

第

1

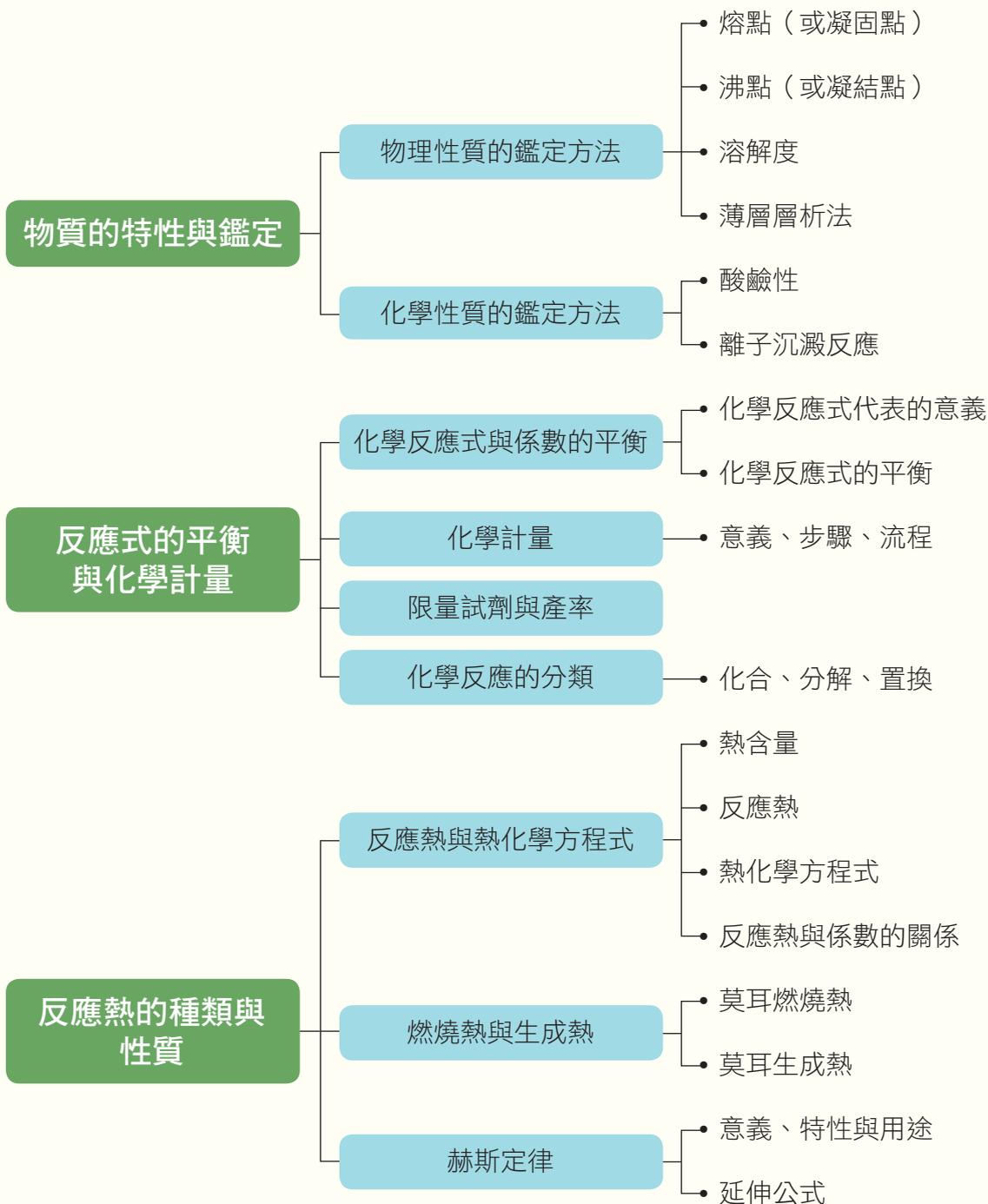
章

物質鑑定 與化學反應



學習概念圖

1





安心好用 · 龍騰教得完

龍騰獨家設計 教師專屬備課指南

龍騰團隊走訪全臺各校，了解各校面對新課綱的教學情形、用書意見與段考進度，整理出這份教學情報站，提供您備課參考！透過這份資料，您可以知道其他學校如何安排段考進度、化學三年的課程地圖、常見的課程 Q&A 等，希望能幫助老師順利度過新課綱的前幾年，快速上手新教材！



第 1 章 教學情報站



● 選化 I 建議段考範圍

第 1 章和化學（全）重複性高，故可加快教學進度，僅針對較難的題型說明，其餘讓同學自行複習，即可進到第 2 章的內容。進度較快的學校，期末時會考到選化 II 的第 1 章，可為下學期爭取更多時間、減輕時數壓力！

說明 考試	1. 正常版 按照章節順序，每章的重點概念皆完整講述、平均分配授課時間	2. 加快版 提前上選修化學 2 的內容，減輕下學期時數壓力	3. 超速版 選化 I 第一章當複習快速帶過，超前進度，期末才有時間教選化 2
第 1 次段考	1-1 ~ 2-1 節	1-1 ~ 2-1 節	1-1 ~ 2-3 節
第 2 次段考	2-2 ~ 3-1 節	2-2 ~ 3-1 節	2-4 ~ 第 3 章全
第 3 次段考	第 3 章全	選化 I 3-2 ~ 3-4 節 選化 II 1-1 ~ 1-2 節	選化 II 1-1 ~ 1-4 節

● 建議教學進度

實際授課時數將依現場狀況調整，下表僅供您參考

章節	授課時數	講義範例	小提醒
1-1 物質的特性與鑑定	2 節	2 題	為同學建立實驗操作、探究的基本概念，講義可快速帶過
1-2 反應式的平衡與化學計量	4 節	7 題	本節和高一重複較多，可快速帶過
1-3 反應熱的種類與性質	4 節	7 題	反應熱定義和高一重複，赫斯定律是高二才提
實驗：反應熱的測量	彈性	1 題	

 選化 | 教到哪

● 課程地圖

章節概念		高一化學(全)	選修化學 I	選修化學 II ~ V
1-1	物理性質的鑑定方法	薄層層析	熔點、沸點 溶解度 薄層層析	—
	化學性質的鑑定方法	無	酸鹼性 離子沉澱	選修化學 III 酸鹼鹽 沉澱反應
1-2	化學反應式與係數平衡	✓	✓	—
	化學計量	✓	✓	
	限量試劑與產率	無	✓	
	化學反應的分類	無	✓	
1-3	反應熱與熱化學方程式	✓	✓	—
	燃燒熱與生成熱	無	✓	
	赫斯定律	無	✓	

 選化 | 教什麼

● 教學小錦囊

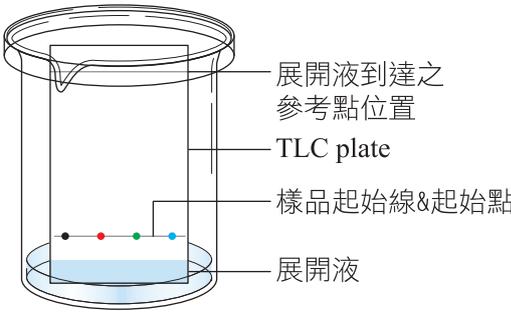
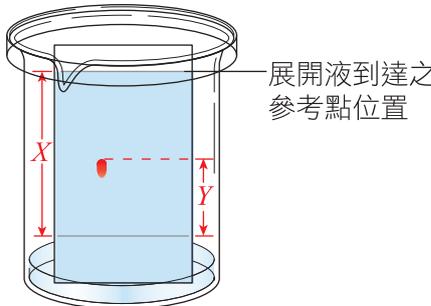
- Q** 第 1-1 節「物質的特性與鑑定」，為什麼這裡要教鑑定呢？有些內容和高一課程重複。
龍騰課本整理出物理鑑定與化學鑑定的方法，目的是讓同學在探究實作課程開始前，了解有哪些鑑定物質種類的操作方式。講義以表格的方式，在 P.2 ~ 3 統整重點，老師帶同學快速瀏覽即可，深入的原理，後面冊次才會講喔！
- Q** 第 1-2 節「反應式的平衡與化學計量」，這節的內容高一都教過了，高二要講什麼呢？
課綱規定，高一只教基本概念、僅練習簡單計算；高二則會演練完整題型。建議老師挑選較難的題型（氣體計算）帶同學練習，基本題則留給同學自行複習。
- Q** 第 1-2 節「反應式的平衡與化學計量」，氧化數平衡法，哪裡會教到呢？
選修化學第 IV 冊，第 1 章「氧化與還原」，將會完整講述氧化數、半反應平衡法、氧化數平衡法等概念，再帶入第 2 章「電化學」練習應用。建議老師在選修化學第 IV 冊，再介紹氧化數平衡法，學生將更有系統的學習、教學也更順暢！
- Q** 第 1-3 節「反應熱的種類與性質」和高一內容重複很多，高二的教學重點是什麼呢？
「反應熱與熱化學方程式」是高一學過的概念，「燃燒熱與生成熱」和「赫斯定律」則是高二才教的內容，建議老師前面可以快速帶過，著重在後半部的內容。



1-1 物質的特性與鑑定

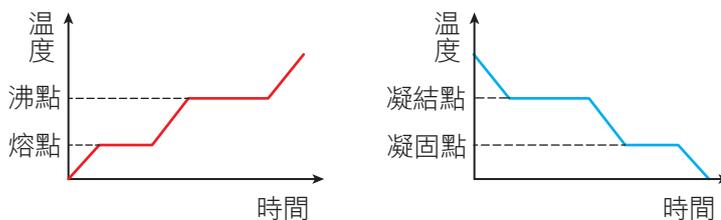
重點一 物理性質的鑑定方法

方法	內容	實例												
熔點 (或凝固點)	<ol style="list-style-type: none"> 意義 適用於常溫、常壓下為固體的物質。 用途 <ol style="list-style-type: none"> 分辨純物質與混合物 熔點固定：純物質 熔點不固定：混合物 分辨純物質的種類 熔點較低：分子物質 熔點較高：離子化合物或共價網狀晶體 判斷同分異構物的存在 	同分異構物：可可鹼和茶鹼 <table border="1"> <thead> <tr> <th>物質</th> <th>可可鹼</th> <th>茶鹼</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>分子式</td> <td>$C_7H_8N_4O_2$</td> <td>$C_7H_8N_4O_2$</td> </tr> <tr> <td>結構式</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>熔點</td> <td>$357^{\circ}C$</td> <td>$273^{\circ}C$</td> </tr> </tbody> </table>	物質	可可鹼	茶鹼	分子式	$C_7H_8N_4O_2$	$C_7H_8N_4O_2$	結構式			熔點	$357^{\circ}C$	$273^{\circ}C$
物質	可可鹼	茶鹼												
分子式	$C_7H_8N_4O_2$	$C_7H_8N_4O_2$												
結構式														
熔點	$357^{\circ}C$	$273^{\circ}C$												
沸點 (或凝結點)	<ol style="list-style-type: none"> 意義 適用於常溫、常壓下為液體的物質。 用途 <ol style="list-style-type: none"> 分辨純物質與混合物 沸點固定：純物質 沸點不固定：混合物 分辨純物質的種類 判斷同分異構物的存在 	同分異構物：正丁醇和乙醚 <table border="1"> <thead> <tr> <th>物質</th> <th>正丁醇</th> <th>乙醚</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>分子式</td> <td>$C_4H_{10}O$</td> <td>$C_4H_{10}O$</td> </tr> <tr> <td>結構式</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>沸點</td> <td>$117.7^{\circ}C$</td> <td>$34.6^{\circ}C$</td> </tr> </tbody> </table>	物質	正丁醇	乙醚	分子式	$C_4H_{10}O$	$C_4H_{10}O$	結構式			沸點	$117.7^{\circ}C$	$34.6^{\circ}C$
物質	正丁醇	乙醚												
分子式	$C_4H_{10}O$	$C_4H_{10}O$												
結構式														
沸點	$117.7^{\circ}C$	$34.6^{\circ}C$												
溶解度	相同溫度下，外觀相似的物質，可能因為其結構不同而有不同的溶解度。	<ol style="list-style-type: none"> 有機物 茶鹼可溶於水，可可鹼難溶於水；乙醇可溶於水，乙烷難溶於水。 無機物 氯化鈉可溶於水，氯化銀難溶於水。 												

方法	內容	實例
薄層層析法 (TLC)	<p>1. 意義 藉由不同物質對固定相附著力的差異，使不同物質在固定相上展開而分離。</p> <p>2. R_f 值 物質移動的距離相對於展開液移動的距離比例，如右圖 (b)。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $R_f = \frac{\text{物質的移動距離}(Y)}{\text{展開液的移動距離}(X)}$ </div> <p>在固定相和展開液不變的條件下，同一物質受到固定相與展開液的作用力相同，R_f 值也會相同。</p>	<p>鑑定市售止痛藥的止痛劑成分： 乙醯胺酚、布洛芬、阿司匹靈、咖啡因</p> <p>(1) 先進行此四種藥品之標準品的 TLC 片層析，並記下個別的 R_f 值。</p> <p>(2) 再將市售藥品在同樣條件下進行 TLC 片層析，藉由所測得的 R_f 值與標準品對照，即可判定。</p> <p>(a)</p>  <p>(b)</p> 

觀念是非題

(○) 1. 純物質的加熱與冷卻曲線，如圖所示：



(○) 2. 層析法的樣品起始線應在展開液的液面上方。

(✗) 3. 層析法分離出的色素 (或物質) 必為純物質。

(✗) 4. 層析法使用的展開液一定是水溶液。

- 純物質：有固定的熔點 (凝固點) 與沸點 (凝結點)。
混合物：無固定的熔點 (凝固點) 與沸點 (凝結點)。
- 展開液液面需比樣品點的高度低，以免樣品直接溶入展開液中。
- 同一點並非只有一種色素 (或物質)，故不一定為純物質。
- 展開液可以是水、有機溶劑或水溶液。

範例 1 物質的特性與鑑定

下列哪些敘述符合純物質的性質？

- ① 熔點為 $80 \sim 98^{\circ}\text{C}$
 - ② 沸點為 78°C
 - ③ 外觀為紅棕色固體
 - ④ 可溶於水中，形成藍色溶液
 - ⑤ 10°C 為固態，加熱至 30°C 開始熔化，熔化過程中加熱曲線保持水平
 - ⑥ 無色液體，且過濾後濾紙上無殘留顆粒
- (A) ②⑤⑥ (B) ②⑤ (C) ③④⑥ (D) ④⑤⑥ (E) ①③⑤。

答 (B)

解 ① 熔點非定值，為混合物；③ 無法判定純物質或混合物，例如：可能為氧化鐵或氧化鐵與氫氧化鐵的混合物；④ 無法判定純物質或混合物，例如：可能為硫酸銅或硫酸銅與硝酸銅的混合物；⑥ 無法判定純物質或混合物，例如：可能為水或食鹽水

▶ 類題 1

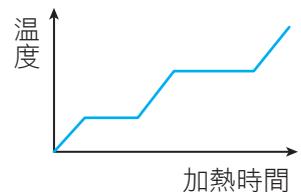
下列哪些物質，其加熱曲線圖符合附圖？

- (A) 柴油 (B) 18K 金 (C) 硫磺 (D) 蒸餾水 (E) 碘酒。

答 (C)(D)

解 由圖可知其熔點、沸點為定值，故為純物質。

- (A) 柴油是烷類的混合物 (B) 18K 金：金和銅的合金，為混合物 (C) 硫磺為純物質 (D) 蒸餾水為純物質
(E) 碘酒為碘、碘化鉀及酒精的水溶液，為混合物



重點二 化學性質的鑑定方法

一、酸鹼性

1. 鑑定未知物質時，通常會先測其酸鹼性，以做簡單的篩選與分類。
2. 測定

(1) 利用酸鹼指示劑

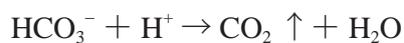
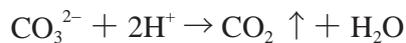
已知一指示劑變色範圍為 $a \sim b$ 且 $a < b$ ，若任一物質的 pH 值小於 a ，則為酸型顏色，大於 b ，則為鹼型顏色，而介於 $a \sim b$ 之間者，則為兩者的混合色。

例 常見的酸鹼指示劑

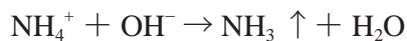
指示劑	變色範圍	
	石蕊	酸型顏色
紅色		藍色
4.5 ~ 8.3		
溴瑞香草酚藍	酸型顏色	鹼型顏色
	黃色	藍色
	6.0 ~ 7.6	
酚酞	酸型顏色	鹼型顏色
	無色	紅色
	8.2 ~ 10.0	

(2) 利用化學反應

- ① 判斷無機鹽中是否含有碳酸根或碳酸氫根，可加入酸性試劑，如：鹽酸或硫酸，觀察其是否產生二氧化碳。



- ② 判斷無機鹽中是否含有銨根，可加入強鹼性的試劑，如：氫氧化鈉或氫氧化鈣，觀察其是否產生鹼性且有特殊氣味的氨氣。



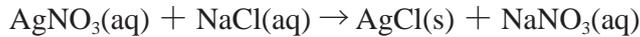
二、離子沉澱反應

1. 意義

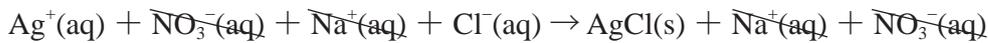
將兩種電解質溶液混合，若陰、陽離子結合形成溶解度低的化合物時，便會析出形成沉澱。

例 無色 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 與無色 $\text{NaCl}(\text{aq})$ 反應，產生白色 $\text{AgCl}(\text{s})$ 沉澱。

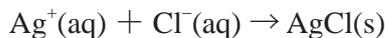
① 全反應式：所有物質均以化合物表示的反應式。



② 離子反應式：強電解質以離子表示，弱電解質及沉澱物以化合物表示的反應式。



③ 淨離子反應式：將沒參與反應的離子消去的反應式。



2. 溶解度規則（此規則會於選修化學 III 第 2 章沉澱反應中詳述）

類別	規則	
全部可溶	NO_3^- 、 CH_3COO^- 【註】、 IA^+ 、 NH_4^+ 遇所有離子皆可溶	
大部分可溶 (故僅列出難溶者)	Cl^- 、 Br^- 、 I^-	遇 Hg_2^{2+} 、 Cu^+ 、 Pb^{2+} 、 Ag^+ 、 Tl^+ 難溶
	SO_4^{2-}	遇 Pb^{2+} 、 $(\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+)$ 【註】、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 難溶
	CrO_4^{2-}	遇 Pb^{2+} 、 Ag^+ 、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 難溶
大部分難溶 (故僅列出可溶者)	S^{2-}	遇 IA^+ 、 NH_4^+ 、 IIA^{2+} 可溶
	OH^-	遇 IA^+ 、 NH_4^+ 、 (Ca^{2+}) 【註】、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 可溶
	CO_3^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 PO_4^{3-}	遇 IA^+ 、 NH_4^+ 可溶

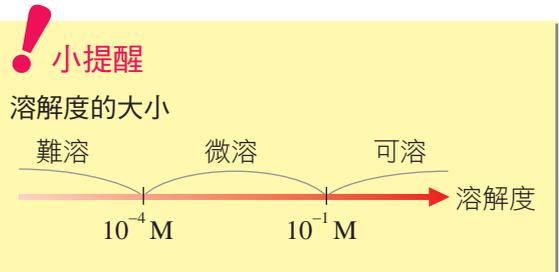
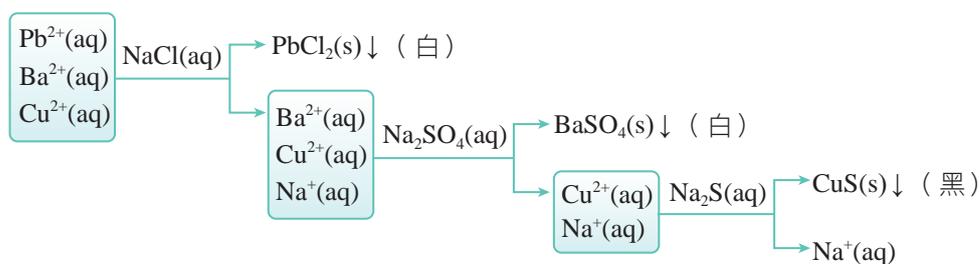
【註】 CH_3COOAg 、 CaSO_4 、 Ag_2SO_4 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 微溶

