這差距的兩個原因。
假設剛才計算得出的答案正確。

以下任何兩項：
- 不完全燃燒 (1)
- 非標準條件 (1)
- 醇 / 水的蒸發 (1)
- 燒杯 / 儀器的比熱容略去不計 (1)

按節練習 (頁66)

b) 醇J 的燃燒焓變也能通過標準生成焓變間接求得。

i) 寫出與液體醇J（$C_5H_{12}O$）的標準生成焓變對應的化學方程式，包括狀態符號。

$$5C(\text{石墨}) + 6H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow C_5H_{12}O(l) \quad (1)$$

ii) 醇J 的完全燃燒的方程式顯示如下：

$$C_5H_{12}O(l) + 7\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 5CO_2(g) + 6H_2O(l)$$

下表列出生成焓變（ΔH_f）。

物質	$C_5H_{12}O(l)$	$CO_2(g)$	$H_2O(l)$
ΔH_f (kJ mol^{-1})	–366	–394	–286

從以上所提供的資料，計算醇J 的燃燒焓變（ΔH_c）。

(OCR Advanced Subsidiary GCE, Chem. A, F322, Jun. 2015 6(a)–(b))

按節練習 (頁66)

ii) ΔH_c [$C_5H_{12}O(l)$] = ΔH_f [生成物] 的總和 – ΔH_f [反應物] 的總和

= 5 x ΔH_f [$CO_2(g)$] + 6 x ΔH_f [$H_2O(l)$] – ΔH_f [$C_5H_{12}O(l)$]

= [5(–394) + 6(–286) – (–366)] kJ mol^{-1} (1)

= –3 320 kJ mol^{-1} (1)

∴ 醇J 的燃燒焓變是 –3 320 kJ mol^{-1}。

按節練習 (頁66)

23 製造硝酸的首個階段涉及氨在900 °C 的氧化作用。

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

a) 利用下列的標準焓變來計算該反應的標準焓變。

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$NH_3(g)$	–46
$NO(g)$	+90
$H_2O(g)$	–242

$\Delta H_r^\ominus = \Delta H_f^\ominus$ [生成物] 的總和 – $\Delta H_f^\ominus$ [反應物] 的總和

$= 4 \times \Delta H_f^\ominus [NO(g)] + 6 \times \Delta H_f^\ominus [H_2O(g)] - 4 \times \Delta H_f^\ominus [NH_3(g)]$

$= [4(+90) + 6(-242) - 4(-46)]$ kJ mol^{-1} (1)

$= -908$ kJ mol^{-1} (1)

∴ 該反應的標準焓變是 –908 kJ mol^{-1}。

按節練習 (頁66)

b) 解釋為甚麼在(a) 中計算所得的焓變不是氨的標準燃燒焓變。

以下任何一項：
- H_2O 不是處於其標準態 (1)
- 不是完全燃燒 (1)
- 涉及4 摩爾的NH_3 (1)

按節練習 (頁66)

24 利用間接方法可求$MgCO_3(s)$ 的生成焓變。首先透過實驗，分別測定$MgCO_3(s)$ 與$H_2SO_4(aq)$，以及Mg(s) 與$H_2SO_4(aq)$ 各反應的焓變。接着再從已知的$CO_2(g)$ 及$H_2O(l)$ 的生成焓變，經運算後便可求$MgCO_3(s)$ 的生成焓變。

a) 根據定義，在哪條件下，反應的「熱變」可被視為「焓變」？

b) 解釋為甚麼用間接方法而非直接方法來求$MgCO_3(s)$ 的生成焓變。

按節練習 (頁66)

c) 為於實驗上測定$MgCO_3(s)$ 與$H_2SO_4(aq)$ 的反應焓變， 先讓準確質量的$MgCO_3(s)$ 與過量$H_2SO_4(aq)$ 在發泡聚苯乙烯杯子內起反應，然後找出混合物的升溫最大值。經運算後，便可求該反應焓變。

i) 提出上述實驗步驟的一項可能誤差。

ii) 解釋是否可用相若的實驗步驟來求$CaCO_3(s)$ 與$H_2SO_4(aq)$ 的反應焓變。

d) 利用下列所給的資料，計算$MgCO_3(s)$ 的標準生成焓變。

$MgCO_3(s)$ 與$H_2SO_4(aq)$ 的標準反應焓變 = –50 kJ mol^{-1}
$Mg(s)$ 與$H_2SO_4(aq)$ 的標準反應焓變 = –467 kJ mol^{-1}
$CO_2(g)$ 的標準生成焓變 = –394 kJ mol^{-1}
$H_2O(l)$ 的標準生成焓變 = –286 kJ mol^{-1}

(HKDSE, Paper 1B, 2016, 7)

香港公開考試試題答案從略（如適用）。

按節練習 (頁66)

25 直接測定碳酸銅(II) 的分解焓變非常困難。一名學生進行兩項實驗。

實驗1 碳酸銅(II) 與硫酸的反應

$CuCO_3(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CuSO_4(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

實驗2 氧化銅(II) 與硫酸的反應

$CuO(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CuSO_4(aq) + H_2O(l)$

在*實驗1* 中，把過量的$H_2SO_4(aq)$ 倒入發泡聚苯乙烯杯子內。每隔30 秒量度該酸的溫度，歷時2.5分鐘。

在第3.0 分鐘，把3.58 g 的$CuCO_3(s)$ 加入杯子內。攪拌混合物，並量度其溫度，歷時6.0 分鐘。

a) 提出為甚麼很難直接測定碳酸銅(II) 的分解焓變。

以下任何一項：

- 難以量度加熱中的物質所吸入的熱。 (1)
- 難以量度固體的溫度變化。 (1)

b) 提出為甚麼採用發泡聚苯乙烯杯子而非玻璃燒杯，可得到較準確的焓變值。

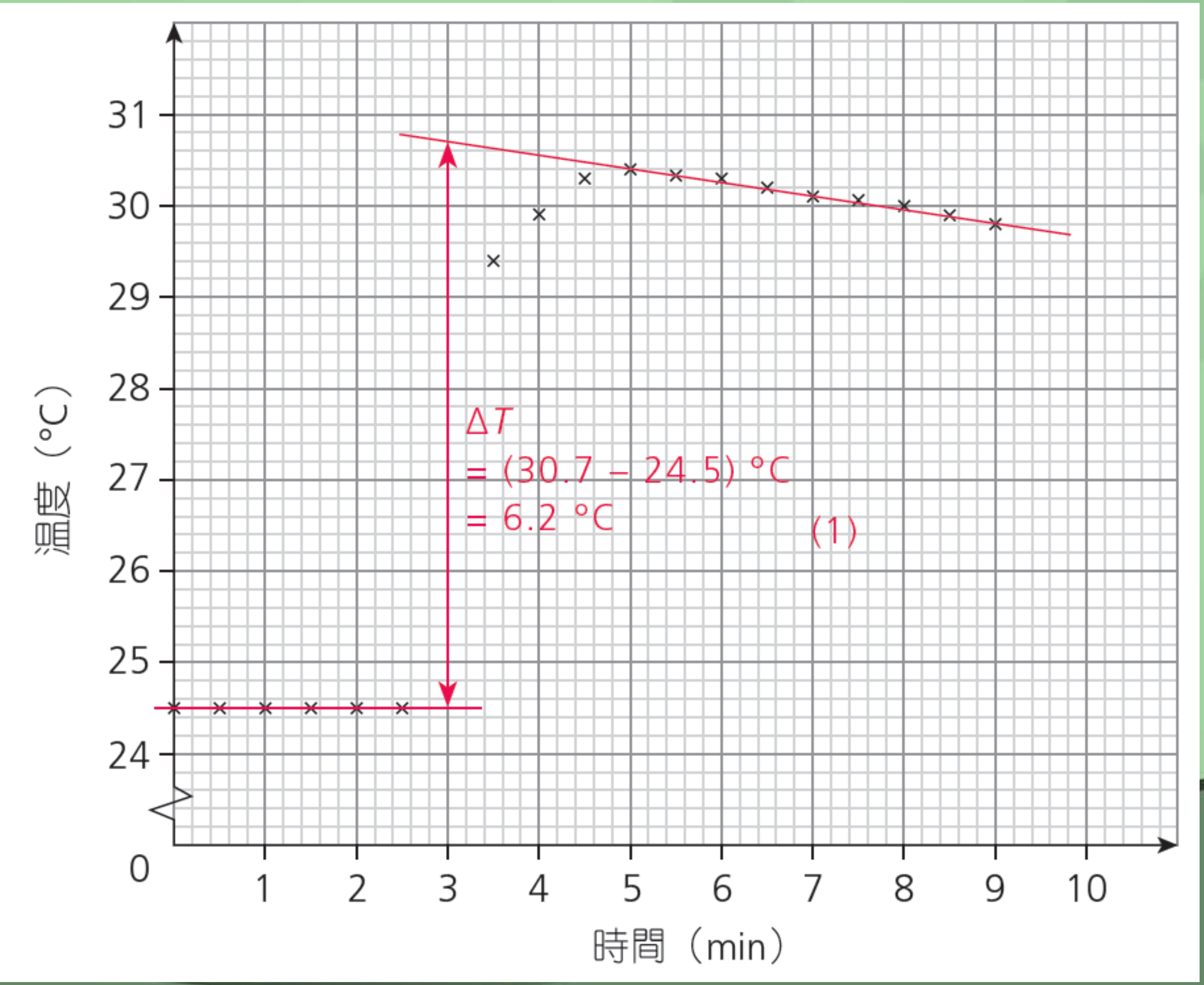
發泡聚苯乙烯是較好的絕熱體 / 具較低的熱容量。

因此，較少的熱轉移到外界 / 杯子。 (1)