3. 混合液的分離

(1) 陽離子的分離

溶液中若含有多種陽離子，可加入適當的陰離子試劑，一次產生一種沉澱，以達分離效果。

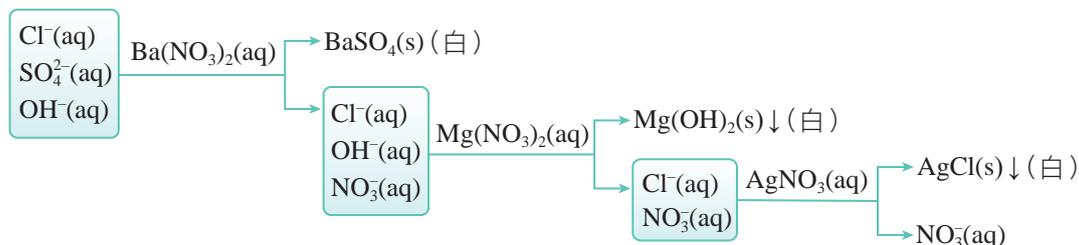
例 分離 Pb^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Cu^{2+}



(2) 陰離子的分離

溶液中若含有多種陰離子，可加入適當的陽離子試劑，一次產生一種沉澱，以達分離效果。

例 分離 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 OH^-

**範例 2** 依序沉澱並分離離子 **素養**

附表是硝酸鉛、硝酸鎂、硝酸鋇三種溶液與氫氧化鈉、硫酸鈉、硫化鈉三種溶液作用的結果（濃度皆為 0.01 M），表中的「+」表示發生沉澱、「-」表示沒有沉澱。

	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
NaOH	+	+	-
Na_2SO_4	+	-	+
Na_2S	+	-	-

已知一水溶液中含 Pb^{2+} 、 Mg^{2+} 及 Ba^{2+} 三種陽離子各 0.01 M，若以 NaOH 、 Na_2SO_4 及 Na_2S 溶液作為試劑，則下列滴加順序何者可達使其分離之目的？

- (A) NaOH ， Na_2SO_4 ， Na_2S (B) Na_2S ， NaOH ， Na_2SO_4 (C) Na_2SO_4 ， Na_2S ， NaOH
 (D) Na_2SO_4 ， NaOH ， Na_2S (E) NaOH ， Na_2S ， Na_2SO_4 。

答 (B)

解 加入的試劑，應使溶液中的陽離子依序一次產生一種沉澱，若先加入的試劑會與其中兩種陽離子發生沉澱，就無法達到分離之目的。

先加入 $\text{Na}_2\text{S}(\text{aq})$ ，可產生 PbS 沉澱而分離出 Pb^{2+} ，隨後加入 $\text{NaOH}(\text{aq})$ ，可產生 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉澱而分離出 Mg^{2+} ，最後加入 $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ ，可產生 BaSO_4 沉澱而分離出 Ba^{2+} 。

類題 2 **素養**

溶液中有 Mg^{2+} 、 Ag^+ 及 Ba^{2+} 三種離子，請依附表所列的實驗結果，判斷下列滴加順序哪一個可使離子分離？

- (A) 先加 NaOH 再加 KI
 (B) 同時加入 NaOH 及 KI
 (C) 先加 KI 再加 Na_2SO_4
 (D) 先加 NaOH 再加 Na_2SO_4
 (E) 先加 Na_2SO_4 再加 NaOH 。

	Mg^{2+}	Ag^+	Ba^{2+}
NaOH	沉澱	沉澱	無沉澱
Na_2SO_4	無沉澱	無沉澱	沉澱
KI	無沉澱	沉澱	無沉澱

答 (C)

解 先加 KI 生成 AgI 沉澱，過濾後，再加 Na_2SO_4 ，再生成 BaSO_4 沉澱。



1-1 ▶ 即刻練習

基礎題

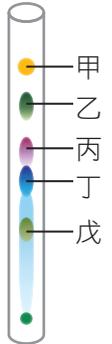
* 表多選題

概念 物質的特性與鑑定

- * **BCE** 1. 常壓下，哪些物質有固定的熔點、沸點？
 (A) 雙氧水 (B) 乾冰 (C) 白金 (D) 鹽酸 (E) 冰糖。

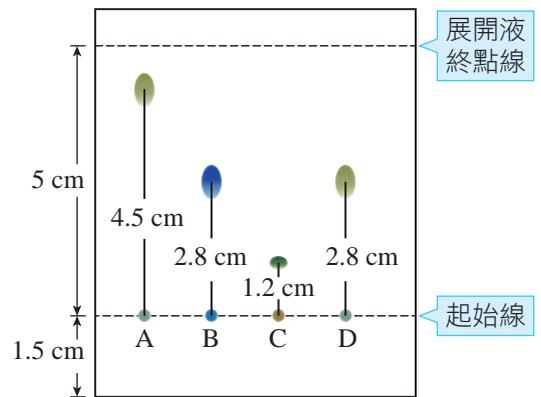
◎ 2 ~ 3 題為題組

以粉筆為固定相，石油醚為展開液，對某混合溶液進行色層層析，其結果如圖所示。



- E** 2. 混合溶液中的何種成分 R_f 最小？
 (A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 戊。
- A** 3. 混合溶液中的何種成分與石油醚間的作用力最大，而與粉筆的作用力最小？
 (A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 戊。

- 素養** * **CDE** 4. 將 A、B、C、D 四種色素溶於丙酮中，以毛細管吸取，依序滴在 TLC 片的起始基準線上，然後取一燒杯，將 TLC 片浸泡於少量丙酮中（丙酮液面高度低於起始線），並覆蓋鉛箔，靜置一段時間，使丙酮上升至終點線，取出風乾，結果如圖所示。試問下列敘述哪些正確？



- (A) 若色素與丙酮的附著力為 F_1 ，色素與 TLC 片的附著力為 F_2 ，則 $F_1 - F_2$ ：
 $C > B > A$
- (B) 色素 C 的 R_f 值為 0.18
- (C) R_f 值： $A > B > C$
- (D) 色素 B 與色素 D 有相同的 R_f 值，可能為同一種物質
- (E) 色素 D 的 R_f 值為 0.56。

- * **ABC** 5. 下列哪些方法，可以區分純水和食鹽水？
 (A) 測導電度 (B) 加入硝酸銀溶液 (C) 測沸點 (D) 觀察顏色 (E) 測 pH 值。
- * **ABC** 6. 1-丁醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) 與乙醚 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$) 的哪些性質相同？
 (A) 分子量 (B) 實驗式 (C) 碳的重量百分組成 (D) 熔點 (E) 對水溶解度。



1-1 ▶ 即刻練習 解析頁

基礎題

- (A)(D) 為混合物，無固定的熔點、沸點
- 展開液的移動距離相同，各成分的移動距離：甲 > 乙 > 丙 > 丁 > 戊，
故 R_f ：甲 > 乙 > 丙 > 丁 > 戊
- 甲的移動距離最長，故與石油醚間的作用力最大，與粉筆的作用力最小
- (A) $F_1 - F_2$ 愈大者，移動距離愈長，故應為：A > B > C (B) 色素 C 的 $R_f = \frac{1.2}{5.0} = 0.24$
(E) D 的 $R_f = \frac{2.8}{5.0} = 0.56$

	(A) 測導電度	(B) 加入硝酸銀溶液	(C) 測沸點	(D) 觀察顏色	(E) 測 pH 值
純水	無	無沉澱	定值，100°C	無色	中性
食鹽水	有	有沉澱	非定值，> 100°C	無色	中性

- 1- 丁醇與乙醚為同分異構物。(A) 分子量均為 74 (B) 實驗式均為 $C_4H_{10}O$ (C) 碳的重量百分組成均為 $\frac{48}{74} \times 100\%$ (D)(E) 物性不相同



1-1 ▶ 即刻練習 解析頁

7. (A)(B)(D) 是以化學性質鑑定物質
8. (A) 可能為酸、鹼、鹽 (B) 顏色與酸鹼性無關 (C) 酚酞呈紅色，表鹼性溶液
9. 酚酞呈現無色 $\Rightarrow \text{pH} \leq 8.2$ ；甲基紅呈現紅色 $\Rightarrow \text{pH} \leq 4.8$ ；甲基橙呈現黃色 $\Rightarrow \text{pH} \geq 4.4$ ；溴瑞香草酚藍呈現黃色 $\Rightarrow \text{pH} \leq 6.0$ ，故 pH 值應在 4.4 ~ 4.8 之間
10. (1) 甲、乙混合呈紅色 \Rightarrow 甲、乙必為一鹼，另一為酚酞 \Rightarrow 丙必為酸
(2) 酸鹼中和會放熱，故水溫上升，(D) 正確
11. 由實驗 (1) 知甲為鹼性的氫氧化鈉溶液，由實驗 (2) 知丙為酸性的鹽酸溶液，由實驗 (3) 知甲、丙中和產生的鹽類為氯化鈉

概念 化學性質的鑑定方法

* CE 7. 下列鑑定物質的方法，哪些屬於物理性質的鑑定法？

【109 臺中女中】

- (A) 判斷物質是否含有碳酸鹽，可加入酸觀察是否產生氣體
 (B) 檢測鉛離子，可加入溴離子，觀察是否有沉澱產生
 (C) 可利用沸點差異來判斷同分異構物的種類
 (D) 利用酸鹼指示劑判斷物質的酸鹼性
 (E) 層析法利用物質對固定相、溶劑之吸附力的差異，達成分離的效果。

* DE 8. 下列哪些觀察或實驗可以代表水溶液呈酸性？

- (A) 水溶液會導電 (B) 水溶液呈現無色 (C) 加入酚酞，水溶液變為紅色
 (D) 加入碳酸鈣，產生氣泡 (E) 在藍色石蕊試紙上滴數滴水溶液，呈現紅色。

素養 B 9. 附圖為常見指示劑的變色範圍：

	pH 變色範圍							
	0	2	4	6	8	10	12	14
甲基橙			紅	黃				
甲基紅			紅	黃				
溴瑞香草酚藍				黃	藍			
酚酞					無色	粉紅		

某水溶液可使酚酞呈現無色，甲基紅呈現紅色，甲基橙呈現黃色，溴瑞香草酚藍呈現黃色，試問該水溶液的 pH 值可能為何？

- (A) 3.0 (B) 4.5 (C) 5.5 (D) 5.8 (E) 6.0。

* CD 10. 有三種無色溶液甲、乙、丙，假設這三種溶液可能為酸、鹼及酚酞。取少量甲溶液與少量乙溶液混合，呈紅色。但甲溶液或乙溶液與丙溶液混合均不呈色，則下列敘述哪些正確？

- (A) 甲為鹼 (B) 乙為酚酞 (C) 丙為酸 (D) 若甲為鹼，甲、丙混合時水溫將上升
 (E) 無法判斷各溶液成分。

素養 B 11. 有三支試管分別裝有稀鹽酸、氫氧化鈉及食鹽水溶液，已知各溶液的濃度均為 0.1 M，但標籤已脫落無法辨認，今將三支試管分別標示為甲、乙、丙後，欲以實驗找出各試管是何種溶液。實驗結果如下：

- (1) 各以紅色石蕊試紙檢驗時，只有甲試管變藍色。
 (2) 加入藍色溴瑞香草酚藍 (BTB) 於丙試管時，變黃色。
 (3) 試管甲與試管丙的水溶液等量混合後，上述兩種指示劑都不變色，加熱蒸發水分後得白色晶體。

試問甲試管、乙試管、丙試管所含的物質依序為下列哪一項？

- (A) 鹽酸、氯化鈉、氫氧化鈉 (B) 氫氧化鈉、氯化鈉、鹽酸 (C) 氯化鈉、鹽酸、氫氧化鈉
 (D) 鹽酸、氫氧化鈉、氯化鈉 (E) 氫氧化鈉、鹽酸、氯化鈉。

素養 ◎ 12 ~ 13 題為題組

附表是硝酸銀、硝酸鎂、硝酸鋇、硝酸鎳四種溶液與氫氧化鈉、氯化鈉、硫酸鈉、硫化鈉等四種溶液作用的結果，表中的「—」表示沒有沉澱。（以上所有水溶液的濃度都是 0.01 M）

A 12. 硝酸鎳溶液與硫化鈉溶液混合時會產生黑色的沉澱，試問該沉澱的化學式為下列哪一項？

(A) NiS (B) Ni₂S (C) NiS₂ (D) Ag₂S (E) MgS₂。

E 13. 有一水溶液含 Ag⁺、Mg²⁺、Ba²⁺ 及 Ni²⁺ 四種陽離子各 0.01 M。若以 NaOH、NaCl、Na₂SO₄ 及 Na₂S 溶液作為試劑使之分離，則下列滴加四種試劑的先後順序中，哪一項可達到分離的目的？

- (A) NaOH；NaCl；Na₂SO₄；Na₂S
 (B) Na₂S；NaOH；NaCl；Na₂SO₄
 (C) Na₂SO₄；Na₂S；NaOH；NaCl
 (D) NaCl；Na₂SO₄；NaOH；Na₂S
 (E) NaCl；Na₂SO₄；Na₂S；NaOH。

	AgNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Ba(NO ₃) ₂	Ni(NO ₃) ₂
NaOH	棕色沉澱	白色沉澱	—	綠色沉澱
NaCl	白色沉澱	—	—	—
Na ₂ SO ₄	—	—	白色沉澱	—
Na ₂ S	黑色沉澱	—	—	黑色沉澱

進階題



影音解題

素養 ◎ 14 ~ 16 題為題組

有一已磨成粉末的混合物試樣，是由下列六種物質中的數種等量組成：

- (A) NaCl
 (B) KCl
 (C) CaCl₂
 (D) CuSO₄ (無水)
 (E) Na₂SO₄
 (F) Na₂CO₃

為了要確定該粉末試樣的成分，王同學先查了資料後，自己研擬了一個檢驗粉末試樣的流程圖，並請李老師指導。李老師認為整個實驗都相當安全，基於鼓勵學生多做「探究學習」，同意王同學在化學實驗室中進行實驗，並要求王同學確實記錄實驗過程，並檢討每一實驗的必要性。

王同學手中有二項參考資料：

a. 溶解度規則

類別	規則	
全部可溶	NO ₃ ⁻ 、CH ₃ COO ⁻ 、IA ⁺ 、NH ₄ ⁺ 遇所有離子皆可溶	
大部分可溶 (故僅列出難溶者)	Cl ⁻ 、Br ⁻ 、I ⁻	遇 Hg ₂ ²⁺ 、Cu ⁺ 、Pb ²⁺ 、Ag ⁺ 、Tl ⁺ 難溶
	SO ₄ ²⁻	遇 Pb ²⁺ 、Ca ²⁺ 、Sr ²⁺ 、Ba ²⁺ 難溶
	CrO ₄ ²⁻	遇 Pb ²⁺ 、Ag ⁺ 、Sr ²⁺ 、Ba ²⁺ 難溶
大部分難溶 (故僅列出可溶者)	S ²⁻	遇 IA ⁺ 、NH ₄ ⁺ 、IIA ²⁺ 可溶
	OH ⁻	遇 IA ⁺ 、NH ₄ ⁺ 、Ca ²⁺ 、Sr ²⁺ 、Ba ²⁺ 可溶
	CO ₃ ²⁻ 、SO ₃ ²⁻ 、PO ₄ ³⁻	遇 IA ⁺ 、NH ₄ ⁺ 可溶

b. 沉澱物顏色

氯化物：AgCl (白)、Hg₂Cl₂ (白)、PbCl₂ (白)

硫酸鹽：CaSO₄ (白)、SrSO₄ (白)、BaSO₄ (白)、PbSO₄ (白)

碳酸鹽：CaCO₃ (白)、SrCO₃ (白)、BaCO₃ (白)、CuCO₃ (綠)



1-1 ▶ 即刻練習 解析頁



13. 加入試劑時，每次只能產生一種沉澱，故滴加順序應為：加入 NaCl ，產生 AgCl 沉澱；再加入 Na_2SO_4 ，產生 BaSO_4 沉澱；再加入 Na_2S ，產生 NiS 沉澱；最後加入 NaOH ，產生 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉澱



1-1 ▶ 即刻練習 解析頁

進階題

- 14.15. 實驗一：必無 (D) CuSO_4 ，因 CuSO_4 溶液為藍色；必無 (C) CaCl_2 和 (F) Na_2CO_3 中的任一種，因兩者混合會產生 CaCO_3 白色沉澱
實驗二：必含 (F) Na_2CO_3 ，承實驗一，必無 (C) CaCl_2
實驗三：必含 (E) Na_2SO_4 ，因產生 BaSO_4 白色沉澱
16. 實驗四加 BaCl_2 溶液，實驗五加 AgNO_3 溶液，兩者混合即產生 AgCl 白色沉澱。此兩實驗不做，並不影響第 14、15 題的判斷結果

歷屆試題

- (B) 點一滴在 Z 點即可，不必持續接觸。若濃度較稀薄，可多點幾次，但每點一次即吹乾，以防樣品點過大
(C) 展開液的液面要低於 X 處的橫線
(D) 當展開液到達 Y 處的細線時，即可停止展開
- (A) 不能確認藍色與紅色皆為純物質 (B) 不能確認藍色物質的分子量大於紅色物質的分子量
(C) 紫色染料必含有藍色與紅色成分，故必為混合物 (D) 此為濾紙層析法的原理
(E) 紫色染料必為混合物

以下是報告的一部分，回答下列各題：

實驗一：用燒杯取粉末試樣約 2 克，加蒸餾水約 100 毫升，攪拌後形成無色的透明溶液 X。

實驗二：在溶液 X 中加了鹽酸，則見溶液中陸續產生氣泡，至溶液不再冒氣泡，溶液仍為無色透明（貼上標籤 Y）。

實驗三：在無色透明的溶液 Y 中，滴加 BaCl_2 溶液，即見白色沉澱。

實驗四：繼續滴加 BaCl_2 溶液，至白色沉澱不再產生後，過濾分離出白色沉澱，得到透明的無色濾液 Z。

實驗五：在濾液 Z 中，滴入 AgNO_3 溶液，則見白色沉澱。

CD 14. 根據上述報告，原粉末中一定**沒有**哪兩種物質？（從 (A) ~ (F) 中選 2 項）

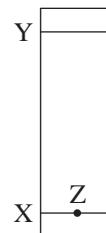
EF 15. 原粉末中，一定含有哪兩種物質？（從 (A) ~ (F) 中選 2 項）

DE 16. 若王同學只需回答問題 14 與 15，你認為王同學**不需要**做哪兩個實驗？

(A) 實驗一 (B) 實驗二 (C) 實驗三 (D) 實驗四 (E) 實驗五。

歷屆試題

素養 * **AE** 1. 濾紙層析是分離混合物的一種簡便方法。首先用鉛筆在長條形濾紙距上、下緣約 1 公分處，各畫一條細線（如圖的 X、Y 橫線）；然後用毛細管在 Z 處點好樣品後，再放入裝有適當展開液之展開槽中進行分離。下列有關濾紙層析之原理及操作，哪些選項正確？



(A) 濾紙層析是利用混合物中各成分物質的性質差異（如對濾紙之吸附力）

達到分離效果

(B) 用毛細管將樣品溶液點在濾紙上的 Z 點時，須持續接觸約 10 秒，以提高樣品含量

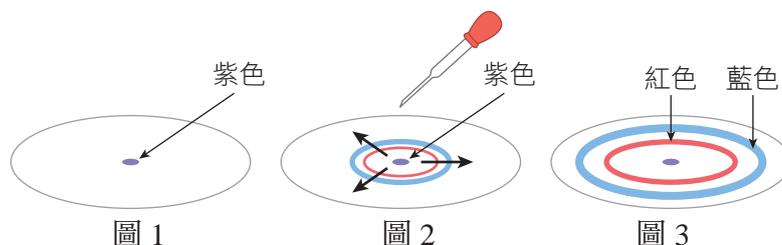
(C) 必須使用足量的展開液，使其液面剛好接觸到 X 處之橫線

(D) 當移動最快的成分物質到達 Y 處之細線時，即可停止展開

(E) 改變展開液的成分可改變混合物的分離效果。

【108 學測】

素養 * **CD** 2. 利用濾紙層析法分析紫色水性彩色筆的染料時，首先用紫色水性彩色筆在圓形濾紙圓心處畫一個實心圓形，如圖 1 所示。其次，用滴管在圓心緩慢逐滴加水，此時部分染料隨著水漬在濾紙上呈現同心圓擴散，如圖 2 所示。停止加水後，擴散至如圖 3 所示。



下列哪些敘述，可由上述實驗結果得知？

(A) 藍色與紅色物質均為純物質 (B) 藍色物質的分子量大於紅色物質的分子量 (C) 紫色染料為混合物，至少含有兩種不同的成分 (D) 藍色與紅色物質與濾紙附著力不同，因而造成同心圓的分布 (E) 紫色染料為純物質，與水反應後形成藍色與紅色物質。

【110 學測】

B 3. 對某一濃度為 0.01 M 的未知水溶液進行測試，觀察到下列現象：

- (1) 此溶液具有極佳導電性
 - (2) 此溶液的 pH 值和純水相近
 - (3) 此溶液通入二氧化碳，會產生白色沉澱
 - (4) 此溶液加入等體積的 0.01 M 氫氧化鈉溶液，會產生白色沉澱
- 此水溶液最可能含有下列何種物質？

(A) 氯化鈉 (B) 氯化鈣 (C) 蔗糖 (D) 碳酸鈉 (E) 氫氧化鉀。

【101 學測】

素養 * **ABE** 4. 甲為 0.01 M 鹽酸水溶液，將其以純水稀釋一千倍後得水溶液乙，再將乙以純水稀釋一千倍後得水溶液丙，再將丙以純水稀釋一千倍後得水溶液丁。廣用試紙之顏色如表列：

pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
顏色	紅	橙紅	橙黃	黃	黃綠	綠	淺藍	深藍	靛	紫

下列有關試紙呈色的敘述，哪些正確？

(A) 甲溶液使廣用試紙呈紅色 (B) 乙溶液使廣用試紙呈黃色 (C) 丙溶液使廣用試紙呈淺藍色 (D) 丁溶液使廣用試紙呈紫色 (E) 甲溶液使藍色石蕊試紙呈紅色。

【102 學測】

3. 由 (1) 可知，該物質為電解質，(C) 須刪除。由 (2) 可知，該物質水溶液為中性，(D)(E) 須刪除。由 (3)(4) 可知，該物質應含有會與 CO_3^{2-} 及 OH^- 生成沉澱的離子。故最可能為 (B) 氯化鈣水溶液

4.

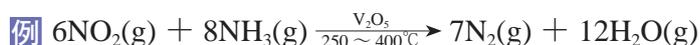
	甲	乙	丙	丁
$[\text{H}^+]$	10^{-2} M	10^{-5} M	約 10^{-7} M	約 10^{-7} M
pH	2	5	約 7	約 7
廣用試紙	紅	黃	綠	綠
藍色石蕊試紙	紅	紅	不變色	不變色



1-2 ▶ 反應式的平衡與化學計量

重點一 化學反應式與係數的平衡 高一複習

一、化學反應式代表的意義



- 反應物與生成物（產物）種類。
- 反應條件（如：催化劑、溫度、壓力、加熱、電解等）附加於箭號的上方或下方。
- 狀態標示於各物質化學式的右側：
(g) 表氣態；(l) 表液態；(s) 表固態；(aq) 表水溶液。
- 生成氣體可加「↑」，生成沉澱可加「↓」。

二、化學反應式的平衡

1. 基本原理

(1) 原子不滅

化學反應為原子的重新排列組合，反應前後原子的種類及數目均不變。

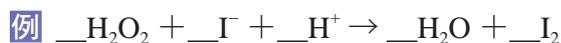
(2) 電荷不滅

化學反應前後的總電荷量不變。

2. 化學反應式的平衡

(1) 觀察法

- 將最複雜（原子數或原子種類最多者）物質的係數訂為 1，或由兩邊各出現一次的原子著手。
- 其餘的係數依原子不滅及電荷不滅決定。



解 H_2O_2 係數訂為 1

↓ O 數相等



↓ H 數相等



↓ 電荷數相等



↓ I 數相等

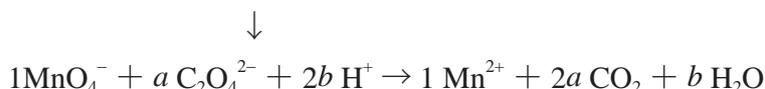


(2) 代數法

- ① 先將最複雜（原子數或原子種類最多者）物質的係數訂為 1，或由兩邊各出現一次的原子著手，並依原子不滅將可求得的係數確定。
- ② 其餘的係數設為未知數，此步驟仍須併用觀察法較佳，使未知數愈少愈好。
- ③ 依原子不滅及電荷不滅列反應式。
- ④ 解反應式。

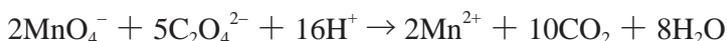


解 MnO_4^- 係數訂為 1，其他係數依觀察法確定或設未知數



$$\begin{cases} \text{O 數相同: } 4 + 4a = 4a + b \\ \text{電荷數相同: } -1 - 2a + 2b = +2 \end{cases} \Rightarrow a = \frac{5}{2}, b = 4$$

↓ 係數 × 2



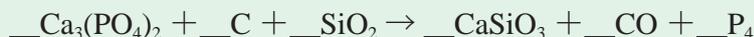
觀念是非題

- (~~X~~) 1. 化學反應式平衡係數後，兩邊的分子數個數相等。
- (~~X~~) 2. 化學反應式可用來預測生成物的種類。

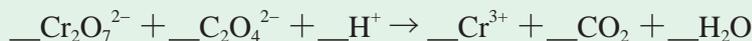
1. 化學反應式平衡後，因遵守質量守恆定律，兩邊原子數相等，但分子數未必相等。
2. 化學反應式的書寫必須有反應的事實，不可憑空臆測生成物。

範例 1 觀察法平衡反應式 高一複習

(1) 依觀察法平衡下列反應式，並將係數化為最簡整數。

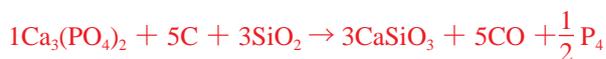


(2) 依代數法平衡下列反應式，並將係數化為最簡整數。



答 (1) 2, 10, 6, 6, 10, 1 (2) 1, 3, 14, 2, 6, 7

解 (1) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 係數訂為 1，依 ① ~ ⑤ 平衡之：



↓ 係數 × 2

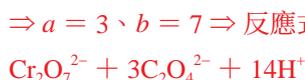


(2) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 係數訂為 1，其他係數依觀察法確定或設未知數：



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{O 數相同: } 7 + 4a = 4a + b \\ \text{電荷數相同: } -2 - 2a + 2b = 6 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow a = 3, b = 7 \Rightarrow \text{反應式為 (1 可省略):}$$



故最簡係數為 1, 3, 14, 2, 6, 7

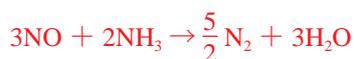
▶類題 1-1

請平衡下列反應式，並將係數化為最簡整數。

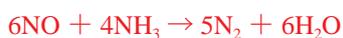


答 (1) 6, 4, 5, 6 (2) 1, 11, 8, 4, 5

解 (1) 平衡 H 原子數，故 NH_3 、 H_2O 係數分別為 2、3，依 ① ~ ③ 平衡之：



↓ 係數 × 2



(2) H_2IO_5^- 係數訂為 1，其他係數依觀察法確定或設未知數：



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{I 數相同：} 1 + a = 3b \\ \text{電荷數相同：} -1 - a + 8 = -b \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow a = 11, b = 4$$

$$\Rightarrow a = 11, b = 4$$

故最簡係數為 1, 11, 8, 4, 5

1

▶類題 1-2

硝酸銅受熱分解，可用下列反應式表示：



式中 n 為係數且為整數，其他物質係數已平衡。試問 X 可能為下列哪些？

(A) NO (B) NO_2 (C) N_2O (D) N_2O_4 (E) N_2O_5 。

答 (B)(D)

解 依原子不滅，可得 $n\text{X} = \text{N}_4\text{O}_8 = 2\text{N}_2\text{O}_4$ 或 4NO_2 ，故選項 (B)(D) 符合

重點二 化學計量

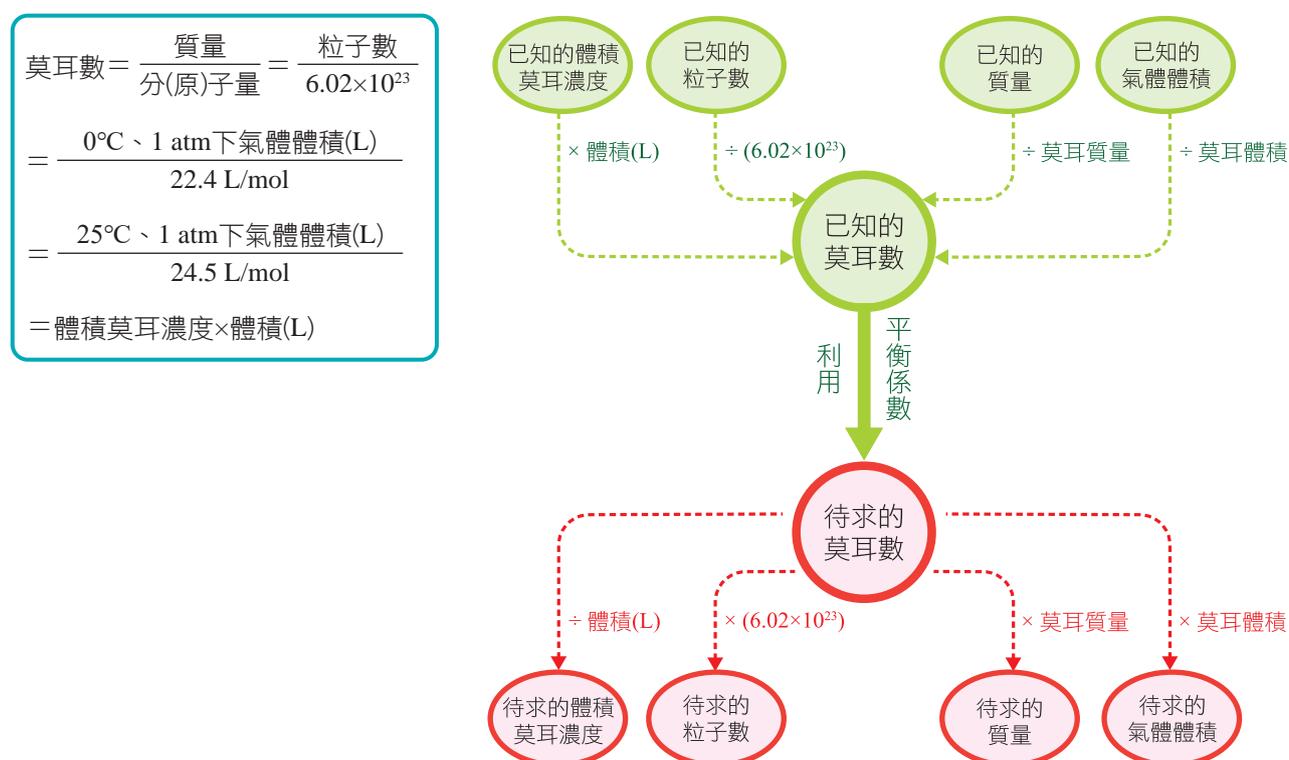
一、意義

利用平衡的化學反應式，討論反應物與生成物間莫耳數、質量或體積關係的方法。

二、步驟

1. 列出反應式。
2. 平衡反應式係數。
3. 將反應物的量換算成莫耳數，利用反應式的係數比求出生成物的莫耳數，並進一步轉化成欲求的量，如：質量或體積。

三、流程



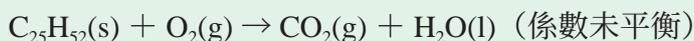
觀念是非題

- (X) 1. 化學反應式的係數比就是反應物與生成物的莫耳數比。
- (O) 2. 氣體的莫耳體積與溫度、壓力有關。

1. 化學反應式的係數比 = 消耗 / 生成莫耳數比 = 消耗 / 生成分子個數比
= 消耗 / 生成氣體體積比 (同溫、同壓下)
2. 0°C , 1 atm : 氣體莫耳體積為 22.4 L
 25°C , 1 atm : 氣體莫耳體積為 24.5 L

範例 2 化學計量

蠟燭的主要成分為二十五烷（分子式為 $C_{25}H_{52}$ ），完全燃燒的反應式如下：



今取含有 80% 二十五烷的蠟燭 44 g，點火使其完全燃燒。試回答下列問題：

- (1) 反應過程中，至少需要多少 mol 的氧氣才可讓蠟燭完全耗盡？
- (2) 反應後，在 25°C 、1 atm 下，可產生多少 L 的二氧化碳（ 25°C 、1 atm 下，氣體莫耳體積為 24.5 L/mol）？
- (3) 反應後，可產生多少 g 的水？



答 (1) 3.8 mol (2) 61.25 L (3) 46.8 g

解 $C_{25}H_{52} = 352$



$$(1) C_{25}H_{52} : \frac{44 \times 0.8}{352} = 0.1 \text{ mol} \Rightarrow O_2 : 0.1 \times 38 = 3.8 \text{ mol}$$

$$(2) CO_2 : 0.1 \times 25 = 2.5 \text{ mol}$$

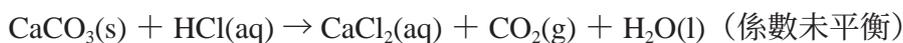
$$CO_2 \text{ 體積} = 2.5 \times 24.5 = 61.25 \text{ L}$$

$$(3) H_2O : 0.1 \times 26 = 2.6 \text{ mol}$$

$$H_2O \text{ 重} = 2.6 \times 18 = 46.8 \text{ g}$$

類題 2

將 10 g 含 75% 碳酸鈣的大理石磨成粉，使其與足量鹽酸完全反應，反應式如下：



試問生成的二氧化碳，在 0°C 、1 atm 下為多少 mL？（ 0°C 、1 atm 下，氣體莫耳體積為 22.4 L/mol。原子量 Ca = 40）

- (A) 840 (B) 1680 (C) 3360 (D) 1837.5 (E) 3675。

答 (B)

解 $CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$ ， $CaCO_3 = 100$

$$CaCO_3 : \frac{10 \times 0.75}{100} = 0.075 \text{ mol} = n_{CO_2}$$

$$CO_2 \text{ 體積} : 0.075 \times 22.4 \times 1000 = 1680 \text{ mL}$$

範例 3 化學計量 素養

過氯酸鉀 (KClO_4) 具強氧化性，常用在煙火和閃光粉中作為氧化劑，也可用於製造炸藥，亦是固體火箭推進劑材料之一。過氯酸鉀係由下列三個化學反應連續產生（係數未平衡）：



由以上反應，欲產生 277 克 KClO_4 ，需 Cl_2 若干莫耳？(K = 39、Cl = 35.5)



答 8 莫耳

解 先平衡反應式後，再利用中間物找出反應物與生成物之關係。



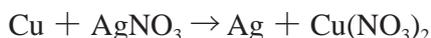
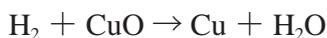
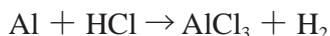
欲得 1 mol KClO_4 需 $\frac{4}{3}$ mol KClO_3 ；欲得 1 mol KClO_3 需 $\frac{3}{1}$ mol KClO ；

欲得 1 mol KClO 需 $\frac{1}{1}$ mol Cl_2 ；故欲得 1 mol KClO_4 需要 $(\frac{4}{3}) \times (\frac{3}{1}) \times (\frac{1}{1})$ mol $\text{Cl}_2 = 4$ mol Cl_2

$\text{KClO}_4 = 138.5$ ，故欲得 277 g 的 KClO_4 需 $\text{Cl}_2 = \frac{277}{138.5} \times 4 = 8$ mol

類題 3

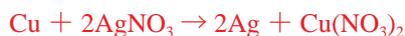
取 3 克的純鋁溶於鹽酸中，將生成的氫氣通過灼熱的氧化銅中，收集所得的純銅，放入硝酸銀溶液，其反應分別如下（係數未平衡）：



則最多可得銀多少克？(Al = 27、Ag = 108)

答 36 克

解 平衡反應式：



1 mol Al 反應產生 $\frac{3}{2}$ mol H_2 ，1 mol H_2 反應產生 1 mol Cu

1 mol Cu 反應產生 2 mol Ag \Rightarrow 1 mol Al 反應產生 $\frac{3}{2} \times 1 \times 2 = 3$ mol Ag

$$\Rightarrow \frac{3}{27} \times 3 \times 108 = 36 \text{ g}$$

範例 4 化學計量的應用

某金屬 M 的碳酸鹽 (MCO_3) 與稀鹽酸作用，產生二氧化碳的反應式如下：



若 0.84 克的 MCO_3 與稀鹽酸完全作用，所產生的氣體，換算成標準狀態的乾燥二氧化碳，恰為 224 毫升。M 應為下列哪一種金屬？(Be = 9、Mg = 24、Ca = 40、Zn = 65、Ba = 137)

(A) Be (B) Mg (C) Ca (D) Zn (E) Ba。

答 (B)



$$\text{莫耳數比 } MCO_3 : CO_2 = 1 : 1 = \frac{0.84}{M + 12 + 3 \times 16} : \frac{224}{22400}$$

$$\Rightarrow M = 24, \text{ 故此金屬應為鎂 (Mg)}$$

類題 4

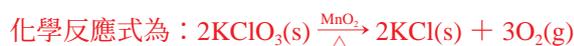
取 147 克之氯酸鉀 ($KClO_3$) 和二氧化錳混合後緩緩加熱，可分解為氧氣和氯化鉀，此時容器中的固體減輕 28.8 克，試問氯酸鉀的分解百分率為何？(K = 39.0、Cl = 35.5)

(提示：加熱減少的重量即為生成的氧氣重量)

(A) 16% (B) 25% (C) 50% (D) 63% (E) 71%。

答 (C)

解 氧氣莫耳數 = $\frac{28.8}{32} = 0.9$ 莫耳



由係數可知反應生成氧氣 0.9 莫耳需消耗 $KClO_3$ 莫耳數 = $0.9 \times \frac{2}{3} = 0.6 \text{ mol}$

$KClO_3$ 之式量 = $39.0 + 35.5 + 16 \times 3 = 122.5$

$KClO_3$ 分解百分率 = $\frac{\text{消耗的反應物重量}}{\text{原有反應物重量}} \times 100\% = \frac{0.6 \times 122.5}{147} \times 100\% = 50\%$

重點三 限量試劑與產率

一、限量試劑

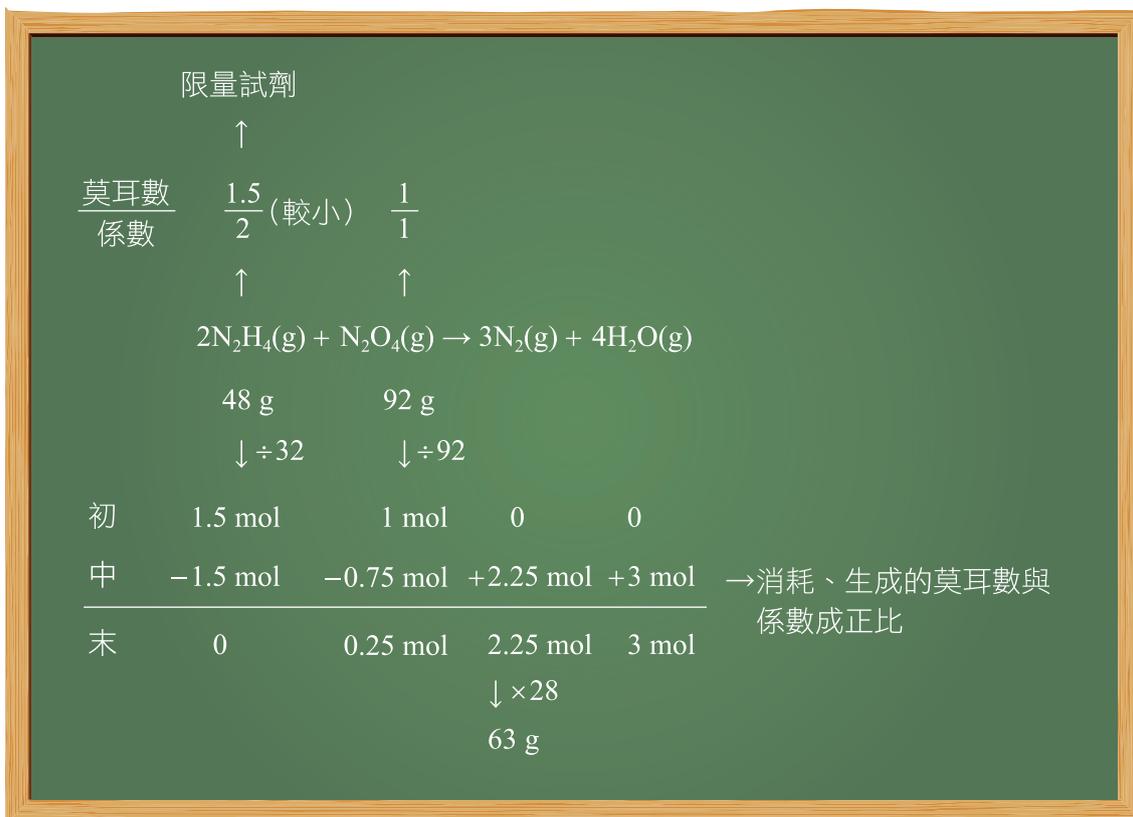
1. 意義

反應過程中，完全耗盡的反應物，稱為限量試劑，可以決定生成物的理論產量。

2. 判斷

反應物中， $\frac{\text{莫耳數}}{\text{係數}}$ 最小者為限量試劑。

例 48 g $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$ 與 92 g 的 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 完全反應後，產生的 $\text{N}_2(\text{g})$ 為多少 g ？