按節練習 (頁66)

c) 以下坐標圖展示所記錄的溫度。

i) 估算該反應混合物的最大溫度變化。



按節練習 (頁66)

c) ii) 計算碳酸銅(II) 和硫酸反應的焓變（以kJ mol^{-1} 為單位）。
（相對原子質量：C = 12.0，O = 16.0，Cu = 63.5；所得溶液的質量 = 54.0 g；所得溶液的比熱容 = 4.18 J g^{-1} K^{-1}）

放出的熱 = $m \times c \times \Delta T$ = 54.0 g x 4.18 J g^{-1} K^{-1} x 6.2 K
= 1 400 J = 1.40 kJ (1)
$CuCO_3$ 的摩爾質量 = (63.5 + 12.0 + 3 x 16.0) g mol^{-1} = 123.5 g mol^{-1}
所反應的$CuCO_3$ 的摩爾數 = $\frac{3.58\text{ g}}{123.5\text{ g mol}^{-1}}$ = 0.0290 mol
反應焓變 = $\frac{-1.40\text{ kJ}}{0.0290\text{ mol}}$ = –48.3 kJ mol^{-1} (1)
∴ 碳酸銅(II) 和硫酸反應的焓變是 –48.3 kJ mol^{-1}。

iii) 從這實驗獲得的焓變的負值較數據冊所載的少。為這差異提出<u>一個</u>原因。

以下任何一項：
- 熱散失到外界 (1)
- 儀器吸入熱 (1)

按節練習 (頁66)

d) 在相同條件下進行的另一項實驗中，得出的$CuO(s)$ 和$H_2SO_4(aq)$ 之間反應的焓變是–56.1 kJ mol^{-1}。
計算在該實驗條件下$CuCO_3(s)$ 的分解焓變。

已知以下過程的焓變：

$$CuCO_3(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow CuSO_4(aq) + H_2O(l) + CO_2(g) \qquad \Delta H = -48.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$CuO(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow CuSO_4(aq) + H_2O(l) \qquad \Delta H = -56.1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

把方程式 (2) 左右方對調，得出方程式 (2)′。把以下展示的方程式加在一起：

$$(1)\quad CuCO_3(s) + \cancel{H_2SO_4(aq)} \longrightarrow \cancel{CuSO_4(aq)} + \cancel{H_2O(l)} + CO_2(g) \qquad \Delta H = -48.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$(2)'\quad \cancel{CuSO_4(aq)} + \cancel{H_2O(l)} \longrightarrow CuO(s) + \cancel{H_2SO_4(aq)} \qquad \Delta H = +56.1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$CuCO_3(s) \longrightarrow CuO(s) + CO_2(g)$$

根據赫斯定律：

$CuCO_3(s)$ 的分解焓變 $= (-48.3 + 56.1) \text{ kJ mol}^{-1}$ (1)

$= +7.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ (1)

∴ $CuCO_3(s)$ 的分解焓變是 +7.8 kJ mol^{-1}。

按章練習 (頁77)

註： 題目按難度由淺至深 （ 1 至5 級） 分類：

👍 題目以3 級或以上程度為目標；
👍👍 題目以4 級或以上程度為目標；
👍👍👍 題目以5 級程度為目標。
「 * 」 顯示有效的傳意可取一分。

按章練習 (頁77)

第一部分 多項選擇題

1 金的比熱容是0.13 J g^{-1} K^{-1}。10.0 g 的金在25.0 °C 時吸入33.8 J 的熱。金的最終溫度是多少？

A 26.0 °C
B 43.9 °C
C 51.0 °C
D 60.5 °C

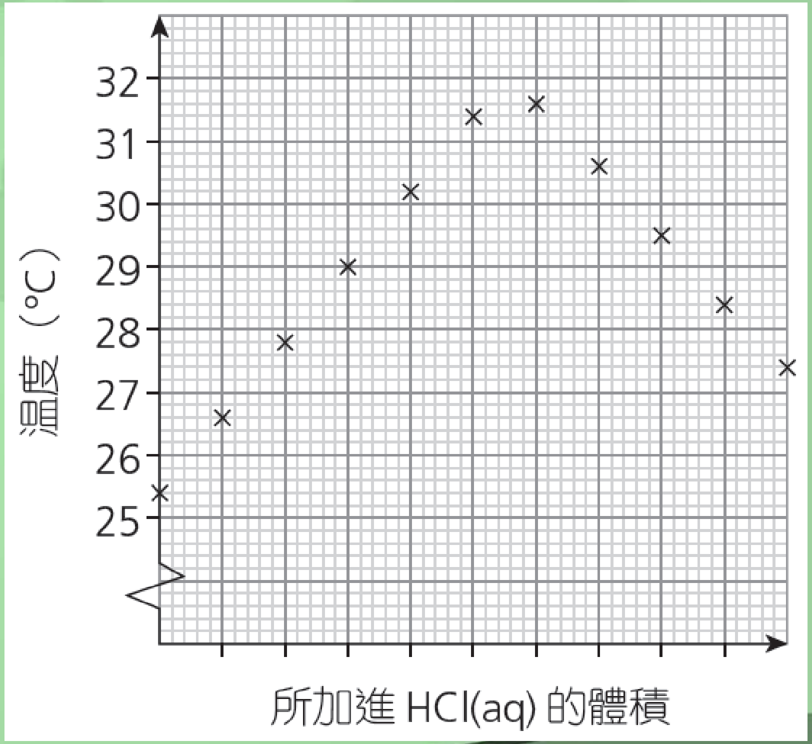
答案：C

題解：
吸入的熱 = m x c x ΔT
33.8 J = 10.0 g x 0.13 J g^{-1} K^{-1} x ΔT
ΔT = 26.0 K
∴ 金的最終溫度
= (25.0 + 26.0) °C = 51.0 °C

按章練習 (頁77)

答案：D

2 在一實驗中，把標準HCl(aq) 從滴定管加進置於一個發泡膠杯內已知體積的 NaOH(aq)。以下坐標圖顯示過程中杯中混合物的溫度：



根據以上坐標圖估算，杯中混合物的最大溫度升幅是多少？

A 2.0 °C

B 4.6 °C

C 6.2 °C

D 6.6 °C

(HKDSE, Paper 1A, 2014, 12)

按章練習 (頁77)

3 下列哪個焓變不能通過實驗直接測定？

A 丙烷的生成焓變
B 氫的燃燒焓變
C 二氧化碳的生成焓變
D 一氧化碳的燃燒焓變

答案：A

(HKDSE, Paper 1A, 2017, 26)

按章練習 (頁77)

4 一些露營所用的爐具以丁烷（C_4H_{10}）作為燃料。完全燃燒6.00 g的丁烷放出297 kJ的熱。以下反應的焓變是多少？

$$2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(l)$$

(Relative atomic masses: H = 1.0, C = 12.0)

A –5 740 kJ mol^{-1}
B –4 020 kJ mol^{-1}
C –2 340 kJ mol^{-1}
D –1 030 kJ mol^{-1}

答案：A

題解：

C_4H_{10} 的摩爾質量 = (4 x 12.0 + 10 x 1.0) g mol^{-1}
= 58.0 g mol^{-1}

所燃燒的C_4H_{10} 的摩爾數 = $\dfrac{6.00\text{ g}}{58.0\text{ g mol}^{-1}}$

燃燒2 摩爾的C_4H_{10} 的焓變

= –297 kJ x $\dfrac{2 \times 58.0\text{ g}}{6.00\text{ g}}$ = –5 740 kJ

按章練習 (頁77)

5 $N_2O_4(l)$ 與$CH_3NHNH_2(l)$ 被點燃時，根據以下方程式發生反應。

$$5N_2O_4(l) + 4CH_3NHNH_2(l) \rightarrow 4CO_2(g) + 12H_2O(l) + 9N_2(g)$$

$$\Delta H = -5\ 116\ kJ$$

混合及點燃1 摩爾的每種反應物時，會放出多少熱？

A 1 023 kJ
B 1 955 kJ
C 4 093 kJ
D 5 116 kJ

答案：A

題解：
混合及點燃1 摩爾的每種反應物時，1 摩爾的N_2O_4 與0.8 摩爾的CH_3NHNH_2 反應。

放出的熱 = $\frac{1}{5}$ x 5 116 kJ

= 1 023 kJ

按章練習 (頁77)