二、產率

1. 理論產量：經由化學計量所求得的生成物產量。

2. 實際產量：經由實際反應所獲得的生成物產量。

$$\text{產率(產量百分率)} = \frac{\text{實際產量}}{\text{理論產量}} \times 100\%$$

例 承上例，經由化學計量所得的 $\text{N}_2(\text{g})$ 為 63 克，若實際反應所得的 $\text{N}_2(\text{g})$ 為 42 克，則產率為

$$\frac{42}{63} \times 100\% \doteq 67\%$$

範例 5 限量試劑 素養

徑賽發令槍所使用火藥的成分通常是氯酸鉀 (KClO_3) 和紅磷 (P)，發令時兩種物質會發生劇烈反應，產生巨大聲響及大量白煙，反應式如下：



假設發令槍中裝填有 24.5 g 的氯酸鉀與 9.3 g 的紅磷，當兩者完全反應後，

試問：(P = 31、Cl = 35.5、K = 39)

- (1) 何者為限量試劑？
- (2) 生成 P_4O_{10} 若干 g？



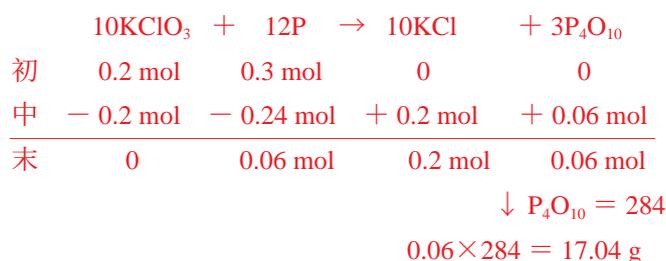
答 (1) KClO_3 (2) 17.04 g

解 $\text{KClO}_3 = 122.5$ ， $\text{P} = 31$ ，

$$\text{KClO}_3 : \frac{24.5}{122.5} = 0.2 \text{ mol}, \text{P} : \frac{9.3}{31} = 0.3 \text{ mol}$$

$\frac{\text{莫耳數}}{\text{係數}}$ 較小，為限量試劑

↑



類題 5 素養

尿素 (NH_2)₂CO 可作為氮肥直接使用，也是重要的化工原料，利用氨與二氧化碳在高壓的條件下反應，可製得尿素，反應式為： $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (係數未平衡)。

取 51 g 的氨與 88 g 的二氧化碳完全反應。試問：

- (1) 何者為限量試劑？
- (2) 反應後生成尿素若干 g？

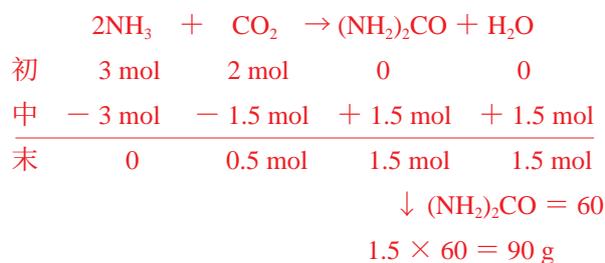
答 (1) NH_3 (2) 90 g

解 $\text{NH}_3 = 17$ ， $\text{CO}_2 = 44$ ，

$$\text{NH}_3 : \frac{51}{17} = 3 \text{ mol}, \text{CO}_2 : \frac{88}{44} = 2 \text{ mol}$$

$\frac{\text{莫耳數}}{\text{係數}}$ 較小，為限量試劑

↑



範例 6 產率

阿司匹靈 ($C_9H_8O_4$) 可由柳酸 ($C_7H_6O_3$) 與醋酸酐 ($C_4H_6O_3$) 反應來製備，其反應式如下：



將 27.6 g 的柳酸與 15.3 g 的醋酸酐反應，若製得 16.2 g 的阿司匹靈，試問反應的產率為多少？

($C_7H_6O_3 = 138$ 、 $C_4H_6O_3 = 102$ 、 $C_9H_8O_4 = 180$)

(A) 30% (B) 40% (C) 50% (D) 60% (E) 75%。

答 (D)

解 $C_7H_6O_3 : \frac{27.6}{138} = 0.2 \text{ mol}$

$C_4H_6O_3 : \frac{15.3}{102} = 0.15 \text{ mol}$

限量試劑

↑

	$C_7H_6O_3$	+	$C_4H_6O_3$	\rightarrow	$C_9H_8O_4$	+	CH_3COOH	
初	0.2 mol		0.15 mol		0		0	
中	- 0.15 mol		- 0.15 mol		+ 0.15 mol		+ 0.15 mol	
末	0.05 mol		0		0.15 mol		0.15 mol	

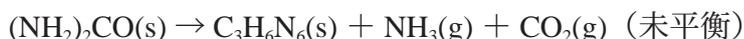
↓

$0.15 \times 180 = 27 \text{ g}$ (理論產量)

產率 = $\frac{16.2}{27} \times 100\% = 60\%$

▶ 類題 6 素養

研究指出，美耐皿餐具受熱後易分解產生三聚氰胺 ($C_3H_6N_6$)，危害人體健康。工業上，以尿素 ($(NH_2)_2CO$) 製備三聚氰胺的反應式如下：



取 90 g 的尿素進行反應，經純化後，製得三聚氰胺 12 g，試問反應的產率約為若干？

(A) 40% (B) 50% (C) 60% (D) 70% (E) 80%。

答 (A)



$(NH_2)_2CO = 60$ ， $C_3H_6N_6 = 126$

$(NH_2)_2CO : \frac{90}{60} = 1.5 \text{ mol}$

$C_3H_6N_6 : 1.5 \times \frac{1}{6} = \frac{1.5}{6} \text{ mol} \Rightarrow \frac{1.5}{6} \times 126 = 31.5 \text{ g}$ (理論產量)

產率 = $\frac{12}{31.5} \times 100\% \approx 40\%$

重點四 化學反應的分類

類型	通式	實例
化合反應	 $X + Y \rightarrow XY$ X、Y 可為元素或化合物	$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g})$ $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$
分解反應	 $XY \rightarrow X + Y$ X、Y 可為元素或化合物	$2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$ $\text{CaCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
置換反應	 $A + XY \rightarrow X + AY$	$\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{AgNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + 2\text{Ag}(\text{s})$ $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NaI}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{NaCl}(\text{aq}) + \text{I}_2(\text{s})$
複分解 反應 延伸補充	 $AB + XY \rightarrow AY + XB$	$\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s}) + \text{NaNO}_3(\text{aq})$ $\text{HCl}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

範例 7 化學反應的分類

試以代號回答下列各反應的反應類型。

(甲)化合 (乙)分解 (丙)置換

- $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{KBr}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{KCl}(\text{aq}) + \text{Br}_2(\text{l})$
- $\text{CaO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CaSO}_3(\text{s})$
- $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$
- $\text{Zn}(\text{s}) + \text{CuSO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{ZnSO}_4(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$

答 (1)丙 (2)甲 (3)乙 (4)丙

類題 7

以索耳未法製備蘇打 (Na_2CO_3) 的過程，包含下列四個步驟：

- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
- $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{aq})$
- $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{aq}) + \text{NaCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$
- $2\text{NaHCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

試問其中步驟 (1)、(2)、(4) 涉及的反應類型有哪些？

(A) 化合反應 (B) 分解反應 (C) 置換反應 (D) 取代反應 (E) 燃燒反應。

答 (A)(B)

解 (1) 為分解；(2) 為化合；(4) 為分解



1-2 ▶ 即刻練習

基礎題

* 表多選題

概念 化學反應式與係數的平衡

- * **BDE** 1. 從化學反應式可以直接或間接得知下列哪些資訊？
 (A) 反應達平衡時，剩餘反應物的量 (B) 消耗與生成的質量比 (C) 反應速率
 (D) 氣態反應物的消耗體積比 (E) 反應物與生成物莫耳數變化比。
- A** 2. 取 20 克的金屬 X 氧化物 (XO)，在適當條件下與足量的硫酸完全反應，產生 60 克的 XSO_4 和 m 克的 H_2O ，反應式為： $\text{XO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{XSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ，此反應式的係數已平衡，則 m 值應為下列何者？(S = 32)
 (A) 9 (B) 18 (C) 27 (D) 36 (E) 54。
- A** 3. 氯化亞鐵與硝酸鉀在鹽酸水溶液中的平衡反應式為 $a\text{FeCl}_2 + b\text{KNO}_3 + c\text{HCl} \rightarrow d\text{FeCl}_3 + e\text{KCl} + f\text{X} + g\text{H}_2\text{O}$ ，其中 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 均為相對應的係數，若 $b = 1$ ， $d = 3$ ，則產物 X 的化學式為下列何者？
 (A) NO (B) N_2O (C) N_2O_5 (D) N_2O_3 (E) NO_2 。
- D** 4. 反應式： $\text{KIO}_3 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{I}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$ 中，平衡後，將係數化為最簡整數，試問係數和為多少？
 (A) 13 (B) 16 (C) 20 (D) 21 (E) 25。
- * **BCE** 5. 平衡反應式： $a\text{ClO}_4^- + b\text{I}^- + c\text{H}^+ \rightarrow d\text{ClO}_3^- + e\text{I}_2 + f\text{H}_2\text{O}$ ，已知 $a = 1$ ，則下列哪些正確？
 (A) $b = 2$ (B) $c = 6$ (C) $d = 1$ (D) $e = 1$ (E) $f = 3$ 。
- A** 6. 四氧化二氮與甲聯胺 (CH_3NHNH_2) 的反應為登月小艇脫離月球返回地球時所用的動力來源。此二化合物反應的生成物為水、氮氣與二氧化碳。試問：此反應的平衡化學反應式中，水與氮氣的係數比為何？
 (A) 4 : 3 (B) 3 : 4 (C) 3 : 2 (D) 3 : 1 (E) 1 : 3。

概念 化學計量

- A** 7. 乙烷 C_2H_6 和丙烷 C_3H_8 的混合氣體，完全燃燒後得 22 g CO_2 及 12.6 g H_2O ，則混合氣體中，乙烷、丙烷的莫耳數比為若干？
 (A) 1 : 1 (B) 2 : 1 (C) 1 : 3 (D) 3 : 2 (E) 2 : 3。
- D** 8. 已知蔗糖的分子量為 342 g/mol，而其水溶液的發酵可用下列反應式表示：
 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 4\text{CO}_2$
 今取蔗糖 3.42 g，溶於水後，加酵母使其發酵。假設只考慮蔗糖變為酒精的發酵，且蔗糖的發酵只完成 50%，則在此發酵過程中，所產生的二氧化碳總共有幾 mL？(在 0°C 、1 atm 下)
 (A) 112 (B) 224 (C) 336 (D) 448 (E) 896。



1-2 ▶ 即刻練習 解析頁

基礎題

- 化學反應式無法得知反應時間、反應速率、平衡時的量
- 設金屬 X 的原子量為 x ，由平衡反應式知， XO 、 XSO_4 、 H_2O 的莫耳數相同

$$\Rightarrow \frac{20}{x+16} = \frac{60}{x+96} = \frac{m}{18} \Rightarrow x = 24, m = 9$$
- 由觀察法平衡可得： $3FeCl_2 + 1KNO_3 + 4HCl \rightarrow 3FeCl_3 + 1KCl + fX + 2H_2O$
 故 $fX = 1NO$
- 以代數法平衡可得： $4KIO_3 + 5Na_2S_2O_5 \rightarrow 2I_2 + 5Na_2SO_4 + 2K_2SO_4 + 3SO_3$
- 以觀察法平衡可得： $1ClO_4^- + 6I^- + 6H^+ \rightarrow 1ClO^- + 3I_2 + 3H_2O$
- 以觀察法平衡可得：
 $5N_2O_4 + 4CH_6N_2 \rightarrow 9N_2 + 4CO_2 + 12H_2O$
- 設 C_2H_6 有 $x \text{ mol}$ 、 C_3H_8 有 $y \text{ mol}$ ，

$$C_2H_6 + \frac{7}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

$$x \text{ mol} \qquad 2x \text{ mol} \quad 3x \text{ mol}$$

$$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

$$y \text{ mol} \qquad 3y \text{ mol} \quad 4y \text{ mol}$$

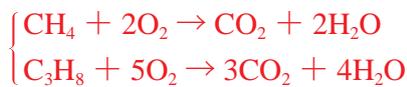
$$\begin{cases} (2x + 3y) \times 44 = 22 \\ (3x + 4y) \times 18 = 12.6 \end{cases} \Rightarrow x = 0.1, y = 0.1$$

$$\therefore x : y = 1 : 1$$
- 生成 CO_2 莫耳數 = $\frac{3.42}{342} \times 50\% \times 4 = 0.02 \text{ mol}$
 生成 CO_2 體積 = $0.02 \times 22.4 \times 1000 = 448 \text{ mL}$



1-2 ▶ 即刻練習 解析頁

9. 以觀察法平衡可得：



故 C_3H_8 所需氧氣（空氣）的量是 CH_4 的 2.5 倍

10. 設每小時需注射葡萄糖水溶液 x 克，則 $\frac{x \times 5\%}{180} \times 670 = 100$ ， $x = 537.3 \text{ g} \doteq 540 \text{ g}$

11. 銅活性較低，故不與鹽酸起化學反應。

設鋅銅合金 100 克中含鋅重 x 克， $\text{Zn} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$

$$\frac{x}{65.4} \times \frac{1}{1} \times 22.4 = 11.2 \quad \therefore x = 32.7 \text{ 克} \quad \therefore \text{銅占重量百分率} = \frac{100 - 32.7}{100} \times 100\% = 67.3\%$$

12. 依題意：欲得 1 mol Fe 需 $\frac{3}{2}$ mol CO，欲得 1 mol CO 需 $\frac{1}{2}$ mol O_2 ，

$$\text{故欲得 1 mol Fe 需 } \frac{3}{2} \times \frac{1}{2} \text{ mol } \text{O}_2, \frac{70}{56} \times \frac{3}{4} \times 32 = 30 \text{ (kg)}$$

13. $\text{CH}_3\text{COOH} = 60$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 46$ 、 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = 88$



初	$\frac{15}{60}$	$\frac{23}{46}$	0	0
	= 0.25 mol	= 0.5 mol		
中	- 0.25 mol	- 0.25 mol	+ 0.25 mol	+ 0.25 mol
末	0	0.25 mol	0.25 mol	0.25 mol

↓

$$0.25 \times 88 = 22 \text{ g}$$

$$\text{產率} = \frac{13.2}{22} \times 100\% = 60\%$$

14. 氨： $\frac{34}{17} = 2 \text{ mol}$ 、 CO_2 ： $\frac{66}{44} = 1.5 \text{ mol}$



初：	2	1.5	0	0
中：	- 2	- 1	+ 1	+ 1
末：	0	0.5	1	1

(B) 剩餘 0 g 的 NH_3 未反應

(C) 剩餘 $0.5 \times 44 = 22 \text{ g}$ 的 CO_2 未反應

(D) 生成 $1 \times 60 = 60 \text{ g}$ 的 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

(E) 生成 $1 \times 18 = 18 \text{ g}$ 的 H_2O

15. $4\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Ag}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

初：	$\frac{10.8}{108}$	$\frac{3.4}{34}$	$\frac{1.6}{32}$	0	0
	= 0.1	= 0.1	= 0.05		
中：	- 0.1	- 0.05	- 0.025	+ 0.05	+ 0.05
末：	0 mol	0.05 mol	0.025 mol	0.05 mol	0.05 mol

(B) 限量試劑為銀 (C) 硫化氫剩下 0.05 mol， 0°C 、1 atm 下體積為 $0.05 \times 22.4 = 1.12 \text{ L}$

(E) 生成水 0.05 mol，相當於 $0.05 \times 18 = 0.9 \text{ g}$

D 9. 家用的瓦斯有天然氣（主成分 CH_4 ）或液化石油氣（主成分 C_3H_8 ）。若在同溫同壓，分別使同體積的 CH_4 與 C_3H_8 完全燃燒，則 C_3H_8 所需空氣的量是 CH_4 的幾倍？

(A) $\frac{11}{5}$ (B) $\frac{7}{3}$ (C) 2 (D) 2.5 (E) 3。

E 10. 人體內每 1 mol 葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ；分子量 = 180) 經代謝後，可以產生熱量 670 kcal。某人手術後僅能依靠注射 5%（重量百分濃度）葡萄糖水溶液補充能量。假使維持身體的能量每小時是 100 kcal，則至少需要每小時注射葡萄糖水溶液多少克？

(A) 33.8 (B) 67.5 (C) 135 (D) 270 (E) 540。

E 11. 現有鋅銅合金 100 克，將其與足量之鹽酸作用時，於標準狀態下可收集得氫氣 11.2 升，則此合金中含銅的百分率為何？(Zn = 65.4、Cu = 63.5)

（提示：銅無法與鹽酸進行化學反應）

(A) 25.4% (B) 34.5% (C) 44.6% (D) 57.8% (E) 67.3%。

A 12. 從鐵礦煉製鐵的過程中涉及 $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$ 與 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$ 二個化學反應。若第一個化學反應式中所產生的一氧化碳全部用於第二個化學反應式，則欲產生 70 公斤的鐵，約需氧若干公斤？(Fe = 56)

(A) 30 (B) 53 (C) 80 (D) 106 (E) 120。

概念 限量試劑與產率

C 13. 某生取 15 g 的冰醋酸 (CH_3COOH) 與 23 g 乙醇 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)，加入少量濃硫酸共熱，實驗完成後，共得醋酸乙酯 ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) 13.2 g，試問本實驗的產率為若干？

(A) 40% (B) 50% (C) 60% (D) 70% (E) 80%。

素養 * **CDE** 14. 尿素 ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (分子量 = 60) 是工業上重要的化學原料，也可作為農作物的肥料成分。由氨與二氧化碳反應可得尿素和水，若在高壓反應容器內加入 34 g 氨 (分子量 = 17) 與 66 g 二氧化碳 (分子量 = 44)，假設氨與二氧化碳完全反應後，則下列有關此反應化學計量的敘述，哪幾項是正確的？

(A) 平衡的化學反應式是 $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow (\text{NH}_2)_2\text{CO}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (B) 剩餘 8.5 g 的氨未反應 (C) 剩餘 22 g 的二氧化碳未反應 (D) 生成 60 g 的尿素 (E) 生成 18 g 的水。

* **AD** 15. 銀戒指在含硫化氫和氧氣的混合氣體中，會產生反應而生成黑褐色的硫化銀與水，取 10.8 g 的純銀戒指在含 3.4 g 硫化氫和 1.6 g 氧氣的混合氣體中完全反應，則下列敘述哪些正確？(原子量：S = 32, Ag = 108)

(A) 已平衡係數反應式為： $4\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Ag}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ (B) 限量試劑為氧氣 (C) 完全反應後剩下的硫化氫，在 0°C 、1 atm 下體積為 2.24 L (D) 反應後生成硫化銀 12.4 g (E) 反應後生成水 1.8 g。

- * **BCE** 16. 於 25°C，將 0.1 莫耳丁烷 (C₄H₁₀) 與過量的氧氣在固定體積的容器內完全燃燒。燃燒後，溫度回復至 25°C，則下列有關此反應之敘述，哪些正確？
 (A) 需消耗氧氣 0.9 莫耳 (B) 可產生 0.5 莫耳的 H₂O (C) 可產生 0.4 莫耳的 CO₂
 (D) 燃燒前後，分子數目不變 (E) 燃燒前後，遵守質量守恆定律。

◎ 17 ~ 19 題為題組

氮氣可由氨氣和氧化銅在高溫下反應而得，其化學反應式如下：



若以 20.4 克氨氣和 119.25 克氧化銅反應，回答下列問題：(Cu = 63.5)

17. 何者為限量試劑？ **CuO 為限量試劑**
 18. 氮氣的理論產量為若干克？ **14 克**
 19. 若實際生成的氮氣為 9.80 克，則該反應的產率為多少？ **70%**