答案：A

6 在標準條件下，0.200 摩爾的二硫化碳完全燃燒可放出216 kJ 的熱。

$$CS_2(l) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g)$$

下列哪個是$CS_2(l)$ 的標準生成焓變？

（$CO_2(g)$ 的標準生成焓變 = –394 kJ mol^{-1}；

$SO_2(g)$ 的標準生成焓變 = –297 kJ mol^{-1}）

A +92 kJ mol^{-1}

B +181 kJ mol^{-1}

C +240 kJ mol^{-1}

D +475 kJ mol^{-1}

$$CS_2(l) \text{ 的標準燃燒焓變} = \frac{-216}{0.200} \text{ kJ mol}^{-1} = -1\ 080 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_c^\ominus[CS_2(l)] &= \Delta H_f^\ominus[\text{生成物}]\text{ 的總和} - \Delta H_f^\ominus[\text{反應物}]\text{ 的總和} \\ &= \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] + 2 \times \Delta H_f^\ominus[SO_2(g)] - \Delta H_f^\ominus[CS_2(l)]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\ominus[CS_2(l)] &= \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] + 2 \times \Delta H_f^\ominus[SO_2(g)] - \Delta H_c^\ominus[CS_2(l)] \\ &= [(-394) + 2 \times (-297) - (-1\ 080)] \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= +92 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

按章練習 (頁77)

答案：B

7 考慮以下的反應：

$$3N_2O(g) + 2NH_3(g) \rightarrow 4N_2(g) + 3H_2O(g) \quad \Delta H^\ominus = -880\ kJ$$

已知下列數據：

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$NH_3(g)$	–45.9
$H_2O(g)$	–242

$N_2O(g)$ 的標準生成焓變是多少？

A +246 kJ mol^{-1}
B +81.9 kJ mol^{-1}
C –81.9 kJ mol^{-1}
D –246 kJ mol^{-1}

$\Delta H_r^\ominus = \Delta H_f^\ominus$[生成物] 的總和 – $\Delta H_f^\ominus$[反應物] 的總和

$= 3 \times \Delta H_f^\ominus[H_2O(g)] - 3 \times \Delta H_f^\ominus[N_2O(g)] - 2 \times \Delta H_f^\ominus[NH_3(g)]$

$3 \times \Delta H_f^\ominus[N_2O(g)] = 3 \times \Delta H_f^\ominus[H_2O(g)] - 2 \times \Delta H_f^\ominus[NH_3(g)] - \Delta H_r^\ominus$

$\Delta H_f^\ominus[N_2O(g)] = \frac{1}{3}[3(-242) - 2(-45.9) - (-880)]\ kJ\ mol^{-1}$

$= +81.9\ kJ\ mol^{-1}$

按章練習 (頁77)

8 下列哪些過程是吸熱的？

(1) 蠟熔解

(2) 重油裂解

(3) 把鋅粉加進$CuSO_4$(aq)

A 只有(1) 和(2)
B 只有(1) 和(3)
C 只有(2) 和(3)
D (1)、(2) 和(3)

答案：A

(HKDSE, Paper 1A, 2018, 22)

按章練習 (頁77)

9 下列反應，何者的 $\Delta H^{\ominus}$ 值同時表示某物質的標準燃燒焓變和另一物質的標準生成焓變？

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

(2) $2C(石墨) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g)$

(3) $SO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow SO_3(g)$

A 只有(1)
B 只有(2)
C 只有(1) 和(3)
D 只有(2) 和(3)

答案：A

按章練習 (頁77)

10 下列的組合，何者正確？

	化學反應	反應焓變
(1)	$2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$	正
(2)	$2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$	正
(3)	$2Na(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow 2NaOH(aq) + H_2(g)$	負

A 只有(1)
B 只有(2)
C 只有(1) 和(3)
D 只有(2) 和(3)

(HKDSE, Paper 1A, 2015, 18)

按章練習 (頁77)

指示：以下的題目（第11至12題）均由兩敘述句組成。學生需先判斷該兩敘述句是否正確，若兩敘述句均屬正確，再判斷第二敘述句是否第一敘述句的合理解釋，然後根據下表，從A 至D 四項中選出一個適用的答案：
A　兩敘述句均屬正確，而第二敘述句為第一敘述句的合理解釋。 B　兩敘述句均屬正確，但第二敘述句並非第一敘述句的合理解釋。 C　第一敘述句錯誤，但第二敘述句正確。 D　兩敘述句均屬錯誤。

按章練習 (頁77)

	第一述句	第二述句
11	化合物的標準生成焓變必定是負值。	在標準條件下，化合物必然在能量上較它的組成元素穩定。 *(HKDSE, Paper 1A, 2016, 24)*

答案：D

	第一述句	第二述句
12	HCl(aq) 和NaOH(aq) 之間的標準中和焓變與 CH_3COOH(aq) 和NaOH(aq) 之間的相同。	NaOH(aq) 是強鹼。

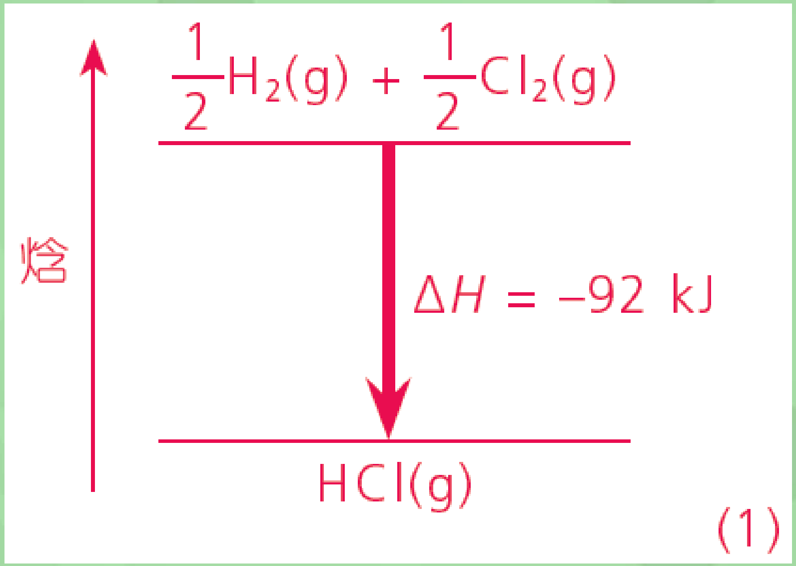
答案：C

HCl(aq) 和NaOH(aq) 之間的標準中和焓變是–57 kJ mol^{-1}。
CH_3COOH(aq)（弱酸）和NaOH(aq) 之間的標準中和焓變低於–57 kJ mol^{-1}，因為部分中和作用放出的熱用於酸的電解。

按章練習 (頁77)

第二部分 結構性問題

13 氯化氫的標準生成焓變是–92 kJ mol^{-1}。
繪一附標示的焓級圖表示氯化氫從其元素生成時所發生的反應。



按章練習 (頁77)

14 過氧化氫慢慢分解成水和氧。

$2H_2O_2(l) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) \qquad \Delta H^{\ominus} = -196\ kJ$

a) 計算$H_2O_2(l)$ 的標準生成焓變。

（$H_2(g)$ 的標準燃燒焓變 = $-286\ kJ\ mol^{-1}$）

$\Delta H^{\ominus} = 2 \times \Delta H_f^{\ominus}[H_2O(l)] - 2 \times \Delta H_f^{\ominus}[H_2O_2(l)]$

$2 \times \Delta H_f^{\ominus}[H_2O_2(l)] = 2 \times \Delta H_f^{\ominus}[H_2O(l)] - \Delta H^{\ominus}$

$\Delta H_f^{\ominus}[H_2O_2(l)] = \frac{1}{2}[2(-286) - (-196)]\ kJ\ mol^{-1}$ (1)

$= -188\ kJ\ mol^{-1}$ (1)

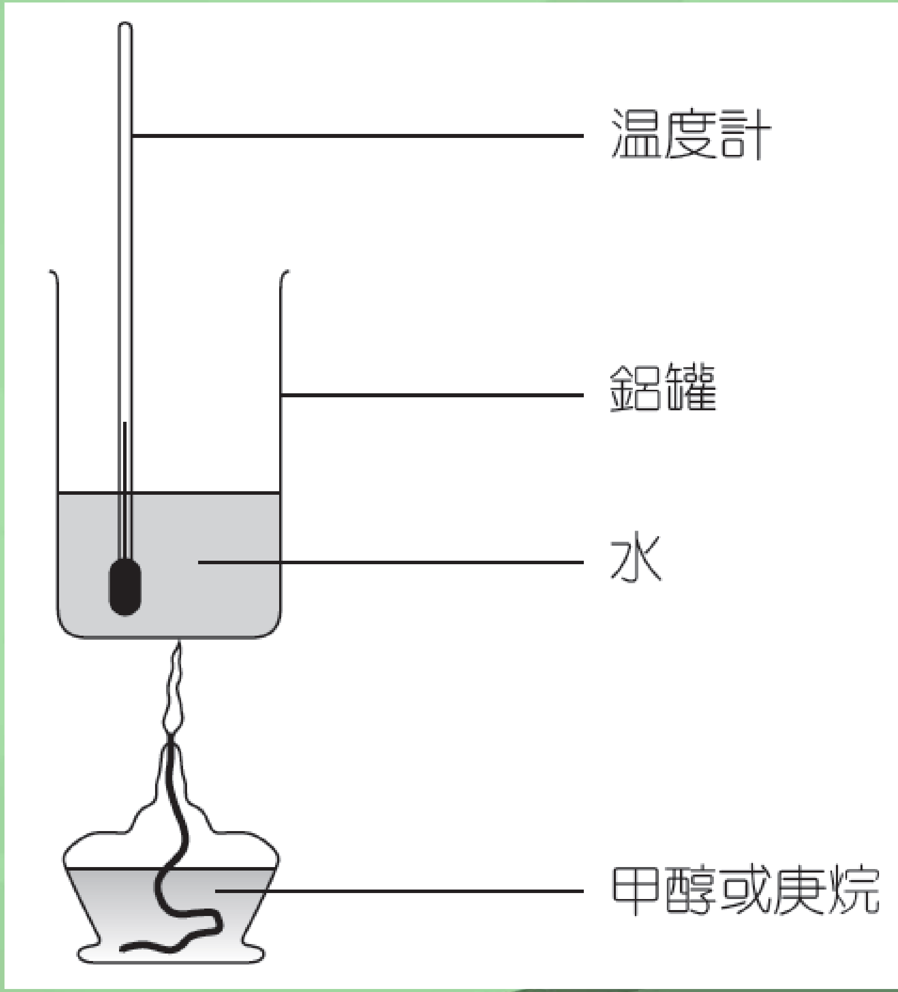
∴ $H_2O_2(l)$ 的標準生成焓變是 $-188\ kJ\ mol^{-1}$。

b) 根據拆鍵和成鍵的概念，解釋為甚麼過氧化氫的分解是放熱的。

成鍵過程所放出的總能量較拆鍵過程所需的總能量大。 (1)

按章練習 (頁77)

15 燃燒庚烷（C_7H_{16}）釋出能量。用下圖所示的裝置測定了庚烷的燃燒焓變：



按章練習 (頁77)

步驟(I)：藉燃燒甲醇把盛有某固定質量的水的鋁罐加熱，經燃燒了1.58 g 的甲醇後，水温上升了18.5 °C。

步驟(II)：藉燃燒庚烷把盛有與步驟(I) 相同質量的水的該鋁罐加熱，經燃燒了1.02 g 的庚烷後，水温上升了25.8 °C。

a) 已知在實驗條件下，甲醇的燃燒焓變是–715 kJ mol^{-1}，計算在相同條件下，庚烷的燃燒焓變，以kJ mol^{-1} 表示。
（相對分子質量：甲醇 = 32.0，庚烷 = 100.0）

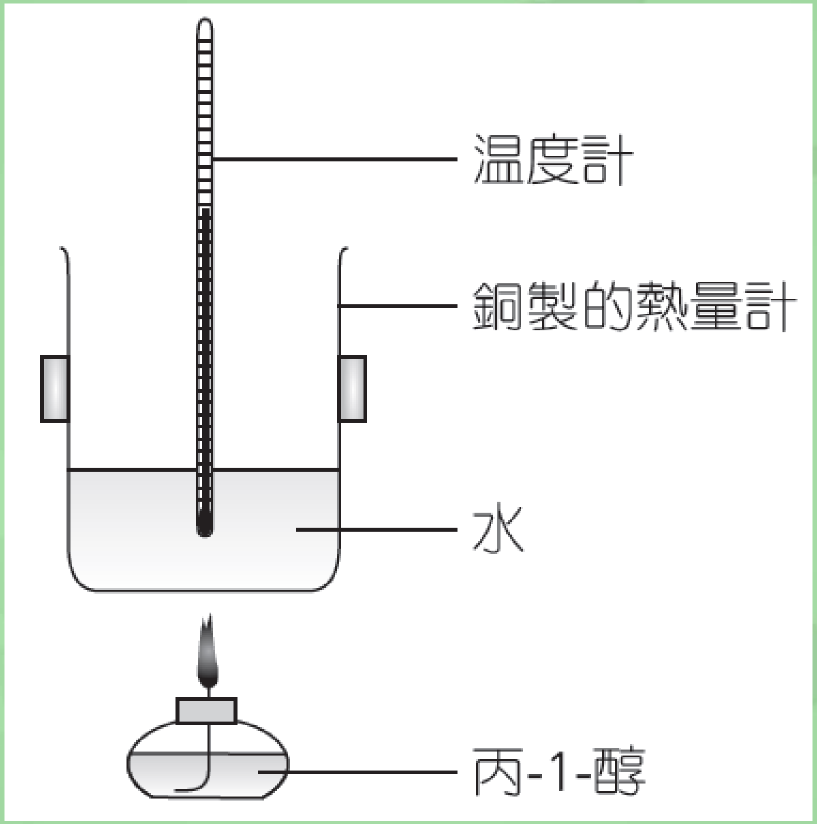
b) 除了失熱以外，舉出在這實驗的另一項誤差來源。

(HKDSE, Paper 1B, 2018, 6(b))

香港公開考試試題答案從略（如適用）。

按章練習 (頁77)

16 一名學生利用下圖所示的實驗裝置來測定丙-1- 醇的燃燒焓變。



按章練習 (頁77)

a) 該學生量度已燃燒的丙-1- 醇的質量和水的溫度升幅。
提出其他三項該學生所需的資料，以計算丙-1- 醇的燃燒焓變。

以下任何三項：
- 丙-1- 醇的相對分子質量 (1)
- 水的比熱容 (1)
- 水的質量 / 體積 (1)
- 熱量計的比熱容 (1)
- 熱量計的質量 (1)

按章練習 (頁77)

b) 從這方法獲得的結果較數據冊所載的值低。
就該實驗裝置建議一項可改良之處，以使獲得的結果與數據冊所載的值更接近，並加以解釋。

熱散失到外界 (1)
使用蓋 / 使熱量計絕熱 / 屏蔽着酒精燈 (1)

按章練習 (頁77)

c) 利用下表已知的標準燃燒焓變，計算丙-1- 醇的標準生成焓變。

物質	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
C(石墨)	–394
$H_2(g)$	–286
$C_3H_7OH(l)$	–2 021

$\Delta H_f^\ominus[C_3H_7OH(l)] = \Delta H_c^\ominus$[元素] 的總和 $- \Delta H_c^\ominus[C_3H_7OH(l)]$

$= 3 \times \Delta H_c^\ominus$[C(石墨)] $+ 4 \times \Delta H_c^\ominus[H_2(g)] - \Delta H_c^\ominus[C_3H_7OH(l)]$

$= [3(-394) + 4(-286) - (-2\ 021)]$ kJ mol^{-1} (1)

$= -305$ kJ mol^{-1} (1)

∴ 丙-1- 醇的標準生成焓變是 –305 kJ mol^{-1}。

按章練習 (頁77)

17 讓0.0200 摩爾的固體氫氧化鈣與50.0 cm3 的1.00 mol dm–3 氫氯酸（過量）在發泡聚苯乙烯杯子內反應。所得的實驗數據顯示如下：

溶液的起始溫度	24.6 °C
所得溶液的最終溫度	35.5 °C
所得溶液的質量	52.0 g
所得溶液的比熱容	4.3 J g^{-1} K^{-1}
$Ca(OH)_2$ 的摩爾質量	74.1 g mol^{-1}

按章練習 (頁77)

a) 計算該反應的焓變（以kJ mol^{-1} 為單位）。

放出的熱 = $m \times c \times \Delta T$ = 52.0 g x 4.3 J g^{-1} K^{-1} x (35.5 – 24.6) K

= 2 440 J = 2.44 kJ (1)

反應焓變 = $\frac{-2.44 \text{ kJ}}{0.0200 \text{ mol}}$ = –122 kJ mol^{-1} (1)

b) 重複該實驗，用50.0 cm^3 的1.00 mol dm^{-3} 硝酸取代氫氯酸。解釋為甚麼這兩項實驗的溫度變化相同。

硝酸是強酸。

因此，出現相同的中和作用。 (1)

$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

c) 再重複該實驗，用25.0 cm^3 的2.00 mol dm^{-3} 氫氯酸。預測這實驗中的溫度變化。

<u>溫度變化</u>變成兩倍。

<u>等量的熱</u>轉移到25.0 cm^3 的溶液，而不是50 cm^3 的溶液。 (1)

按章練習 (頁77)