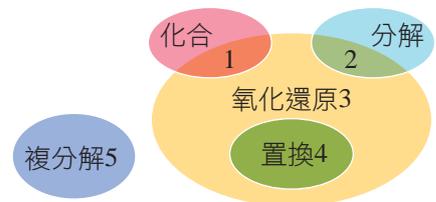
素養 ◎ 20 ~ 21 題為題組

氮化鋁 (AlN) 具有耐高溫、抗磨損、導熱性好等性質，被廣泛應用於大型積體電路生產、陶瓷工業等領域。將氧化鋁 (Al₂O₃)、氮氣和碳在一定條件下反應，可製得氮化鋁，另產生一氧化碳。(Al = 27)

20. 寫出製備氮化鋁的反應式並平衡之。 **Al₂O₃ + N₂ + 3C → 2AlN + 3CO**
 21. 51 g 的氧化鋁、14 g 的氮氣與 36 g 的碳完全反應後，可製得氮化鋁若干 g？產生的一氧化碳在 0°C、1 atm 下為若干 L？ **41 g、33.6 L**

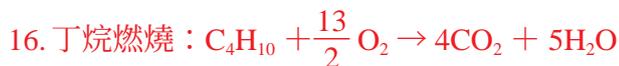
- 素養** * **AB** 22. 知識連結圈可以幫助了解化學觀念，附圖為不同反應類型的知識連結圈，若將反應歸類於數字所對應的分類區域，下列哪些正確？

- (甲) $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$
 (乙) $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
 (丙) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
 (丁) $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$
 (戊) $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$
 (A) 甲 -1 (B) 乙 -2 (C) 丙 -3 (D) 丁 -4 (E) 戊 -5。





1-2 ▶ 即刻練習 解析頁



(A) 需消耗 $0.1 \times \frac{13}{2} = 0.65$ 莫耳的氧氣

(D) 反應物係數總和 $\frac{15}{2} <$ 生成物係數總和 9，分子數目增多



$$\text{NH}_3 = \frac{20.4}{17} = 1.2 \text{ mol}, \text{CuO} = \frac{119.25}{79.5} = 1.5 \text{ mol}$$

$$\therefore \text{NH}_3 = \frac{1.2}{2} = 0.6, \text{CuO} = \frac{1.5}{3} = 0.5$$

\therefore CuO 為限量試劑



初 1.2 1.5 (限) 0 0 0

中 -1.0 -1.5 $+0.5$ $+1.5$ $+1.5$

末 0.2 0 0.5 1.5 1.5

理論上可得 $\text{N}_2 = 0.5 \text{ mol}$ $W = 0.5 \times 28 = 14 \text{ g}$

19. 產率 = $\frac{9.80}{14} \times 100\% = 70\%$



初 $\frac{51}{102}$ $\frac{14}{28}$ $\frac{36}{12}$ 0 0

$$= 0.5 \text{ mol} = 0.5 \text{ mol} = 3 \text{ mol}$$

中 -0.5 -0.5 -1.5 $+1$ $+1.5$

末 0 0 1.5 1 1.5

AlN： $1 \times 41 = 41 \text{ g}$ ；CO： $1.5 \times 22.4 = 33.6 \text{ L}$

22. (丙)酸鹼中和反應 (亦為複分解) (丁)複分解反應 (戊)置換反應



進階題

23. 定溫定壓下，氣體體積比 = 係數比

(A) $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$, $(1 + 1) = 2 \Rightarrow$ 反應後體積不變 (B) $\text{N}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$, $(1 + 2) > 2 \Rightarrow$ 反應後體積變小 (C) $2\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}$, $(2 + 1) > 2 \Rightarrow$ 反應後體積變小 (D) $2\text{N}_2 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}_3$, $(2 + 3) > 2 \Rightarrow$ 反應後體積變小 (E) $2\text{N}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2\text{O}_5$, $(2 + 5) > 2 \Rightarrow$ 反應後體積變小

24. 根據題意列出平衡反應式： $6\text{NO} + 4\text{NH}_3 \rightarrow 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ ； $6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$

設 NO 的莫耳數為 x mol，則 NO_2 的莫耳數為 $(3 - x)$ mol，NO 反應時消耗 $\frac{2}{3}x$ mol 的氨氣， NO_2 反應時消耗 $\frac{4}{3}(3 - x)$ mol 的氨氣， $\frac{2}{3}x + \frac{4}{3}(3 - x) = 3 \Rightarrow x = 1.5$ mol，故 NO 與 NO_2 的莫耳數比為 1 : 1

25. (A) $2\text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + 9\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (B) 此時的水為液態，係數比不等於體積比

(C) 欲使 2 升丙烯完全燃燒，需消耗氧氣 9 升，因空氣中有 20% 的氧氣，故 V 至少需要 45 升

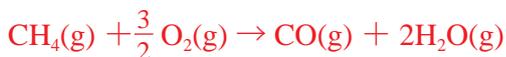
(D) $4\text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + 15\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{CO}(\text{g}) + 6\text{CO}_2(\text{g}) + 12\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，2 升丙烯用盡時需消耗氧氣 7.5 升，故 V 至少為 37.5

(E) 由反應式可知，左邊係數和 (11) 不等於右邊係數和 (12)，故分子總莫耳數改變

26. 設甲烷有 x mol 完全燃燒、 y mol 不完全燃燒



$$x \text{ mol} \qquad \qquad \qquad x \text{ mol} \qquad 2x \text{ mol}$$



$$y \text{ mol} \qquad \qquad \qquad y \text{ mol} \qquad 2y \text{ mol}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2\text{O 重} : (2x + 2y) \times 18 = 25.2 \\ \text{CO 重} + \text{CO}_2 \text{ 重} : 44x + 28y = 49.6 - 25.2 = 24.4 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow x = 0.3, y = 0.4$$

$$\Rightarrow x = 0.3, y = 0.4$$

$$\text{產生二氧化碳的重量} = 0.3 \times 44 = 13.2 \text{ g}$$

27. 甲烷消耗的重量 = $0.7 \times 16 = 11.2 \text{ g}$

28. $\text{CH}_4 : \text{CO} : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O} = 0.7 : 0.4 : 0.3 : 1.4 = 7 : 4 : 3 : 14$

故反應式為 $7\text{CH}_4 + 12\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO} + 3\text{CO}_2 + 14\text{H}_2\text{O}$

進階題



影音解題

- A** 23. 定溫、定壓下，使氮氣與氧氣完全反應，當兩者皆耗盡後，發現生成的氣態產物體積較原有氮氣與氧氣的總體積小，則反應的產物不可能為下列何者？
(A) NO (B) NO₂ (C) N₂O (D) N₂O₃ (E) N₂O₅。

- 素養** **A** 24. 工廠的廢氣以及汽、機車的排氣是空氣汙染的主要來源，但廢氣中的氮與氧的化合物可藉由適量的氨氣及催化劑，將其還原成無毒的 N₂ 和 H₂O。今有 NO 與 NO₂ 的混合氣體（簡稱為 NO_x）3.0 mol，若用與 NO_x 相同條件的氨氣 3.0 mol，恰好可使該 NO_x 完全反應變成 N₂ 和 H₂O，請問該混合氣體 NO_x 中，NO 與 NO₂ 的莫耳數比為何？
(A) 1 : 1 (B) 2 : 1 (C) 1 : 2 (D) 3 : 1 (E) 3 : 2。

- 素養** * **ACD** 25. 2014 年，高雄前鎮區與苓雅區發生嚴重氣爆事故，導因為排水箱涵內的丙烯管線遭不當包覆而腐蝕，造成丙烯外洩導致爆炸。此爆炸事件引發某研究團隊的興趣，研究人員在實驗室內進行丙烯燃燒實驗時，發現可燃性氣體濃度太高或太低，都不會引發爆炸。當可燃性氣體濃度太低，沒有足夠燃料使其產生爆炸；然而當可燃性氣體濃度太高，則沒有足夠氧氣燃燒；氣體只有在兩個濃度之間才可能引爆。在常溫、常壓下，取 2 升丙烯 (C₃H₆) 氣體與空氣 V 升混合，點火燃燒後恢復室溫，若空氣足夠會進行(甲)反應，若空氣不足，會產生 CO 毒氣，即進行(乙)反應。（註：空氣中有 20% 的氧氣）
(甲) $a\text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + b\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow c\text{CO}_2(\text{g}) + d\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ($a \sim d$ 為方程式係數，且為最簡整數比)
(乙) $\text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (係數未平衡)
則下列敘述哪些正確？
(A) (甲)反應中，方程式中 $a + b + c + d = 23$
(B) 丙烯完全燃燒並恢復室溫後，二氧化碳和水的體積比為 1 : 1
(C) 欲使丙烯完全燃燒，不產生 CO 毒氣，V 至少需要 45 升
(D) 若(乙)反應後之 CO 與 CO₂ 莫耳數相等，則當丙烯用盡時，V = 37.5
(E) 丙烯完全燃燒前後，分子總莫耳數不變。

【109 臺中女中】

◎ 26 ~ 28 題為題組

將未知量的甲烷燃燒後得一氧化碳、二氧化碳、水蒸氣的混合氣體共 49.6 g。此混合氣體通過過氯酸鎂 Mg(ClO₄)₂ 吸收管時，此管因吸收水蒸氣，重量增加 25.2 g。試回答下列各題：

26. 產生二氧化碳的重量為若干 g ? 13.2 g

27. 甲烷消耗的重量為若干 g ? 11.2 g

28. 根據上述實驗列出反應式： $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ，並將係數化為最簡單整數。



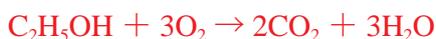
歷屆試題

- D** 1. 已知一定質量的無水乙醇 (C_2H_5OH) 完全燃燒時，放出的熱量為 Q ，而其所產生的 CO_2 用過量的澄清石灰水完全吸收，可得 0.10 mol 的 $CaCO_3$ 沉澱。若 1.0 mol 無水乙醇完全燃燒時，放出的熱量最接近下列哪一選項？
(A) Q (B) $5Q$ (C) $10Q$ (D) $20Q$ (E) $50Q$ 。 【101 學測】
- B** 2. 在常溫、常壓，未知體積之氧氣與 40 L 的一氧化碳，在催化劑的存在下進行反應。反應後氣體之組成為二氧化碳與氧氣，總體積為 70 L 。若反應後，溫度與壓力維持不變，則氧氣在反應前、反應後的體積分別是多少 L ？
(A) 60 、 20 (B) 50 、 30 (C) 40 、 40 (D) 30 、 50 (E) 20 、 60 。 【103 學測】
- * **BD** 3. 將 100.0 mL 、 0.40 M 的 HCl 溶液加於 4.24 g 的 Na_2CO_3 固體，會產生氣泡。下列關於此反應的敘述，哪些正確？ ($Na_2CO_3 = 106$)
(A) 此反應的平衡反應式為： $Na_2CO_3 + HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2$
(B) 若反應完全，則可產生 0.88 g 的 CO_2 (C) 反應後會剩餘 0.01 mol 的 Na_2CO_3
(D) 此反應的限量試劑為 HCl (E) 此反應為沉澱反應。 【103 學測】
- * **ADE** 4. 將下列反應式平衡後，若平衡係數皆取最簡單整數，則哪些反應式左邊的平衡係數總和比右邊的平衡係數總和少 2？
(A) $NH_3(g) \xrightarrow{\text{催化分解}} N_2(g) + H_2(g)$
(B) $Fe_2O_3(s) + CO(g) \rightarrow Fe(s) + CO_2(g)$
(C) $C_6H_4(OH)_2(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow C_6H_4O_2(aq) + H_2O(l)$
(D) $Ca(HCO_3)_2(s) + HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$
(E) $HC \equiv CH(g) + Ag(NH_3)_2NO_3(aq) \rightarrow AgC \equiv CAg(s) + NH_4NO_3(aq) + NH_3(g)$ 。 【103 學測】
- 素養 D** 5. 太空載具常以氫氧化鋰吸收太空人所呼出的二氧化碳，其反應式如下：
 $2LiOH(s) + CO_2(g) \rightarrow Li_2CO_3(s) + H_2O(l)$ 。假設太空人平均每天所消耗的能量為 3000 大卡，而能量主要由氧化體內葡萄糖所提供，其反應式為： $C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l)$ ， $\Delta H = -2800 \text{ kJ}$ 。則一位太空人執行任務 5 天所釋出的二氧化碳，至少需以多少公斤的氫氧化鋰，始能清除完畢？ (已知 1 大卡相當於 4.2 kJ ， $LiOH = 23.9$)
(A) 0.108 (B) 0.538 (C) 3.20 (D) 6.50 (E) 32.0 。 【103 學測】

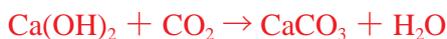


1-2 ▶ 即刻練習 解析頁

1. 列出反應式並平衡之，



$$n \text{ mol} \qquad \qquad 2n \text{ mol}$$



$$2n \text{ mol} \quad 0.1 \text{ mol}$$

$$2n = 0.1 \Rightarrow n = 0.05$$

反應熱正比於莫耳數。

設 1.0 mol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 完全燃燒時放出熱量為 $x \Rightarrow 0.05 : 1 = Q : x \Rightarrow x = 20Q$

2. 同溫、同壓下，氣體反應時，體積與係數成正比



$$\text{初} \quad x \quad \quad 40 \quad \quad 0$$

$$\text{中} \quad -20 \quad -40 \quad +40$$

$$\text{末} \quad x-20 \quad \quad 0 \quad \quad 40$$

反應後 $x - 20 + 0 + 40 = 70 \Rightarrow x = 50$

故氧氣反應前：50 L，反應後：30 L

3. 列出反應式並平衡之，



$$\text{初} \quad \frac{4.24}{106} \quad \quad 0.4 \times 0.1 \quad \quad 0 \quad \quad 0 \quad \quad 0$$

$$= 0.04 \text{ mol} = 0.04 \text{ mol}$$

$$\text{中} \quad -0.02 \quad -0.04 \quad +0.04 \quad +0.02 \quad +0.02$$

$$\text{末} \quad 0.02 \quad \quad 0 \quad \quad 0.04 \quad 0.02 \quad 0.02$$

(A) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (B) 產生 CO_2 0.02 mol， $0.02 \times 44 = 0.88 \text{ g}$

(C) 剩餘 Na_2CO_3 0.02 mol (E) 此反應為酸鹼中和反應，無沉澱產生

4. 以觀察法平衡：

(A) $2\text{NH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ ，左邊係數和－右邊係數和 = $2 - 4 = -2$

(B) $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$ ，左邊係數和－右邊係數和 = $4 - 5 = -1$

(C) $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，左邊係數和－右邊係數和 = $2 - 3 = -1$

(D) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2(\text{aq}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，

左邊係數和－右邊係數和 = $3 - 5 = -2$

(E) $\text{HC} \equiv \text{CH}(\text{g}) + 2\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{NO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{AgC} \equiv \text{CAg}(\text{s}) + 2\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{aq}) + 2\text{NH}_3(\text{g})$ ，

左邊係數和－右邊係數和 = $3 - 5 = -2$

5. (1) 由反應式： $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ， $\Delta H = -2800 \text{ kJ}$ ，已知每產生 6 mol CO_2 ，會放出 2800 kJ。太空人執行任務 5 天消耗的能量 = $3000 \times 5 \times 4.2 = 63000 \text{ kJ}$ 。假設太空人執行任務 5 天產生的 CO_2 有 $x \text{ mol}$ ，反應熱正比於莫耳數， $x : 63000 = 6 : 2800 \Rightarrow x = 135 \text{ mol}$
- (2) 由反應式： $2\text{LiOH}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- LiOH 莫耳數 = CO_2 莫耳數 $\times 2 = 135 \times 2 = 270 \text{ mol} \Rightarrow \text{LiOH}$ 質量 = $270 \times 23.9 \times 10^{-3} = 6.45 \text{ kg}$



1-2 ▶ 即刻練習 解析頁

7. 依題意列出反應式並平衡之： $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \triangleq 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 2\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

$$\text{消耗 NH}_4\text{NO}_3 : \frac{40}{80} = 0.5 \text{ mol}$$

$$\text{生成 H}_2\text{O}(\text{g}) : 0.5 \times 2 = 1 \text{ mol}、\text{N}_2(\text{g}) : 0.5 \text{ mol}、\text{O}_2(\text{g}) : 0.5 \times \frac{1}{2} = 0.25 \text{ mol}、$$

$$\text{共 } 1 + 0.5 + 0.25 = 1.75 \text{ mol}$$

8. 依題意列出反應式並平衡之： $\text{MgC}_2\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O} \triangleq \text{MgC}_2\text{O}_4 + n\text{H}_2\text{O}$

$$\text{MgC}_2\text{O}_4 \text{ 莫耳數} : \text{H}_2\text{O} \text{ 莫耳數} = \frac{0.76}{112} : \frac{1.00 - 0.76}{18} = 1 : n \Rightarrow n \doteq 2$$

9. 反應式： $\text{Cu}(\text{s}) + 4\text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\text{設需要硝酸溶液 } V \text{ L}，\text{Cu 莫耳數} : \text{HNO}_3 \text{ 莫耳數} = \frac{6.35}{63.5} : 2 \times V = 1 : 4 \Rightarrow V = 0.2 \text{ L} = 200 \text{ mL}$$

10. $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4 = 180$ ，設粉末中含阿司匹靈 x (g)



$$\begin{array}{r} \frac{x}{180} \qquad 0.5 \times \frac{50}{1000} \\ - \frac{x}{180} \qquad - \frac{2x}{180} \\ \hline 0 \qquad 0.5 \times \frac{50}{1000} - \frac{2x}{180} \end{array}$$

$$\because 1 \text{ 莫耳 NaOH 需以 } 1 \text{ 莫耳 HCl 中和} \quad \therefore 0.5 \times \frac{50}{1000} - \frac{2x}{180} = 0.3 \times \frac{32}{1000}$$

$$x = 1.386 \quad \text{純度} = \frac{1.386}{2.31} \times 100\% = 60\%$$

11. (A) $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$

加入 $0.1 \times 10 = 1 \text{ mmol}$ 消耗 1 mmol

(B) $\text{OH}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgOH}(\text{s})$

加入 $0.2 \times 10 = 2 \text{ mmol}$ 消耗 2 mmol

(C) $\text{S}^{2-}(\text{aq}) + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{S}(\text{s})$

加入 $0.3 \times 10 = 3 \text{ mmol}$ 消耗 $3 \times 2 = 6 \text{ mmol}$

(D) $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$

加入 $0.4 \times 10 = 4 \text{ mmol}$ 消耗 $4 \times 2 = 8 \text{ mmol}$

(E) $\text{Br}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgBr}(\text{s})$

加入 $0.5 \times 10 = 5 \text{ mmol}$ 消耗 5 mmol

12. (1) 依倍比定律求乙的分子式

	R	Q
甲 (R_2Q_6)	80	20
乙 (R_2Q_a)	1.2	0.2

固定 R 的質量

	R	Q
甲 (R_2Q_6)	$\frac{80}{80}$	$\frac{20}{80}$
乙 (R_2Q_a)	$\frac{1.2}{1.2}$	$\frac{0.2}{1.2}$

Q 的個數比 = 質量比， $6 : a = \frac{20}{80} : \frac{0.2}{1.2} \Rightarrow a = 4$ ，故乙的分子式為 R_2Q_4

(2) 代入反應式並平衡係數， $\text{R}_2\text{Q}_4 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{RO}_2 + 2\text{Q}_2\text{O}$

故 $x = 3$ ， $y = 2$ ， $z = 2$ ， $x + y + z = 7$

D 6. 在一個密閉的容器中，含有甲烷 1.6 克和氧氣 8.0 克。燃燒反應完全後，則容器中所含的分子總莫耳數為何？

(A) 0.20 (B) 0.25 (C) 0.30 (D) 0.35 (E) 0.40。

【104 學測】

A 7. 硝酸銨 (NH_4NO_3) 受熱超過 400°C 時，會完全分解產生水蒸氣、氮氣和氧氣。若將 40.0 g 的硝酸銨，加熱至完全分解，至多會產生多少 mol 的氣體？(N = 14、O = 16)

(A) 1.75 (B) 3.50 (C) 5.25 (D) 7.00 (E) 8.75。

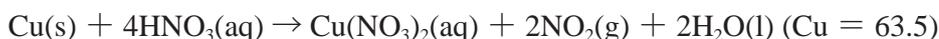
【106 學測】

B 8. 某一含有結晶水的草酸鎂 ($\text{MgC}_2\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 樣品 1.00 g，若加熱至完全失去結晶水，所得無水草酸鎂的質量為 0.76 g，則 n 的數值為何？(MgC_2O_4 的莫耳質量為 112 g/mol)