18 以下步驟用於測定硫酸銅(II) 溶液和鎂反應的焓變：

$$Mg(s) + CuSO_4(aq) \rightarrow MgSO_4(aq) + Cu(s)$$

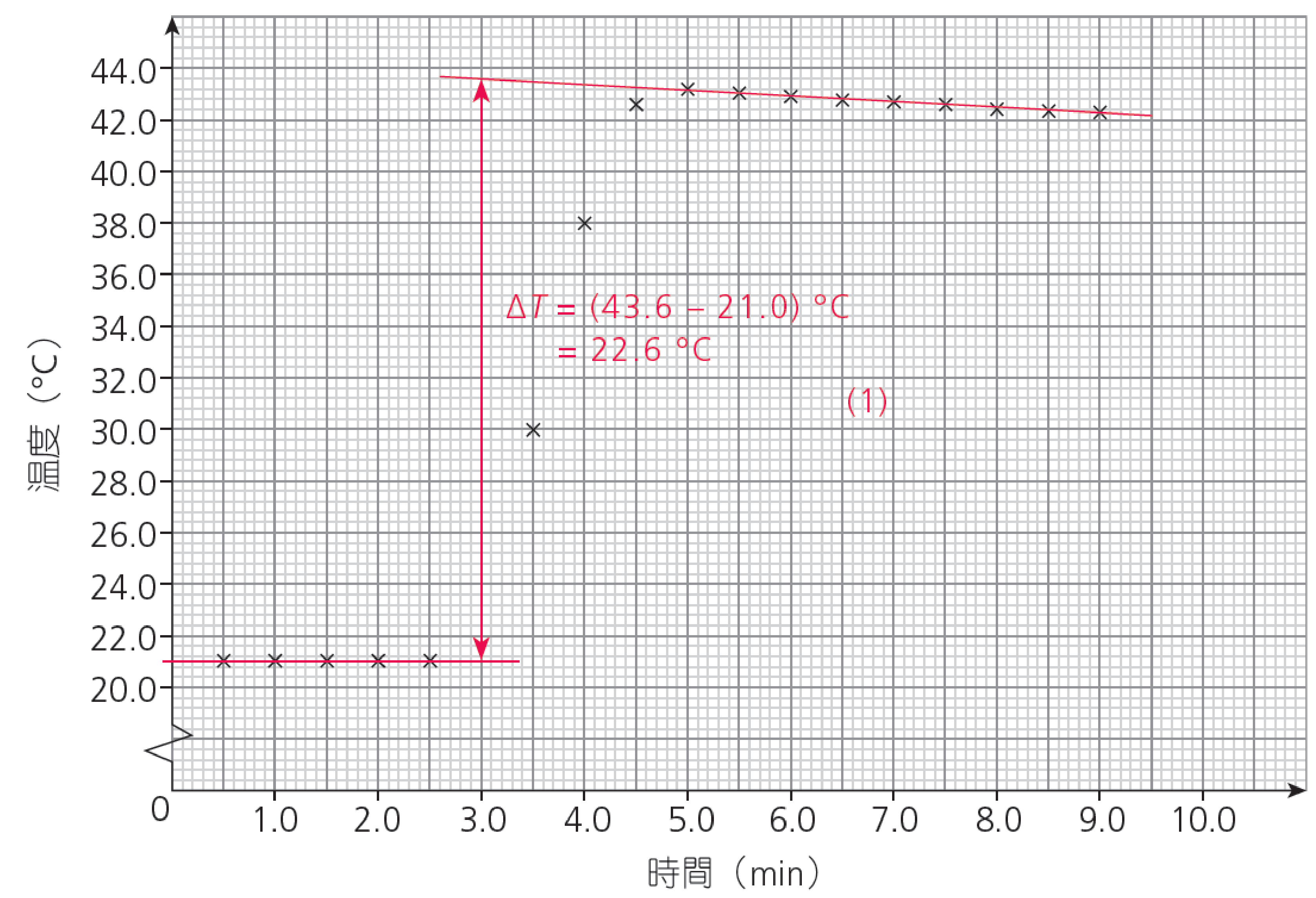
步驟

- 把100.0 cm^3 的0.500 mol dm^{-3} $CuSO_4(aq)$ 倒入一個發泡聚苯乙烯杯子內，並每隔30 秒量度溫度，歷時2.5 分鐘。
- 在第3.0 分鐘，加入0.520 g 的鎂粉並攪拌。
- 再每隔30 秒量度溫度，歷時6.0 分鐘。

展示所得結果的坐標圖：

a) 從坐標圖估算該反應混合物的最大溫度變化。

按章練習 (頁77)


44.0
42.0
40.0
38.0
36.0
34.0
32.0
30.0
28.0
26.0
24.0
22.0
20.0
溫度 (°C)
ΔT = (43.6 – 21.0) °C
= 22.6 °C
(1)
0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
9.0
10.0
時間 (min)

按章練習 (頁77)

b) 通過計算顯示Mg(s) 是限量反應物。
（相對原子質量：Mg = 24.3）

Mg 的摩爾數 = $\dfrac{0.520\ \text{g}}{24.3\ \text{g mol}^{-1}}$ = 0.0214 mol

$CuSO_4$ 的摩爾數 = 0.500 mol dm^{-3} x $\dfrac{100.0}{100.0}$ dm^3 = 0.0500 mol

從方程式可知，1 摩爾的Mg 與1 摩爾的$CuSO_4$ 反應。
在這反應，0.0214 摩爾的Mg 與0.0214 摩爾的$CuSO_4$反應。
因此，$CuSO_4$ 是過量。Mg 是限量反應物。 (1)

c) 假設該反應混合物的質量和比熱容分別是101.0 g 和4.2 J g^{-1} K^{-1}，計算該反應的焓變（以kJ mol^{-1} 為單位）。

放出的熱 = m x c x ΔT = 101.0 g x 4.2 J g^{-1} K^{-1} x 22.6 K
= 9 590 J = 9.59 kJ (1)

反應焓變 = $\dfrac{-9.59\ \text{kJ}}{0.0214\ \text{mol}}$ = –448 kJ mol^{-1} (1)

∴ 該反應的焓變是 –448 kJ mol^{-1}.

按章練習 (頁77)

19 銻是工業用的固體元素。用於提取銻的方法視乎其礦石的等級。

a) 由高等級的礦石提取銻的首階段中，把硫化銻(III) 在空氣中焙燒，轉化成氧化銻(III)（Sb_2O_3）和二氧化硫。寫出這反應的方程式。

$$Sb_2S_3(s) + \frac{9}{2}O_2(g) \rightarrow Sb_2O_3(s) + 3SO_2(g) \quad (1)$$

b) 由高等級的礦石提取銻的第二階段中，讓氧化銻(III) 在高温下和一氧化碳反應。

i) 利用下表的標準生成焓變和表下方的方程式來計算該反應的標準焓變。

	$Sb_2O_3(s)$	$CO(g)$	$Sb(l)$	$CO_2(g)$
$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})	−705	−111	+20	−394

$$Sb_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Sb(l) + 3CO_2(g)$$

按章練習 (頁77)

b) i) $\Delta H_r^\ominus = \Delta H_f^\ominus$ [生成物] 的總和 – $\Delta H_f^\ominus$ [反應物] 的總和

$= 2 \times \Delta H_f^\ominus [Sb(l)] + 3 \times \Delta H_f^\ominus [CO_2(g)] - \Delta H_f^\ominus [Sb_2O_3(s)] - 3 \times \Delta H_f^\ominus [CO(g)]$

$= [2(+20) + 3(-394) - (-705) - 3(-111)]$ kJ mol^{-1} (1)

$= -104$ kJ mol^{-1} (1)

∴ 該反應的標準焓變是 -104 kJ mol^{-1}.

ii) Suggest why the value for the standard enthalpy of formation of liquid antimony, given in the above table, is NOT zero.

銻不是處於其標準態。/ 標準態的銻是固體。 (1)

按章練習 (頁77)

20 乙炔是一氣體碳氫化合物，其分子式為C_2H_2。

a) 提出為甚麼不能從實驗直接測定$C_2H_2(g)$ 的生成焓變。

b) 籍赫斯定律可找出不能從實驗直接測定的焓變。寫出赫斯定律。

c) 基於$C_2H_2(g)$、C（石墨）和$H_2(g)$ 的各燃燒焓變ΔH_c 建構一個焓變循環和運用赫斯定律可求得$C_2H_2(g)$ 的生成焓變。
i) 繪畫這焓變循環（附各標示）。
ii) $C_2H_2(g)$、C（石墨）和$H_2(g)$ 的標準燃燒焓變$\Delta H_c^\ominus$ 如下：

按章練習 (頁77)

	$\Delta H_c^\ominus$ (kJ mol^{-1})
C_2H_2(g)	–1 300
C(石墨)	–394
H_2(g)	–286

I) 寫出「標準焓變」的各標準條件。
II) 計算C_2H_2(g) 的標準生成焓變。

(HKDSE, Paper 1B, 2017, 7)

香港公開考試試題答案從略（如適用）。

按章練習 (頁77)

21 王烷（C_9H_{20}）是煤油燃料的其中一種成分。

a) 以王烷為例，輔以一化學方程式，寫出「標準燃燒焓變」一詞的意思。

物質的標準燃燒焓變（$\Delta H_c^\ominus$）是在標準條件下，一摩爾該物質在氧中完全燃燒時的焓變。 (1)

$C_9H_{20}(l) + 14O_2(g) \rightarrow 9CO_2(g) + 10H_2O(l)$ (1)

b) 寫出「標準焓變」的各標準條件。

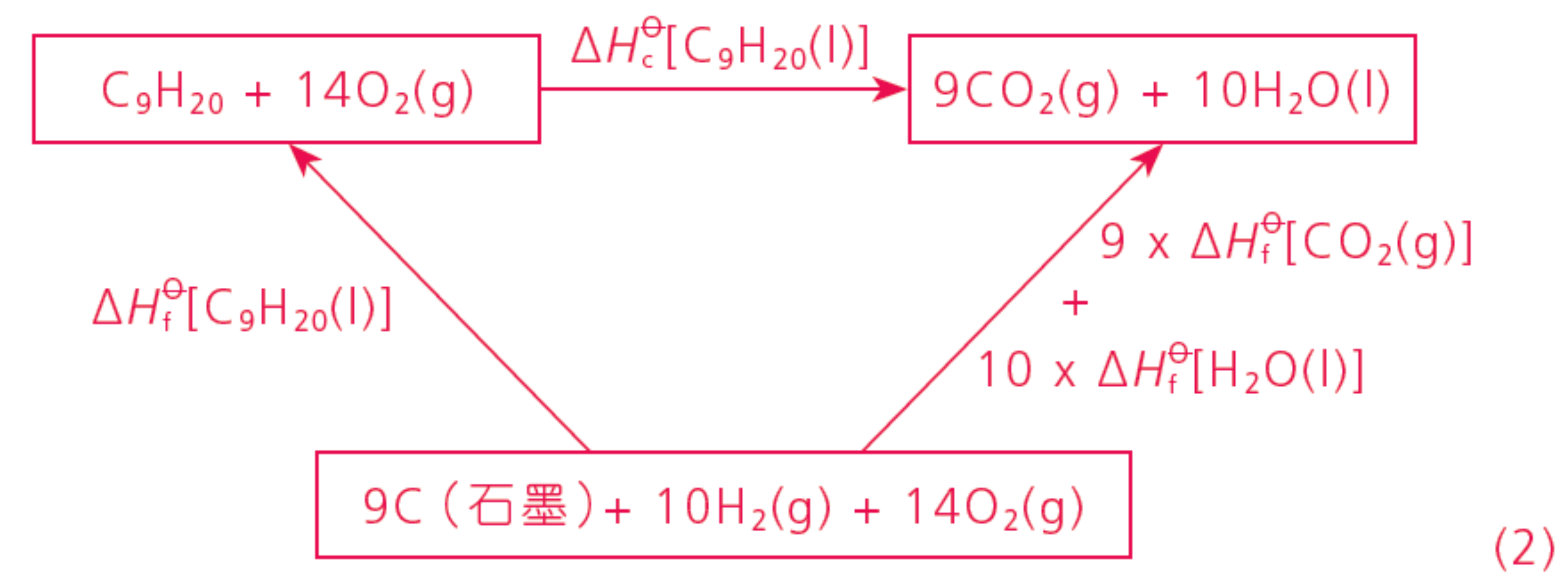
298 K

1個大氣壓強 (1)

按章練習 (頁77)

c) 基於$C_9H_{20}(l)$、$CO_2(g)$ 和$H_2O(l)$ 的生成焓變（ $\Delta H_f^{\ominus}$ ），建構一個焓變循環和運用赫斯定律可求得$C_9H_{20}(l)$ 的燃燒焓變。

i) 繪出這焓變循環（附各標示）。



按章練習 (頁77)

ii) 利用下表的數據來計算壬烷的標準燃燒焓變。

物質	$\Delta H_f^\ominus$ (kJ mol^{-1})
$C_9H_{20}(l)$	–275
$CO_2(g)$	–394
$H_2O(l)$	–286

$\Delta H_c^\ominus[C_9H_{20}(l)] = 9 \times \Delta H_f^\ominus[CO_2(g)] + 10 \times \Delta H_f^\ominus[H_2O(l)] - \Delta H_f^\ominus[C_9H_{20}(l)]$

$= [9(-394) + 10(-286) - (-275)]$ kJ mol^{-1} (1)

$= -6\ 131$ kJ mol^{-1}

∴ 壬烷的標準燃燒焓變是 –6 131 kJ mol^{-1}.

按章練習 (頁77)

22 氧化鈣按以下方程式與稀氫氯酸反應。

$$CaO(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l)$$

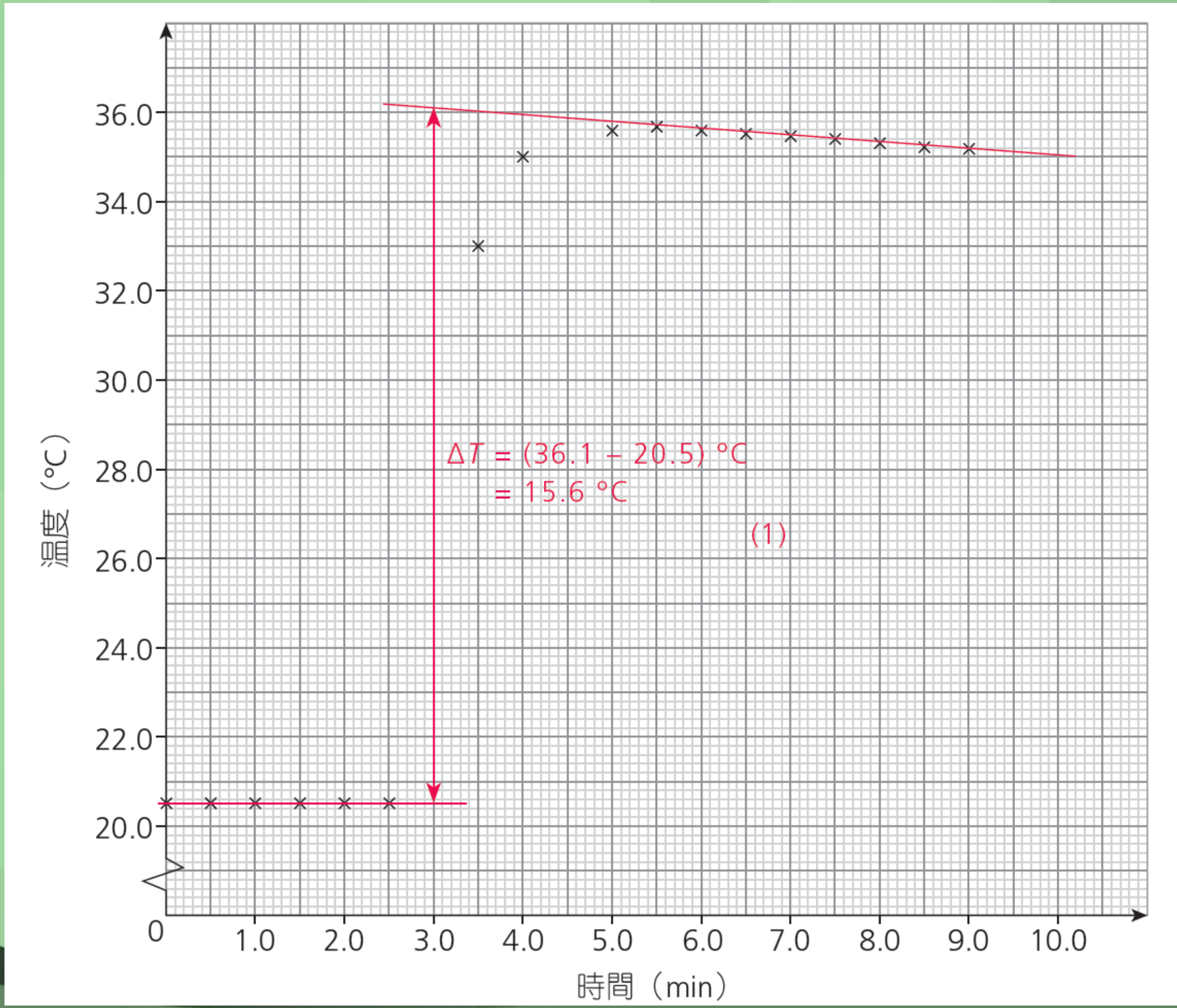
按以下步驟進行實驗來探究這反應。

- 把50.0 cm_3 的2.00 mol dm^{-3} 氫氯酸（過量）置於一個發泡聚苯乙烯杯子內。
- 每隔30 秒量度該酸的溫度，歷時2.5 分鐘。
- 在第3.0 分鐘，把1.46 g 的氧化鈣粉末加入該酸內，並攪拌該反應混合物。
- 接着每隔30 秒量度所得溶液的溫度，歷時6.0 分鐘。

按章練習 (頁77)

以下坐標圖展示所得的結果。

a) i) 從坐標圖估算所得溶液的最大溫度升幅。



按章練習 (頁77)

ii) 已知：

所得溶液的質量 = 51.5 g

所得溶液的比熱容 = 4.2 J g^{-1} K^{-1}

根據在這實驗中所用反應物的量計算涉及的焓變。

實驗中所用反應物的量涉及的焓變

= $m \times c \times \Delta T$ = 51.5 g x 4.2 J g^{-1} K^{-1} x 15.6 K

= 3 370 J = 3.37 kJ (1)

iii) 計算1 摩爾的氧化鈣和稀氫氯酸反應的焓變。

（相對原子質量：O = 16.0，Ca = 40.1）

CaO 的摩爾質量 = (40.1 + 16.0) g mol^{-1} = 56.1 g mol^{-1}

所使用的CaO 的摩爾數 = $\dfrac{1.46\text{ g}}{56.1\text{ g mol}^{-1}}$ = 0.0260 mol

1 摩爾的CaO 反應的焓變 = $\dfrac{-3.37\text{ kJ}}{0.0260\text{ mol}}$

= –130 kJ mol^{-1} (1)

按章練習 (頁77)

b) 氧化鈣與氫氯酸反應的標準焓變是–197 kJ mol^{-1}。
提出兩個原因，為甚麼在(a)(iii) 計算得的數值和這數值有所不同。

以下任何兩項：

- 熱散失到外界 (1)
- 儀器吸入熱 (1)
- 不純淨的氧化鈣 / 氧化鈣吸收空氣中的濕氣 (1)

c) 利用下列資料，計算碳酸鈣的標準熱分解焓變。
CaO(s) 和HCl(aq) 的標準反應焓變 = –197 kJ mol^{-1}
CaCO3(s) 和HCl(aq) 的標準反應焓變 = –19 kJ mol^{-1}