(A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 (E) 5。

【106 學測】

D 9. 銅金屬溶於濃硝酸溶液的反應式如下：



若將 6.35 g 銅線，完全溶解於 2.00 M 的硝酸溶液，則至少需要硝酸溶液多少 mL？

(A) 50 (B) 100 (C) 150 (D) 200 (E) 300。

【106 學測】

素養 C 10. 王同學完成阿司匹靈合成實驗並測定其純度。將合成所得的阿司匹靈粉末 2.31 克，加入 0.50 M 的氫氧化鈉 50 毫升後加熱水解，產生阿司匹靈的鈉鹽與醋酸鈉，其平衡反應式如下：



溶液冷卻後，用了 0.30 M 的鹽酸 32 毫升，才中和了溶液中過量的氫氧化鈉，則其所合成的阿司匹靈純度，為下列哪一數值 (%)？

(A) 25 (B) 49 (C) 60 (D) 75 (E) 98。

【106 指考】

D 11. 下列水溶液各取 10 mL 後，分別逐滴加入 0.1 M 硝酸銀水溶液時，都產生沉澱。若反應完全時，則下列哪一選項的離子消耗最多 mmol 的銀離子？

(A) 0.1 M 氯離子 (B) 0.2 M 氫氧根離子 (C) 0.3 M 硫離子 (D) 0.4 M 鉻酸根離子 (E) 0.5 M 溴離子。

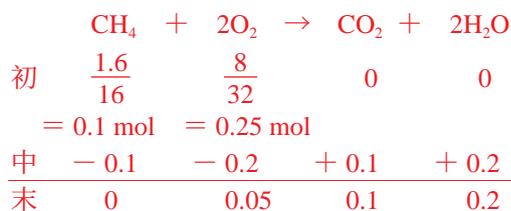
【107 學測】

* **BCE** 12. 甲和乙兩化合物皆由元素 R 和 Q 所組成，其中甲化合物中 Q 的重量百分率為 20%，而 1.4 克的乙化合物中含有 1.2 克的 R；若甲的分子式為 R_2Q_6 ，而乙的分子式為 R_2Q_a ，且乙一莫耳完全燃燒需要 x 莫耳的氧氣並產生 y 莫耳的 RO_2 與 z 莫耳的 Q_2O ，其反應式為： $\text{乙} + x\text{O}_2 \rightarrow y\text{RO}_2 + z\text{Q}_2\text{O}$ 則下列哪些選項正確？

(A) $a = 2$ (B) $x = 3$ (C) $y = 2$ (D) $z = 4$ (E) $x + y + z = 7$ 。

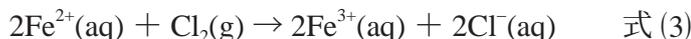
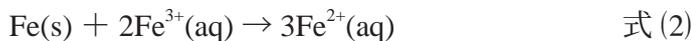
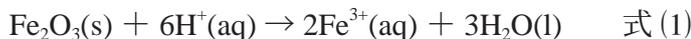
【108 學測】

6. 列出甲烷燃燒的反應式並平衡之：



反應完全後，總莫耳數 = $0.05 + 0.1 + 0.2 = 0.35 \text{ mol}$

- A** 13. 取含有 Fe_2O_3 雜質的金塊樣品 3.2 g，以適量鹽酸使雜質完全作用，釋出的 Fe^{3+} 再以鐵還原成 Fe^{2+} ，該溶液中無 Fe^{3+} 殘留，其反應如式 (1) 及式 (2)。用去離子水將該溶液稀釋至 100 mL，取該稀釋液 10 mL，在標準溫壓下通入氯氣 13.44 mL（視為理想氣體），可將 Fe^{2+} 完全氧化，如式 (3) 所示，該溶液中無 Fe^{2+} 殘留。試問金塊樣品中所含 Fe_2O_3 的重量百分比為多少 (%)？（ Fe_2O_3 莫耳質量為 160 g/mol）



(A) 20 (B) 30 (C) 40 (D) 50 (E) 60。

【108 指考】

- * **CD** 14. 於一密閉容器中，將乙烯 (C_2H_4) 與氫氣的混合氣體共 94 克進行反應，假設所有的乙烯都與氫氣作用產生乙烷 (C_2H_6)。反應完成後，容器內的總莫耳數為 5 莫耳，則下列哪些敘述正確？

(A) 反應完成後，容器內的氣體分子數目增加 (B) 原混合氣體中，含 3 莫耳的氫氣 (C) 原混合氣體中，含 3 莫耳的乙烯 (D) 反應完成後，容器內還有剩餘的氫氣 (E) 產生 2 莫耳的乙烷。

【110 學測】

15. 取 10 克大理石粉（主要成分為 CaCO_3 ，式量 100）和過量煤焦 (C) 均勻混合後，在高溫、隔氧下加熱反應。假設碳酸鈣完全反應後，可得到混合氣體甲（莫耳數比為 1:1 的 CO 與 CO_2 ）及固體乙。固體乙與過量水完全反應產生可燃性氣體丙，若水的蒸氣壓可以忽略不計，於 0°C 、1 大氣壓下，丙的體積為 1.57 升。依據此一實驗，回答下列問題。

- (1) 寫出 CaCO_3 和過量煤焦反應生成混合氣體甲及固體乙的平衡化學反應式。



- (2) 寫出氣體丙的化學式。 C_2H_2

- (3) 此大理石粉中的碳酸鈣重量百分比為何？ 70.1%

- (4) 在 0°C 、1 大氣壓下，混合氣體甲的體積為何？ 3.14 升

【109 指考】

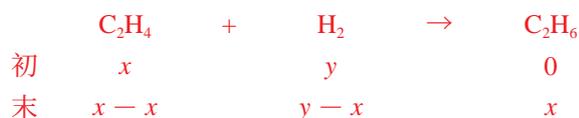
13. 標準溫壓下， $n_{\text{Cl}_2} = \frac{0.01344}{22.4} = 0.0006 \text{ mol}$

由式 (3) 可得 10 mL 溶液中： $n_{\text{Fe}^{2+}} = 2 \times 0.0006 = 0.0012 \text{ mol}$ ，故在 100 mL 溶液中： $n_{\text{Fe}^{2+}} = 0.0012 \times 10 = 0.012 \text{ mol}$

由式 (2) 可得： $n_{\text{Fe}^{3+}} = 0.012 \times \frac{2}{3} = 0.008 \text{ mol}$ ，由式 (1) 可得： $n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0.008 \times \frac{1}{2} = 0.004 \text{ mol}$

故 $\text{Fe}_2\text{O}_3\%$ = $\frac{0.004 \times 160}{3.2} \times 100\% = 20\%$

14. 設反應前 C_2H_4 有 $x \text{ mol}$ ， H_2 有 $y \text{ mol}$ ，



由題目已知可得：(1) $(y - x) + x = 5 \Rightarrow y = 5 \text{ (mol)}$ (2) $28x + 2y = 94 \Rightarrow 28x + 10 = 94 \Rightarrow x = 3 \text{ (mol)}$

- (A) 錯誤：反應前共 8 mol，反應後共 5 mol (B) 錯誤：反應前 H_2 有 5 mol (C) 正確：反應前 C_2H_4 有 3 mol (D) 正確：反應後 H_2 有 $5 - 3 = 2 \text{ (mol)}$ (E) 錯誤：產生 3 mol 的 C_2H_6

15. (1) $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 3\text{C}(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{CaC}_2(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \cdots \cdots \text{①}$

(2) $\text{CaC}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) \cdots \cdots \text{②}$ ∴ 氣體丙為 C_2H_2

(3) 由①②可知： CaCO_3 反應莫耳數 = CaC_2 反應莫耳數 = C_2H_2 反應莫耳數

假設大理石粉中含 CaCO_3 w 克，則： $\frac{w}{100} = \frac{1 \times 1.57}{22.4}$ ， $w \approx 7.01 \text{ (克)}$

故大理石粉中的碳酸鈣重量百分比： $\frac{7.01}{10} \times 100\% = 70.1\%$

- (4) 混合氣體甲在 0°C 、1 大氣壓的體積為： $\frac{7.01}{100} \times 2 \times 22.4 \approx 3.14 \text{ (L)}$



1-3 反應熱的種類與性質

重點一 反應熱與熱化學方程式 高一複習

一、熱含量 (H)

1. 意義

定溫定壓下，存在於物質本身的能量。

2. 特性

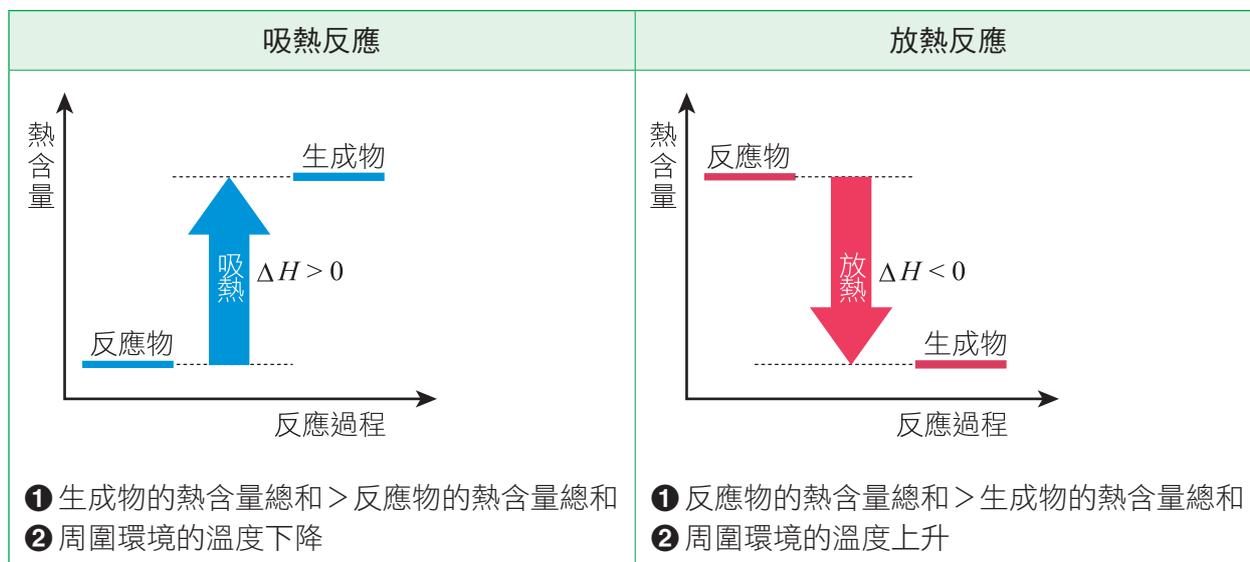
- (1) 受溫度、壓力、狀態及莫耳數（量）的影響。
- (2) 同一物質的熱含量：氣態 > 液態 > 固態。

二、反應熱 (ΔH)

1. 意義

化學反應前後熱含量總和的變化量。

$\Delta H = \text{生成物的熱含量總和} - \text{反應物的熱含量總和}$



2. 影響因素

(1) 溫度與壓力

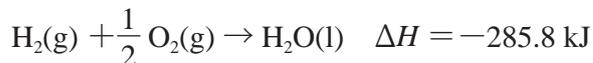
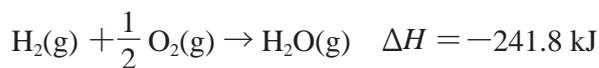
反應熱與溫度及壓力有關，在 25°C 、 1 atm 下測得的反應熱，稱為標準反應熱 (ΔH°)。

【註】① 若未特別指明，一般的反應熱 (ΔH) 即為標準反應熱 (ΔH°)。

② 西元 1982 年 IUPAC 將標準壓力改為 1 巴 (bar)，而一般使用上是與 1 大氣壓 (atm) (1 bar 約為 0.987 atm) 並行通用，本書仍以 1 大氣壓處理相關數據。

(2) 物質狀態

例 1 莫耳氫氣燃燒生成水和生成水蒸氣時，反應熱不同：



(3) 反應物的莫耳數

例 1 莫耳氫氣燃燒生成水放熱 285.8 kJ： $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -285.8 \text{ kJ}$

2 莫耳氫氣燃燒生成水放熱 $285.8 \times 2 \text{ kJ}$ ： $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -285.8 \times 2 \text{ kJ}$

3. 單位

千焦耳 (kJ)、千卡 (kcal)：1 千卡約等於 4.18 千焦耳。

三、熱化學方程式

1. 意義

加註物質狀態與反應熱的化學反應式。

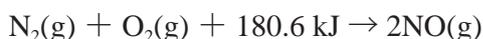
2. 表示方法

(1) 吸熱反應

① 反應熱獨立表示



② 反應熱併入反應式

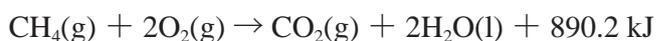


(2) 放熱反應

① 反應熱獨立表示



② 反應熱併入反應式



觀念是非題

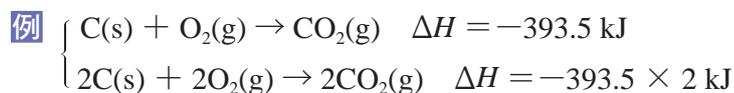
() 1. 物質所具有的熱含量可由實驗測得。

() 2. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H^\circ = -285.8 \text{ kJ}$ 表示 25°C 、1 atm 下，1 莫耳氫氣完全燃燒時放出 285.8 kJ。

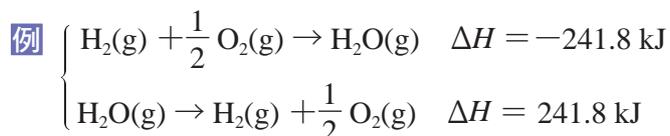
- 我們可測得 1 克水溫度上升 1°C 需吸收熱量 (反應熱, ΔH) 1 卡，但是我們無法測知在 1°C 時，1 克水有多少熱含量 (絕對熱含量, H)。
- 熱化學方程式係數代表消耗/生成莫耳數與能量的關係。

四、反應熱與係數的關係

1. 若反應式係數變為原來的 n 倍，則反應熱亦變為原來的 n 倍。



2. 若反應以反方向進行時，反應熱等值異號。



範例 1 反應熱基本概念 高一複習

下列有關熱含量與反應熱的敘述，哪些正確？

- (A) 1 莫耳的純物質，由液體汽化為氣體所吸收的熱量，小於其由氣體凝結為液體所放出的熱量
- (B) 若反應熱為正值，則生成物的熱含量較反應物的熱含量高
- (C) 甲烷的燃燒為放熱反應
- (D) 若反應熱為負值，則周圍環境的溫度下降
- (E) 同一物質的熱含量，以固態為最高。

答 (B)(C)

解 (A) 同一物質的莫耳汽化熱與莫耳凝結熱等值異號

(D) 反應熱為負值，為放熱反應，會使周圍環境溫度上升

(E) 氣態最高

▶ 類題 1

下列有關反應熱的敘述，哪些正確？

- (A) 正反應和逆反應的反應熱絕對值相等
- (B) 如果反應熱為正值，則該反應為吸熱反應，不可能發生
- (C) 反應熱為物質動能變化的表現
- (D) 反應熱的大小與外界狀況無關
- (E) 反應熱與反應物的量有關。

答 (A)(E)

解 (B) 反應的發生與否和反應熱無直接關係

(C) 反應熱為熱含量差

(D) 反應熱與外界狀況有關

範例 2 反應熱與熱含量 高一複習

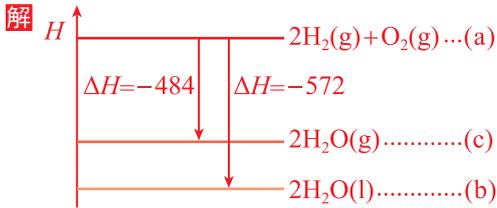
已知：



試問 (a) $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 、(b) $2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 、(c) $2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ，三組物質的熱含量大小順序應為：

(A) $a > b > c$ (B) $a > c > b$ (C) $c > b > a$ (D) $b > c > a$ (E) $b > a > c$ 。

答 (B)

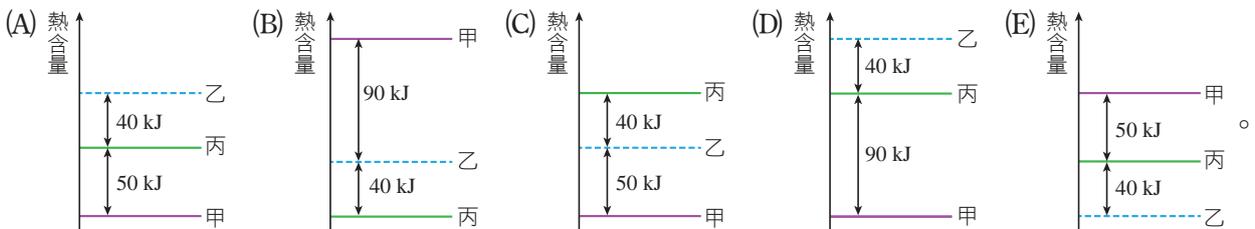


類題 2

定溫、定壓下，已知下列二個反應：



則甲、乙、丙的熱含量關係圖，何者正確？

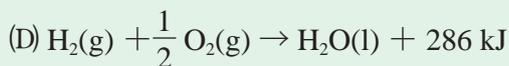
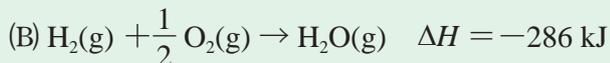
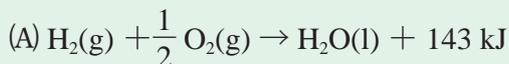


答 (E)

解 依題意，甲、乙、丙的熱含量， $H_{\text{甲}} = H_{\text{乙}} + 90 \text{ kJ}$ ； $H_{\text{乙}} + 40 \text{ kJ} = H_{\text{丙}}$ ，故選 (E)

範例 3 熱化學方程式 高一複習

已知 25°C、1 atm 時，1 g 的氫氣燃燒可放出 143 kJ 的熱量，則下列熱化學方程式，哪些正確？



答 (C)(D)

解 H_2 : 1 g $\Rightarrow \frac{1}{2}$ mol，放出 143 kJ；1 mol，放出 286 kJ，

故熱化學方程式可表示為：



▶類題 3

25°C、1 atm 下，甲烷完全燃燒的熱化學方程式為： $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 890 \text{ kJ}$ ，試問同狀況下，取 4 g 甲烷完全燃燒，反應熱 (ΔH) 為多少？

答 $\Delta H = -222.5 \text{ kJ}$

解 CH_4 莫耳數 = $\frac{4}{16} = 0.25 \text{ mol} \Rightarrow \Delta H = -890 \times 0.25 = -222.5 \text{ kJ}$

重點二 燃燒熱與生成熱

	莫耳燃燒熱	莫耳生成熱
意義	1 莫耳物質完全燃燒時的反應熱	1 莫耳物質由其最穩定的成分元素生成時的反應熱
特性	① 必為放熱 ② 不可燃物質 (O ₂ 、H ₂ O、CO ₂ 等) 的燃燒熱為 0	① 可能為吸熱或放熱 ② 25°C、1 atm 下，以最穩定狀態存在或最常見的元素物質，其生成熱訂為 0 例 ① 氫：H ₂ (g)，溴：Br ₂ (l)，碘：I ₂ (s)，汞：Hg(l) ② 有同素異形體時，取其中存量最多或最穩定者訂為 0，例如：氧：O ₂ (g)，碳：石墨 C(s)，磷：白磷 P ₄ (s)，硫：斜方硫 S ₈ (s)
熱化學方程式特徵	1 mol 物質 $\xrightarrow{\text{完全燃燒}}$ 產物 $\Delta H = \text{莫耳燃燒熱}$	成分元素 $\xrightarrow{\text{生成}}$ 1 mol 化合物 $\Delta H = \text{莫耳生成熱}$
熱化學方程式寫法	$1\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \underbrace{\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})}_{\text{完全燃燒產物}}$ ↑ 係數為 1 $\Delta H = -890.2 \text{ kJ}$	$\underbrace{\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g})}_{\text{成分元素}} \rightarrow 1\text{CH}_4(\text{g}) \quad \Delta H = -75 \text{ kJ}$ ↑ 係數為 1

觀念是非題

- (~~X~~) 1. C(s) + $\frac{1}{2}$ O₂(g) → CO(g) $\Delta H = -110 \text{ kJ}$ ，該反應熱可稱為 C(s) 之莫耳燃燒熱。
- (~~X~~) 2. H₂O(l) 的莫耳生成熱與 H₂(g) 的莫耳燃燒熱為同值異號。