按章練習 (頁77)

已知以下過程的焓變：

(1) $CaO(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l)$ $\Delta H = -197\ kJ\ mol^{-1}$

(2) $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ $\Delta H = -19\ kJ\ mol^{-1}$

把方程式(1) 左右方對調，得出方程式(1)'。把以下展示的方程式加在一起：

$$
\begin{array}{llr}
(1)' & \cancel{CaCl_2(aq)} + \cancel{H_2O(l)} \longrightarrow CaO(s) + \cancel{2HCl(aq)} & \Delta H = +197\ kJ \\
(2) & CaCO_3(s) + \cancel{2HCl(aq)} \longrightarrow \cancel{CaCl_2(aq)} + \cancel{H_2O(l)} + CO_2(g) & \Delta H = -19\ kJ \\
\hline
 & CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g) &
\end{array}
$$

根據赫斯定律：

$CaCO_3$ 的標準熱分解焓變 = $[+197 + (-19)]\ kJ\ mol^{-1}$ (1)

= $+178\ kJ\ mol^{-1}$ (1)

∴ 碳酸鈣的標準熱分解焓變是$+178\ kJ\ mol^{-1}$。

按章練習 (頁77)

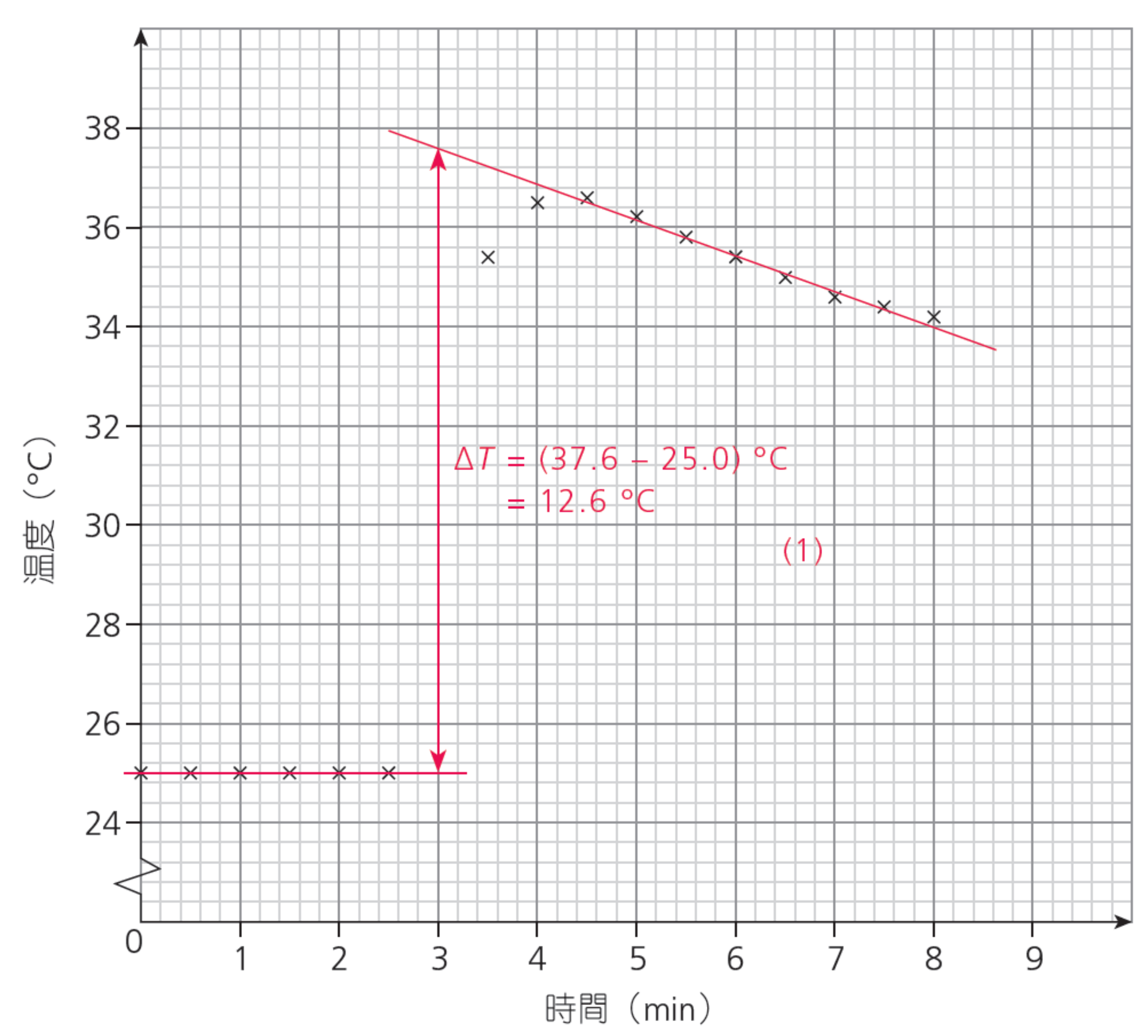
23 從$H_2O(l)$ 的生成焓變和以下反應(1) 和(2) 的焓變，可間接求得$Mg(OH)_2(s)$ 的生成焓變（ΔH_f ）。

$$Mg(OH)_2(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + 2H_2O(l) \qquad (1)$$
$$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g) \qquad (2)$$

用於測定反應(1) 的焓變的實驗概述如下：

把120.0 cm^3 的1.10 mol dm^{-3} HCl(aq)（過量）置於發泡聚苯乙烯杯子內，每隔半分鐘用溫度計量度杯子內的酸的溫度。
剛好第三分鐘，把3.45 g 的$Mg(OH)_2(s)$ 加入杯子內。以溫度計攪拌杯子內的混合物，並額外量度其溫度5 分鐘。

以下坐標圖展示所記錄的溫度。
a) i) 從坐標圖估算該反應混合物的最大溫度變化。


溫度（°C）
38
36
34
32
30
28
26
24
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
時間（min）
ΔT = (37.6 – 25.0) °C
= 12.6 °C
(1)

按章練習 (頁77)

a) ii) 計算在上述實驗條件下反應(1) 的焓變（以kJ mol^{-1} 為單位）。
（假設可忽略發泡聚苯乙烯杯子的熱容量，而該溶液的熱容量是 512 J K^{-1}。）
（相對原子質量：H = 1.0，O = 16.0，Mg = 24.3）

實驗中所用反應物的量涉及的焓變 = 512 J K^{-1} x 12.6 K
= 6 450 J = 6.45 kJ (1)

$Mg(OH)_2$ 的摩爾質量 = (24.3 + 2 x 16.0 + 2 x 1.0) g mol^{-1} = 58.3 g mol^{-1}

$Mg(OH)_2$ 的摩爾數 = $\dfrac{3.45\text{ g}}{58.3\text{ g mol}^{-1}}$ = 0.0592 mol

反應(1) 的焓變 = $\dfrac{-6.45\text{ kJ}}{0.0592\text{ mol}}$ = –109 kJ mol^{-1}

按章練習 (頁77)

b) i) 寫出對應$Mg(OH)_2(s)$ 的生成焓變的方程式。

$Mg(s) + H_2(g) + O_2(g) \rightarrow Mg(OH)_2(s)$

ii) 已知在相同實驗條件下，反應(2) 的焓變為–514 kJ mol^{-1}， 而$H_2O(l)$ 的生成焓變為–286 kJ mol^{-1}，計算$Mg(OH)_2(s)$ 的ΔH_f。

已知以下過程的焓變：

(1) $Mg(OH)_2(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + 2H_2O(l)$ ΔH = –109 kJ mol^{-1}

(2) $Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$ ΔH = –514 kJ mol^{-1}

(3) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ ΔH = –286 kJ mol^{-1}

把方程式(1) 左右方對調，得出方程式(1)’。

$MgCl_2(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow Mg(OH)_2(s) + 2HCl(aq)$ ΔH = +109 kJ

把方程式(3) 乘以2，得出方程式(3)’ 。

$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$ ΔH = 2(–286) kJ

把以下展示的方程式加在一起：

按章練習 (頁77)

(1)′	$\cancel{MgCl_2(aq)} + \cancel{2H_2O(l)} \longrightarrow Mg(OH)_2(s) + \cancel{2HCl(aq)}$	$\Delta H = +109$ kJ
(2)	$Mg(s) + \cancel{2HCl(aq)} \longrightarrow \cancel{MgCl_2(aq)} + \cancel{H_2(g)}$	$\Delta H = -514$ kJ
(3)′	$\cancel{2}H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow \cancel{2H_2O(l)}$	$\Delta H = 2(-286)$ kJ
	$Mg(s) + H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow Mg(OH)_2(s)$	

根據赫斯定律：

$\Delta H_f[Mg(OH)_2(s)] = [(+109) + (-514) + 2(-286)]$ kJ mol^{-1} (1)

$= -977$ kJ mol^{-1} (1)

∴ $Mg(OH)_2(s)$ 的 ΔH_f 是 -977 kJ mol^{-1}。

按章練習 (頁77)