1. C 的完全燃燒產物為 CO₂，莫耳燃燒熱反應式應寫為：C(s) + O₂(g) → CO₂(g)

2. H₂O(l) 的莫耳生成熱即 H₂(g) 的莫耳燃燒熱，反應式相同，均為：H₂(g) + $\frac{1}{2}$ O₂(g) → H₂O(l)

範例 4 生成熱與燃燒熱

下列有關反應熱的敘述，何者正確？

- (A) $\text{N}(\text{g}) + 3\text{H}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g})$ 的 ΔH 為氨的莫耳生成熱
- (B) 二氧化碳的莫耳生成熱與碳的莫耳燃燒熱為同值異號
- (C) 二氧化碳的莫耳燃燒熱為 0
- (D) 鑽石的莫耳生成熱為 0
- (E) 已知 $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + 33.8 \text{ kJ} \rightarrow \text{NO}_2(\text{g})$ ，則氮氣的莫耳燃燒熱為 -67.6 kJ 。

答 (C)

- 解 (A) $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g})$ 的 ΔH 為氨的莫耳生成熱
- (B) 二氧化碳的莫耳生成熱與碳的莫耳燃燒熱為同值同號
- (D) 碳的同素異形體中，石墨的莫耳生成熱為 0
- (E) 由 $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + 33.8 \text{ kJ} \rightarrow \text{NO}_2(\text{g})$ 知，氮與氧化合為二氧化氮時為吸熱反應，而非燃燒反應。
 $+33.8 \text{ kJ}$ 為二氧化氮的莫耳生成熱

▶類題 4

25°C、1 atm 時，下列哪些物質的莫耳生成熱為零？

- (A) $\text{Cl}(\text{g})$ (B) $\text{O}_3(\text{g})$ (C) 斜方硫 $\text{S}_8(\text{s})$ (D) $\text{Br}_2(\text{l})$ (E) 石墨 $\text{C}(\text{s})$ 。

答 (C)(D)(E)

解 (A) 應為 $\text{Cl}_2(\text{g})$ (B) 應為 $\text{O}_2(\text{g})$

重點三 反應熱的加成性——赫斯定律

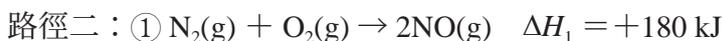
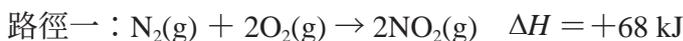
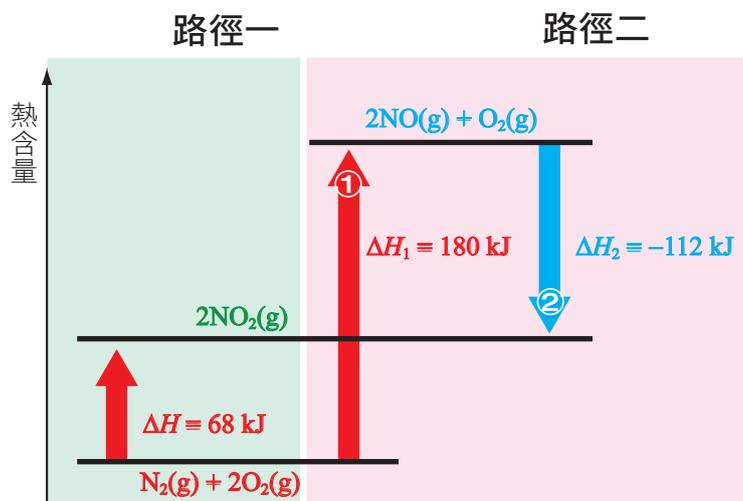
一、意義

若一個反應式可由其他數個反應式組合而成，其反應熱亦等於此數個反應式反應熱的代數和。

二、特性與用途

1. 反應熱與反應途徑無關，僅與反應物初始狀態和生成物最終狀態有關。

例 氮氣與氧氣生成二氧化氮的反應，可能有兩種路徑：

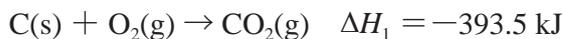


路徑一的反應熱 ΔH 與路徑二的反應熱 $\Delta H_1 + \Delta H_2$ 相等，即 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$

2. 常用來求不易測量的反應熱。

例 碳不完全燃燒的反應熱不易直接測量，可使用赫斯定律求之。

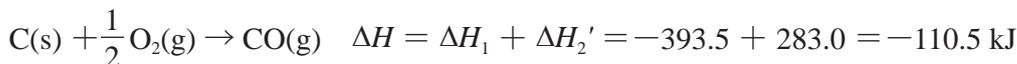
① 碳完全燃燒



② 一氧化碳完全燃燒



求碳不完全燃燒時的反應熱



三、延伸公式

1. $\Delta H = \Sigma \text{生成物生成熱} - \Sigma \text{反應物生成熱}$ (記法： $\Delta H = \text{生生} - \text{反生}$)

例 ① $6\text{C}(\text{s}) + 6\text{H}_2(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \quad \Delta H_1$ ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 的莫耳生成熱)

② $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H_2$ ($\text{CO}_2(\text{g})$ 的莫耳生成熱)

③ $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_3$ ($\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的莫耳生成熱)

① + ② $\times (-6)$ + ③ $\times (-6)$



生成物生成熱總和
(O_2 生成熱為 0)

反應物生成熱總和

2. $\Delta H = \Sigma \text{反應物燃燒熱} - \Sigma \text{生成物燃燒熱}$ (記法: $\Delta H = \text{反燃} - \text{生燃}$)

例 ① $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_1$ ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 的莫耳燃燒熱)

② $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_2$ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 的莫耳燃燒熱)

① - ② $\times 2 \quad \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = \Delta H_1 - 2\Delta H_2$
反應物燃燒熱總和 生成物燃燒熱總和
(CO_2 無燃燒熱)

範例 5 赫斯定律

已知：

(1) $4\text{NH}_3(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1530 \text{ kJ}$

(2) $\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -367 \text{ kJ}$

(3) $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -286 \text{ kJ}$

試求： $2\text{NH}_3(\text{g}) + 3\text{N}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的反應熱為若干 kJ ?

答 -1008 kJ

解 (1) $\times \frac{1}{2} \Rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1530 \times \frac{1}{2}$

(2) $\times 3 \Rightarrow 3\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 3\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -367 \times 3$

+) (3) $\times (-3) \Rightarrow 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 3\text{H}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = 286 \times 3$

$2\text{NH}_3(\text{g}) + 3\text{N}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1530 \times \frac{1}{2} + (-367 \times 3) + 286 \times 3 = -1008 \text{ kJ}$

類題 5

已知：

$\text{Ca}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g}) + 103 \text{ kcal}$

$\text{CaO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + 19 \text{ kcal}$

$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 138 \text{ kcal}$

試問下列方程式： $\text{Ca}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s})$ 的 ΔH 為何？

(A) -222 kcal (B) -16 kcal (C) -54 kcal (D) 54 kcal (E) -153 kcal。

答 (E)

解 (1) $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2 \quad \Delta H = -103 \text{ kcal}$

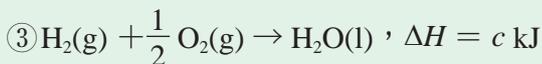
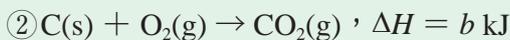
(2) $\times (-1) \quad \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \quad \Delta H = +19 \text{ kcal}$

(3) $\times \frac{1}{2} \quad \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} \quad \Delta H = -138 \times \frac{1}{2} \text{ kcal}$

$\text{Ca} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CaO} \quad \Delta H = -153 \text{ kcal}$

範例 6 赫斯定律與延伸公式

已知：

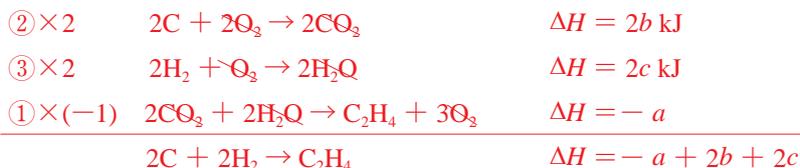


試求 $2\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 的 ΔH 為若干 kJ ?

(A) $a + b + c$ (B) $-a + b + c$ (C) $a - 2b - 2c$ (D) $-a + 2b + 2c$ (E) $-a + 2b + c$ 。

答 (D)

解 〈法一〉赫斯定律



〈法二〉 $\Delta H = \text{生生} - \text{反生}$

② 表示 CO_2 的莫耳生成熱為 b

③ 表示 H_2O 的莫耳生成熱為 c

所求表示 C_2H_4 的莫耳生成熱，假設為 x ，

$$\text{由 } \textcircled{1} \quad \Delta H = a = \underbrace{2b + 2c}_{\text{生生}} - \underbrace{x}_{\text{反生}} \Rightarrow x = -a + 2b + 2c$$

(O₂ 生成熱為 0)

〈法三〉 $\Delta H = \text{反燃} - \text{生燃}$

① 表 C_2H_4 的莫耳燃燒熱 a

② 表 $\text{C}(\text{s})$ 的莫耳燃燒熱 b

③ 表 $\text{H}_2(\text{g})$ 的莫耳燃燒熱 c

$$\text{反應式: } 2\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \quad \Delta H = (2 \times \text{C}(\text{s}) + 2 \times \text{H}_2(\text{g})) \text{ 燃燒熱} - (\text{C}_2\text{H}_4) \text{ 燃燒熱} = (2 \times b + 2 \times c) - (a)$$

類題 6

利用下列各熱化學方程式：

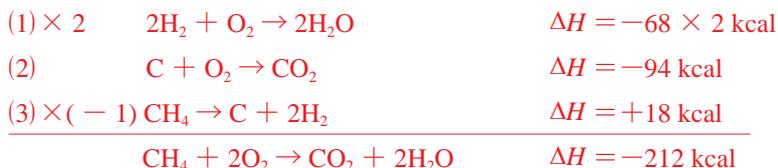


$\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g}) + 18 \text{ kcal}$ ，試求 1 莫耳甲烷完全燃燒時的反應熱為？

(A) -212 kcal (B) -204 kcal (C) -180 kcal (D) -144 kcal (E) -120 kcal 。

答 (A)

解 〈法一〉



〈法二〉

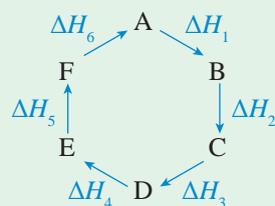
$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \quad \Delta H = \underbrace{(-94 - 68 \times 2)}_{\text{生生}} - \underbrace{(-18)}_{\text{反生}} = -212 \text{ kcal}$$

(O₂ 生成熱為 0)

範例 7 赫斯定律圖形問題

由附圖判斷下列關係哪些正確？

- (A) $A \rightarrow F \quad \Delta H = -\Delta H_6$
 (B) $|\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3| = |\Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6|$
 (C) $A \rightarrow D, \Delta H = \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6$
 (D) $B \rightarrow E, |\Delta H| = |\Delta H_1 + \Delta H_5 + \Delta H_6|$
 (E) $\Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = |\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_6|$ 。



答 (A)(B)(D)

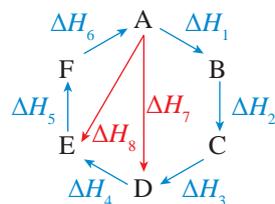
解 由圖知：

- (A) $F \rightarrow A \quad \Delta H = \Delta H_6$, 故 $A \rightarrow F \quad \Delta H = -\Delta H_6$
 (B) $A \rightarrow A \quad \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 = 0$, 故 $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = -(\Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6)$,
 亦即 $|\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3| = |\Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6|$
 (C) $A \rightarrow D \quad \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = -(\Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6)$
 (D) $B \rightarrow E \quad \Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 = -(\Delta H_1 + \Delta H_5 + \Delta H_6)$, 故 $|\Delta H| = |\Delta H_1 + \Delta H_5 + \Delta H_6|$
 (E) $\Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 = -(\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_6)$ 為 $C \rightarrow F$

類題 7

請利用附圖回答下列問題：

- (1) $A \rightarrow F \quad \Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
 (2) $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
 (3) $E \rightarrow B \quad \Delta H = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
 (4) $|\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3| \underline{\hspace{1cm}} |\Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6|$ (填 $>$, $=$, $<$)。
 (5) $\Delta H_7 - \Delta H_8 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



- 答** (1) $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$ (或 $-\Delta H_6$ 或 $\Delta H_7 + \Delta H_4 + \Delta H_5$ 或 $\Delta H_8 + \Delta H_5$) (2) 0
 (3) $\Delta H_1 + \Delta H_5 + \Delta H_6$ (或 $-(\Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4)$) (4) =
 (5) $-\Delta H_4$ (或 $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_5 + \Delta H_6$)

解 (1) 根據赫斯定律 $A \rightarrow F \quad \Delta H$ 可為 $A \rightarrow B$ 、 $B \rightarrow C$ 、 $C \rightarrow D$ 、 $D \rightarrow E$ 、 $E \rightarrow F$ 之和

(2) 可視為 $A \rightarrow A$ 故 $\Delta H = 0$

(5) $\Delta H_7 - \Delta H_8 = (\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3) - (\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4) = -\Delta H_4$
 或 $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_5 + \Delta H_6$


1-3 ▶ 即刻練習
基礎題

* 表多選題

概念 反應熱與熱化學方程式

- * **ABC** 1. 反應熱的大小與下列哪些因素有關？
(A) 溫度與壓力 (B) 物質的狀態 (C) 反應物的莫耳數 (D) 催化劑 (E) 反應過程。
- * **BCD** 2. 熱化學反應方程式可以表示下列哪些性質？
(A) 反應速率 (B) 反應物與生成物的種類 (C) 反應物與生成物的狀態 (D) 反應的熱含量變化 (E) 反應初，各反應物與生成物間的莫耳數比。
- * **AE** 3. 加熱至紅熱的煤焦與水蒸氣反應，即生成水煤氣，已知水煤氣為 CO 與 H₂ 等體積之混合氣體，且反應式為 $C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$ $\Delta H = 133 \text{ kJ}$ ，則下列敘述哪些正確？
(A) 水煤氣的平均分子量為 15 (B) 此反應為放熱反應 (C) 此反應亦可表示為 $C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g) + 133 \text{ kJ}$ (D) 24 g 的純碳與過量的水蒸氣反應，至多生成 2 mol 的水煤氣 (E) 承 (D)， $\Delta H = 266 \text{ kJ}$ 。
- * **ABD** 4. 已知： $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ ， $\Delta H = -484 \text{ kJ}$ 。下列有關此熱化學方程式的敘述，哪些正確？
(A) 生成 1 mol 的 H₂O(g) 會放熱 242 kJ (B) 此反應的能量變化可使周遭的溫度上升 (C) 2H₂O(g) 所含的能量比 (2H₂(g) + O₂(g)) 所含的能量高出 484 kJ (D) 若此一反應的產物是 H₂O(l)，則反應的能量變化大於 484 kJ (E) 使 1 mol H₂(g) 與 2 mol O₂(g) 的混合物反應，則能量的變化為 484 kJ。
- C** 5. 已知 25°C、1 atm 下，石墨、金剛石燃燒的熱化學方程式分別為：
 $C_{(\text{石墨})} + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393.51 \text{ kJ}$
 $C_{(\text{金剛石})} + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -395.41 \text{ kJ}$
 下列敘述何者正確？
 (A) 由石墨製備金剛石是放熱反應；石墨的熱含量比金剛石低 (B) 由石墨製備金剛石是放熱反應；石墨的熱含量比金剛石高 (C) 由石墨製備金剛石是吸熱反應；石墨的熱含量比金剛石低 (D) 由石墨製備金剛石是吸熱反應；石墨的熱含量比金剛石高 (E) 由石墨製備金剛石是放熱反應；故其反應速率很快。

【109 臺中女中】

概念 燃燒熱與生成熱

- * **BCE** 6. 下列有關反應熱的敘述，哪些正確？
(A) 白磷 P₄(s) 的莫耳燃燒熱為零 (B) CO₂(g) 的莫耳燃燒熱為零 (C) O₂(g) 的莫耳生成熱與莫耳燃燒熱均為零 (D) H₂O(l) 的莫耳生成熱為正值 (E) CO₂(g) 的莫耳生成熱為負值。
- * **CE** 7. 25°C、1 atm 下，下列哪些反應熱為負值？
(A) 液態汞的莫耳生成熱 (B) 石墨的莫耳生成熱 (C) 水蒸氣的莫耳生成熱 (D) 氧氣的莫耳燃燒熱 (E) 一氧化碳的莫耳生成熱。



1-3 ▶ 即刻練習 解析頁

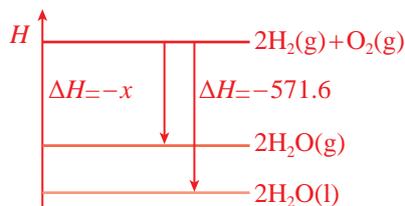
基礎題

- 反應熱與溫度、壓力、物質狀態及反應物的量有關，與反應過程、催化劑無關
- (A) 由熱化學反應方程式無法得知反應速率 (E) 應為反應進行中，各反應物與生成物間的莫耳數變化比等於係數比
- (A) $\bar{M} = 2 \times \frac{1}{2} + 28 \times \frac{1}{2} = 15$ (B) $\Delta H > 0$ ，為吸熱反應 (C) $\text{C(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} + 133 \text{ kJ} \rightarrow \text{CO(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$ (D) $\text{C} : \frac{24}{12} = 2 \text{ mol} \Rightarrow \text{H}_2 : 2 \text{ mol}, \text{CO} : 2 \text{ mol} \Rightarrow$ 共 4 mol (E) $\Delta H = 133 \times 2 = 266 \text{ kJ}$
- (A) $2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O(g)}, \Delta H = -484 \text{ kJ} \xrightarrow{\times \frac{1}{2}} \text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$ ，
 $\Delta H = (-484) \times \frac{1}{2} = -242 \text{ kJ}$
 (B) 放熱反應，可使周遭的溫度上升
 (C) 放熱反應，故反應物 ($2\text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)}$) 熱含量比生成物 $2\text{H}_2\text{O(g)}$ 熱含量高 484 kJ
 (D) 因熱含量： $\text{H}_2\text{O(l)} < \text{H}_2\text{O(g)}$ ，故生成 $\text{H}_2\text{O(l)}$ 時會放出較 484 kJ 更多的熱量
 (E) 1 mol $\text{H}_2\text{(g)}$ 與 2 mol $\text{O}_2\text{(g)}$ 反應後，僅會生成 1 mol 的 $\text{H}_2\text{O(g)}$ ($\text{H}_2\text{(g)}$ 為限量試劑， $\text{O}_2\text{(g)}$ 剩餘 1.5 mol)，故僅放出 242 kJ 的熱量
- 兩式相減可得 $\text{C}_{(\text{石墨})} \rightarrow \text{C}_{(\text{金剛石})}$
 $\Delta H = +1.90 \text{ kJ}$ ，因此可知，由石墨製備金剛石是吸熱反應，金剛石的熱含量比石墨高。
 (E) 反應速率與反應熱正負值無關
- (A) 白磷 $\text{P}_4\text{(s)}$ 的莫耳燃燒熱為負值，而其莫耳生成熱為零 (D) $\text{H}_2\text{O(l)}$ 的莫耳生成熱即 $\text{H}_2\text{(g)}$ 的莫耳燃燒熱，故為放熱
- (A)(B)(D) 反應熱為零 (C) 水蒸氣莫耳生成熱的反應式為 $\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$ ，為氫氣的燃燒，故為負值 (E) 一氧化碳莫耳生成熱的反應式為 $\text{C(s)} + \frac{1}{2}\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO(g)}$ ，為碳的不完全燃燒，故為負值



1-3 ▶ 即刻練習 解析頁

8. (A) 水的莫耳生成熱為 -285.8 kJ (D) 此反應亦可表示成： $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 571.6 \text{ kJ}$ 或 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) - 571.6 \text{ kJ} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，故 $Q = -571.6 \text{ kJ}$ (E) 由熱含量圖可知，故 $x < 571.6$

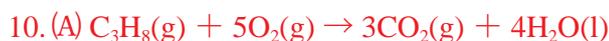


(A) $-196 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{34} = -2.9 \text{ kJ}$

(B) $\textcircled{1} - \textcircled{2} \times \frac{1}{2}$ 得 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{l})$ ， $\Delta H = -286 - (-196) \times \frac{1}{2} = -188 \text{ kJ}$

(C) $-286 \times \frac{1}{2} = -143 \text{ kJ}$ (D) 放熱反應， $\Delta H < 0$

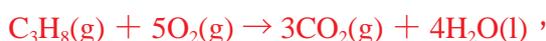
(E) 由 $\textcircled{2}$ 知，熱含量： $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) > 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$