24 某熱量滴定實驗的步驟概述如下。

- 把25.0 cm^3 的稀乙酸置於發泡聚苯乙烯杯子內，並量度其溫度。
- 把5.00 cm^3 的1.24 mol dm^{-3} 氨水加入該酸內，並攪拌和再量度該混合物的溫度。
- 接着每次加入分量為5.00 cm^3 的氨水，然後量度其溫度，直至一共加入50.0 cm^3 的氨水為止。

以下坐標圖展示所得的結果。

a) 解釋為甚麼溶液混合物的溫度會上升至最高溫度為止。

該反應是放熱。/ 不斷有熱放出直到反應完成。 (1)

b) 解釋為甚麼溶液混合物達致最高溫度後，繼續加入氨水會使其溫度下降。

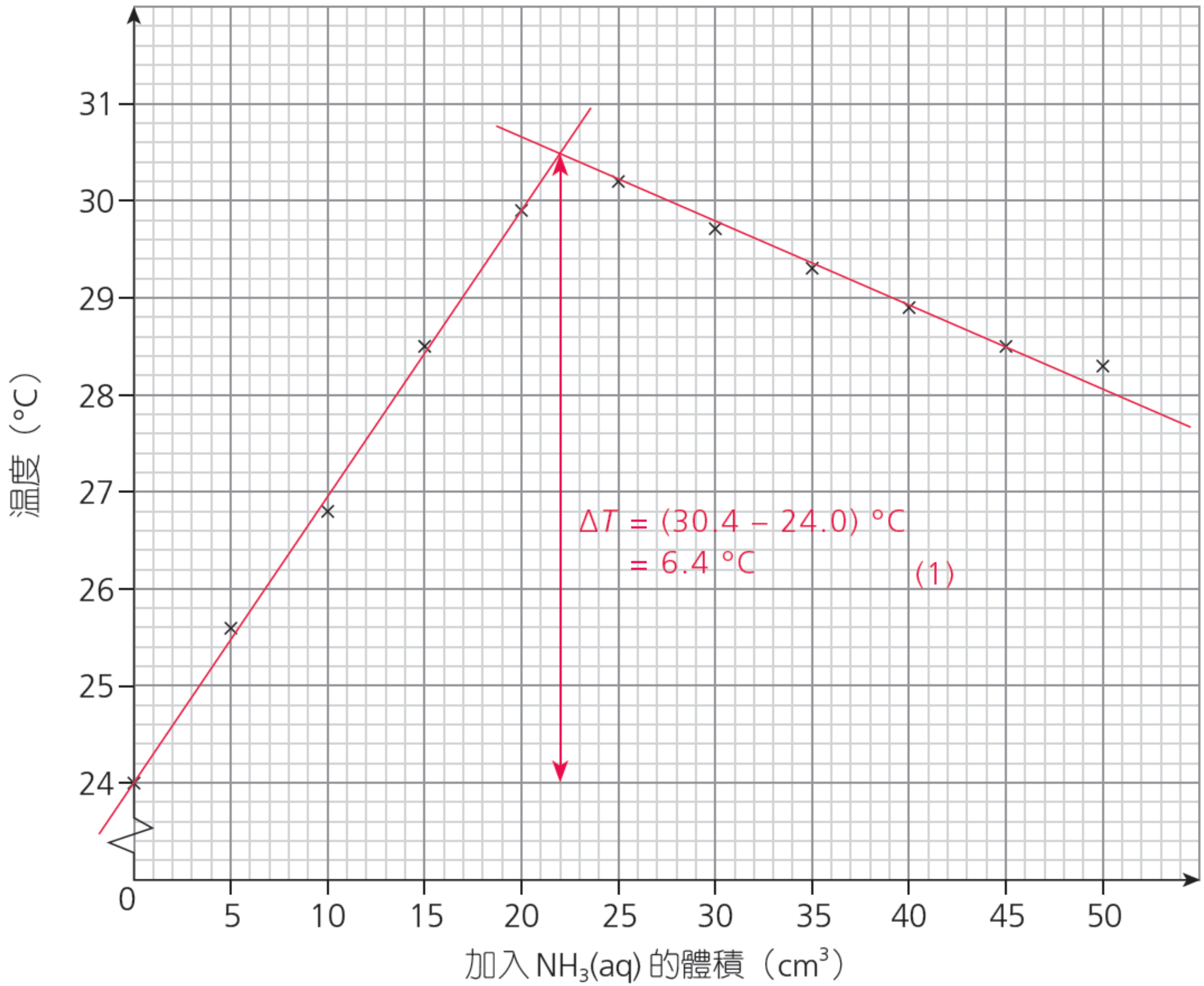
沒有進一步的反應出現，過量的氨水使溶液冷卻。 (1)

c) 從坐標圖中，求

i) 溫度的最大升幅；和 (參看坐標圖)

ii) 中和該酸所需的氨水的體積。

22.0 cm^3 (1)


溫度（°C）
31
30
29
28
27
26
25
24
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
加入 NH_3(aq) 的體積（cm^3）
ΔT = (30.4 – 24.0) °C
= 6.4 °C
(1)

按章練習 (頁77)

d) 利用從(c)(ii) 所得的數值來計算乙酸的濃度。

$CH_3COOH(aq)$	+	$NH_3(aq)$	→	$CH_3COONH_4(aq)$
? mol dm^{-3}		1.24 mol dm^{-3}		
25.0 cm^3		22.0 cm^3		

22.0 cm^3 溶液中NH_3 的摩爾數 = 1.24 mol dm^{-3} x $\frac{22.0}{1\ 000}$ dm^3

= 0.0273 mol (1)

從方程式可知，要完全中和1 摩爾的CH_3COOH，需用1 摩爾的NH_3。

即是，25.0 cm_3 溶液中CH_3COOH 的摩爾數 = 0.0273 mol

乙酸的濃度 = (0.0273 mol) / ($\frac{25.0}{1\ 000}$ dm^3)

= 1.09 mol dm^{-3} (1)

按章練習 (頁77)

e) 計算乙酸和氨水之間的中和焓變。
（假設溶液混合物的密度是1.00 g cm^{-3} 及其比熱容是4.2 J g^{-1} K^{-1}）

反應混合物的體積 = (25.0 + 22.0) cm^3 = 47.0 cm^3
反應混合物的質量 = 47.0 g
放出的熱 = $m \times c \times \Delta T$ = 47.0 g x 4.2 J g^{-1} K^{-1} x 6.4 K
= 1 260 J = 1.26 kJ (1)
所反應的NH_3 的摩爾數 = 0.0273 mol

中和焓變 = $\frac{-1.26\ \text{kJ}}{0.0273\ \text{mol}}$ = –46.2 kJ mol^{-1} (1)

∴ 乙酸和氨水之間的中和焓變是 –46.2 kJ mol^{-1}。

按章練習 (頁77)

25 你獲提供常用的實驗室儀器，及以下化學品：

- 固體碳酸鉀；
- 固體碳酸氫鉀；和
- 2 mol dm^{-3} 氫氯酸。

概述如何進行實驗，求得碳酸氫鉀的分解焓變。

$$KHCO_3(s) \rightarrow \frac{1}{2}K_2CO_3(s) + \frac{1}{2}CO_2(g) + \frac{1}{2}H_2O(l)$$

簡單描述涉及的計算步驟。

讓已知質量的碳酸鉀與已知體積的2 mol dm^{-3} 氫氯酸（過量）在發泡聚苯乙烯杯子中反應。

量度所得溶液的最大溫度變化。 (1)

計算

- 反應涉及的熱；
- 作出反應的碳酸鉀的摩爾數；
- 1 摩爾的碳酸鉀與氫氯酸之間的反應焓變。

(1)

按章練習 (頁77)

讓已知質量的碳酸氫鉀與相同體積的2 mol dm^{-3} 氫氯酸（過量）在發泡聚苯乙烯杯子中反應。量度所得溶液的最大温度變化。 (1)

計算

- 反應涉及的熱；
- 作出反應的碳酸氫鉀的摩爾數；
- 1 摩爾的碳酸氫鉀與氫氯酸之間的反應焓變。

已知以下過程的焓變：

(1) $K_2CO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow 2KCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ x kJ

(2) $KHCO_3(s) + HCl(aq) \longrightarrow KCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$ y kJ

把方程式 (1) 乘以$\frac{1}{2}$，然後左右方對調，得出方程式 (1)′。

把以下展示的方程式加在一起：

(1)′ $\cancel{KCl(aq)} + \cancel{\frac{1}{2}H_2O(l)} + \cancel{\frac{1}{2}CO_2(g)} \longrightarrow \frac{1}{2}K_2CO_3(s) + \cancel{HCl(aq)}$ $-\frac{x}{2}$ kJ

(2) $KHCO_3(s) + \cancel{HCl(aq)} \longrightarrow \cancel{KCl(aq)} + \overset{\frac{1}{2}}{H_2O(l)} + \overset{\frac{1}{2}}{CO_2(g)}$ y kJ

$KHCO_3(s) \longrightarrow \frac{1}{2}K_2CO_3(s) + \frac{1}{2}CO_2(g) + \frac{1}{2}H_2O(l)$

根據赫斯定律：

$KHCO_3(s)$ 的分解焓變 $= (-\frac{x}{2} + y)$ kJ mol^{-1} (2)

傳意分數 (1)