(B) 石墨之標準莫耳燃燒熱 = $\text{CO}_2(\text{g})$ 之標準莫耳生成熱 = -394 kJ

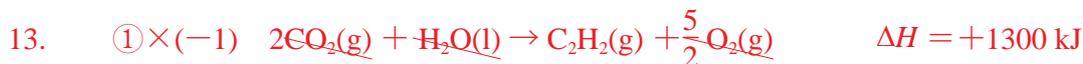
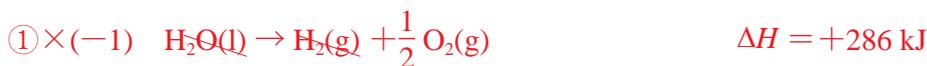
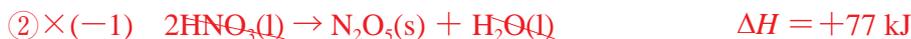
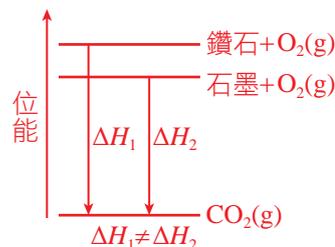
(C) 氫氣之標準莫耳燃燒熱 = $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 之標準莫耳生成熱 = -286 kJ

(D) 反應熱 = 生成物總生成熱 - 反應物總生成熱



$\Delta H = [3(-394) + 4(-286)] - (-96) = -2230 \text{ kJ}$

(E) 莫耳燃燒熱：鑽石 $>$ 石墨



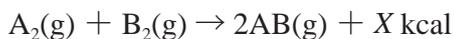
- * BC 8. 25°C 、 1 atm 下， $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ， $\Delta H = -571.6\text{ kJ}$ 。下列敘述哪些正確？
 (A) 水的莫耳生成熱為 $+285.8\text{ kJ}$ (B) 此反應為放熱反應 (C) 氫氣的莫耳燃燒熱為 -285.8 kJ (D) 若將此反應表示成： $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + Q \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ，則 $Q = 571.6\text{ kJ}$ (E) 同溫、同壓時， $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ， $\Delta H = -x\text{ kJ}$ ，則 $x > 571.6$ 。
- * ADE 9. 已知液態水的莫耳生成熱為 -286 kJ ， 2 mol 液態過氧化氫分解成水與氧氣時放出 196 kJ 能量。下列敘述哪些正確？
 (A) 當 1 g 液態過氧化氫分解成水和氧氣時，約可放出 2.9 kJ (B) 液態過氧化氫的莫耳生成熱為 -376 kJ (C) 當 1 g 氫氣完全燃燒時，可放出 286 kJ 能量 (D) 液態過氧化氫分解為水及氧氣的熱化學方程式中的 ΔH 為負值 (E) 液態過氧化氫的熱含量較水為高。
- * AD 10. 已知 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 、 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的標準莫耳生成熱分別為 -96 kJ 、 -394 kJ 及 -286 kJ ，則下列敘述哪些正確？
 (A) 每莫耳丙烷 (C_3H_8) 完全燃燒需消耗 5 mol 氧氣 (B) 石墨之標準莫耳燃燒熱為 $+394\text{ kJ}$ (C) 氫氣之標準莫耳燃燒熱為 -143 kJ (D) 丙烷之標準莫耳燃燒熱為 -2230 kJ (E) 鑽石與石墨之莫耳燃燒熱相同。

概念 反應熱的加成性 —— 赫斯定律

A 11. 已知熱化學方程式：

- ① $2\text{A}(\text{g}) \rightarrow \text{A}_2(\text{g}) + 150\text{ kcal}$
 ② $2\text{B}(\text{g}) \rightarrow \text{B}_2(\text{g}) + 360\text{ kcal}$
 ③ $\text{AB}(\text{g}) + 400\text{ kJ} \rightarrow \text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g})$

試問下列反應式中的 X 值為何？



- (A) 290 (B) 110 (C) 145 (D) -110 (E) -290 。

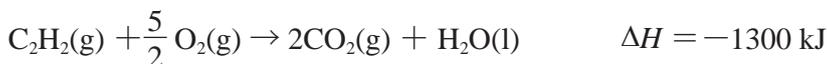
C 12. 已知下列熱化學方程式：

- ① $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -286\text{ kJ}$
 ② $\text{N}_2\text{O}_5(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HNO}_3(\text{l}) \quad \Delta H = -77\text{ kJ}$
 ③ $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HNO}_3(\text{l}) \quad \Delta H = -174\text{ kJ}$

試求 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{s})$ 的莫耳生成熱為多少 kJ ？

- (A) 189 (B) -189 (C) 15 (D) -30 (E) -1133 。

B 13. 已知：



試求乙炔 (C_2H_2) 的莫耳生成熱為：

- (A) -226 kJ/mol (B) $+226\text{ kJ/mol}$ (C) -166 kJ/mol
 (D) -620 kJ/mol (E) $+620\text{ kJ/mol}$ 。

B 14. 已知碳的莫耳燃燒熱為 -394 kJ ，一氧化碳的莫耳燃燒熱為 -282 kJ ，則一氧化碳的莫耳生成熱為多少 kJ ？

(A) $+112$ (B) -112 (C) $+224$ (D) -224 (E) $+170$ 。

C 15. 已知石墨的莫耳燃燒熱為 -394 kJ ，且： $3\text{C}(\text{s}) + 2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H = 464 \text{ kJ}$ ，試問 Fe_2O_3 的莫耳生成熱應為多少？

(A) 70 kJ (B) -70 kJ (C) -823 kJ (D) -857 kJ (E) -1646 kJ 。

16. 熱化學反應式： $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H = -400 \text{ kJ}$

$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = -560 \text{ kJ}$

已知 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 之莫耳燃燒熱為 -1400 kJ ，則 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 之莫耳生成熱為多少 kJ/mol ？

-240 kJ

17. 已知石墨在標準狀態下之莫耳燃燒熱為 -393.5 kJ ，而鑽石為 -395.4 kJ ，試計算 1 mol 的石墨轉化成鑽石時，反應熱為何？ 1.9 kJ

進階題



影音解題

18. 已知下列兩個熱化學方程式 (1) 及 (2)：

(1) $\text{A}_2\text{B}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightarrow \text{A}_2\text{B}_4(\text{g})$ ， $\Delta H_1 < 0$

(2) $\text{AB}_4(\text{g}) \rightarrow \text{B}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{A}_2\text{B}_4(\text{g})$ ， $\Delta H_2 > 0$

試將下列三個熱化學方程式 (3)、(4) 及 (5) 的反應熱由大而小排列 ($\text{A}(\text{s})$ 、 $\text{B}_2(\text{g})$ 為 A、B 所形成的最穩定元素)。

(3) $\text{A}(\text{s}) + 2\text{B}_2(\text{g}) \rightarrow \text{AB}_4(\text{g})$ ， ΔH_3

(4) $\text{A}(\text{s}) + \frac{1}{2} \text{B}_2(\text{g}) \rightarrow \frac{1}{2} \text{A}_2\text{B}_2(\text{g})$ ， ΔH_4

(5) $\text{A}(\text{s}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightarrow \frac{1}{2} \text{A}_2\text{B}_4(\text{g})$ ， ΔH_5

$\Delta H_4 > \Delta H_5 > \Delta H_3$

* AC 19. 下列各熱化學方程式：

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + a \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow b \text{CO}_2(\text{g}) + c \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + Q_1 \text{ kJ}$

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + a \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow b \text{CO}_2(\text{g}) + c \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + Q_2 \text{ kJ}$

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g}) + a \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow b \text{CO}_2(\text{g}) + c \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + Q_3 \text{ kJ}$

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g}) + a \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow b \text{CO}_2(\text{g}) + c \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + Q_4 \text{ kJ}$

方程式中的 a 、 b 、 c 均為整數，試問下列敘述哪些正確？（已知汽化熱： $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ ）

(A) $a + b + c = 8$ (B) Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 均為負值 (C) $Q_3 > Q_1 > Q_4 > Q_2$

(D) $Q_3 > Q_4 > Q_1 > Q_2$ (E) 水的莫耳汽化熱為 $Q_3 - Q_4$ 。

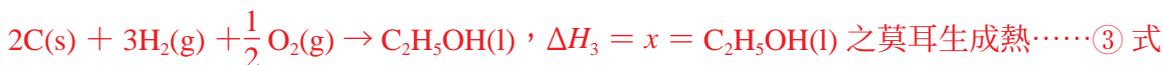
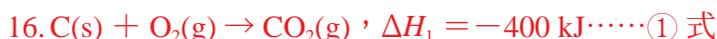


1-3 ▶ 即刻練習 解析頁



設 Fe_2O_3 的莫耳生成熱為 $x \text{ kJ}$ ， CO_2 的莫耳生成熱 = 石墨的莫耳燃燒熱 = -394 kJ ， C 及 Fe 的莫耳生成熱為 0，反應熱 = 生成物生成熱總和 - 反應物生成熱總和

$$464 = 3 \times (-394) - 2x \Rightarrow x = -823 \text{ kJ}$$



根據赫斯定律： $\Delta H = (-1)\Delta H_3 + 2\Delta H_1 + \frac{3}{2}\Delta H_2 = -x + 2 \times (-400) + \frac{3}{2}(-560) = -1400$

解得 $\Delta H_3 = x = C_2H_5OH(l)$ 之莫耳生成熱 = -240 kJ

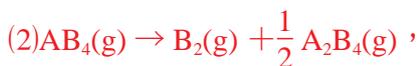


進階題

18. 由 (3)、(4)、(5) 可知： ΔH_3 為 $AB_4(g)$ 的莫耳生成熱， $2\Delta H_4$ 為 $A_2B_2(g)$ 的莫耳生成熱， $2\Delta H_5$ 為 $A_2B_4(g)$ 的莫耳生成熱。



$$\Delta H_1 = A_2B_4(g) \text{ 的生成熱} - A_2B_2(g) \text{ 的生成熱} = 2\Delta H_5 - 2\Delta H_4 < 0 \Rightarrow \Delta H_4 > \Delta H_5$$



$$\Delta H_2 = \frac{1}{2} A_2B_4(g) \text{ 的生成熱} - AB_4(g) \text{ 的生成熱} = \Delta H_5 - \Delta H_3 > 0 \Rightarrow \Delta H_5 > \Delta H_3$$

故 $\Delta H_4 > \Delta H_5 > \Delta H_3$



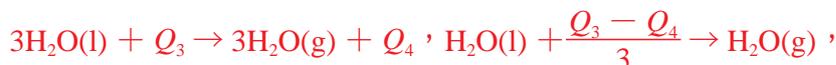
(B) 燃燒為放熱反應，故 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 均為正值

(C)(D) 由圖可知： Q_3 最大， Q_2 最小， $Q_1 = Q_2 + 3y$ ， $Q_4 = Q_2 + x$ ， x 為 $C_2H_5OH(l)$ 之莫耳汽化熱， y 為水之莫耳汽化熱，

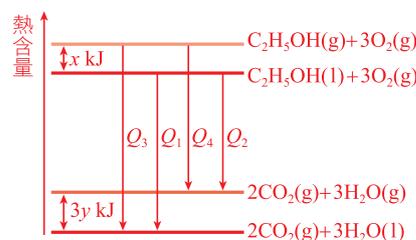
$$\because \text{汽化熱} : y > x \Rightarrow 3y > x$$

$$\Rightarrow Q_2 + 3y > Q_2 + x \Rightarrow Q_1 > Q_4, \text{ 故 } Q_3 > Q_1 > Q_4 > Q_2$$

(E) 第 3 個反應式 $\times (-1)$ + 第 4 個反應式，可得：

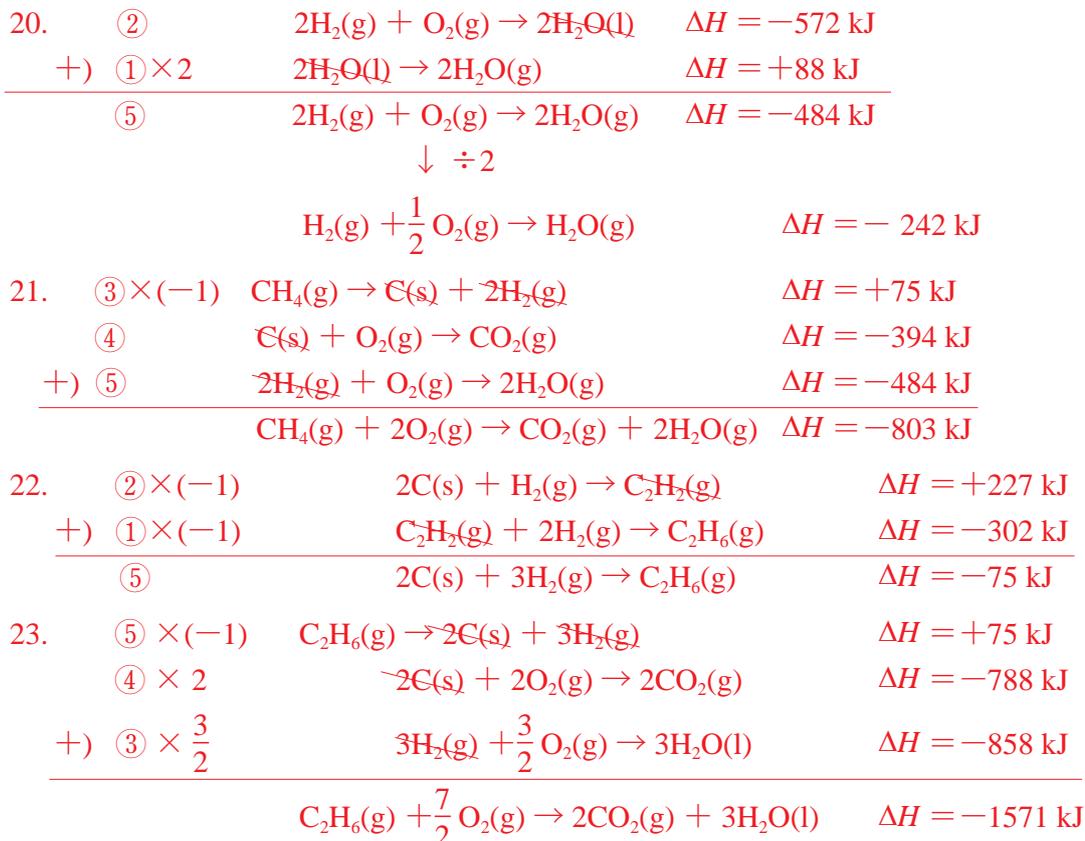


故水的莫耳汽化熱為 $\frac{Q_3 - Q_4}{3}$





1-3 ▶ 即刻練習 解析頁



24. 先求甲烷的燃燒熱 (ΔH_c) : $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$,

$\Delta H_c = \text{生} - \text{反} = (\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}) \text{ 生成熱} - (\text{CH}_4 + 2\text{O}_2) \text{ 生成熱}$

$$= [(-94) + 2 \times (-68)] - [(-18) + 2 \times 0] = -212 \text{ (kJ)}$$

設含氫氣 $a \text{ mol}$ 、甲烷 $(1 - a) \text{ mol}$ ，共產生熱量 = $a \times 68 + (1 - a) \times 212 = 140$ ， $a = 0.5$ 。

又同溫同壓下，氣體莫耳數比 = 體積比，故 $V_{\text{H}_2} : V_{\text{CH}_4} = 1 : 1$

歷屆試題

- (A)(C) 由圖一知， $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 為放熱反應
 (D) 由圖二知，逆反應 $2\text{NO}(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 為放熱反應
 (E) 由圖一知，逆反應 $2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 為吸熱反應

◎ 20 ~ 21 題為題組

在 25°C、1 atm 下，已知下列各熱化學方程式：

- ① $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +44 \text{ kJ}$
 ② $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -572 \text{ kJ}$
 ③ $\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g}) \quad \Delta H = -75 \text{ kJ}$
 ④ $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -394 \text{ kJ}$

試問：

D 20. 水蒸氣的莫耳生成熱為多少 kJ？

- (A) 44 (B) -528 (C) -484 (D) -242 (E) -286。

C 21. 25°C、1 atm 下，將 1 mol 甲烷完全氧化，生成二氧化碳和水蒸氣的反應熱為多少 kJ？

- (A) -561 (B) -605 (C) -803 (D) -891 (E) -847。

◎ 22 ~ 23 題為題組

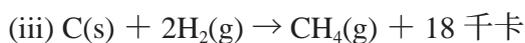
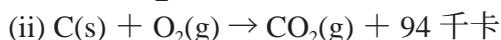
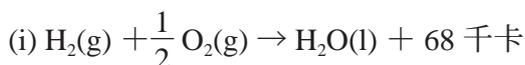
根據下表中各反應的反應熱回答下列問題：

反應式	ΔH (kJ)
① $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$	302
② $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$	-227
③ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-572
④ $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$	-394

22. 乙烷 (C_2H_6) 的莫耳生成熱為多少 kJ？ -75 kJ

23. 乙烷 (C_2H_6) 的莫耳燃燒熱為多少 kJ？ -1571 kJ

24. 已知：

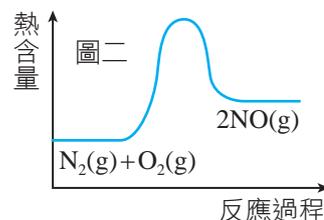
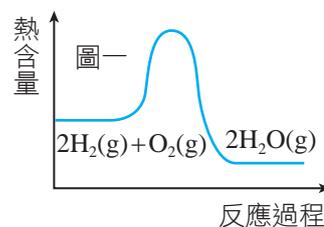


某氫氣和甲烷的混合氣體之平均莫耳燃燒熱為 140 千卡，則此混合氣體中 H_2 與 CH_4 體積的整數比為何？ 1 : 1

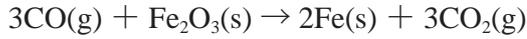
歷屆試題

B 1. 圖一及圖二分別代表 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 和 $\text{NO}(\text{g})$ 的生成反應過程中，反應物與生成物的能量變化，則下列敘述何者正確？

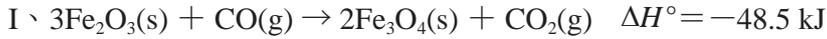
- (A) $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的生成反應為吸熱反應 (B) $\text{NO}(\text{g})$ 的生成反應為吸熱反應
 (C) $\text{H}_2(\text{g})$ 燃燒產生水蒸氣的反應為吸熱反應
 (D) $\text{NO}(\text{g})$ 分解為氮氣和氧氣的反應為吸熱反應 (E) $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 分解為氫氣與氧氣的反應為放熱反應。【101 學測】



B 2. 一氧化碳和 Fe_2O_3 的化學反應式如下：



試由下列三個反應式與赫斯定律，計算上述反應的 ΔH° (kJ)。



下列哪一數值最接近計算的結果？

- (A) 10 (B) 21 (C) 42 (D) 63 (E) 84。

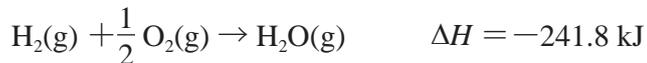
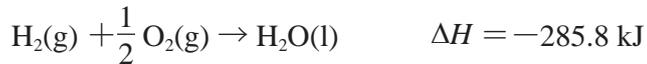
【104 學測】

D 3. 已知在標準溫壓下，CO 與 CO_2 的莫耳生成熱分別為 -110.2 kJ/mol 及 -393.5 kJ/mol 。今有 12.0 g 的碳燃燒後得 7.0 g 的 CO 與 33.0 g 的 CO_2 ，則在此過程中，約有多少熱量 (kJ) 釋出？

- (A) 84.7 (B) 137.5 (C) 248.2 (D) 322.7 (E) 457.8。

【105 學測】

D 4. 已知在 25°C ， 1 atm 下氫氣與氧氣化合產生 1 mol 液態水和氣態水的熱化學反應式分別如下：



若在相同溫度與壓力下，將 1.0 g 的水直接汽化為水蒸氣，則所需的能量 (kJ) 最接近下列哪一數值？

- (A) 241.8 (B) 44.0 (C) 24.4 (D) 2.4 (E) 0.3。

【106 學測】

* **ABD** 5. 定溫時， 1 mol 的 $\text{CO}(\text{g})$ 與 1 mol 的 $\text{NO}_2(\text{g})$ 完全反應後，生成 1 mol 的 $\text{CO}_2(\text{g})$ 與 1 mol 的 $\text{NO}(\text{g})$ ，並放出熱量 226 kJ 。下列敘述哪些正確？

(A) 此反應使反應系統的溫度上升

(B) 此反應的熱化學反應式為： $\text{CO}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{NO}(\text{g}) + 226 \text{ kJ}$

(C) 此反應的熱化學反應式為： $\text{CO}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{NO}(\text{g}) \quad \Delta H = 226 \text{ kJ}$

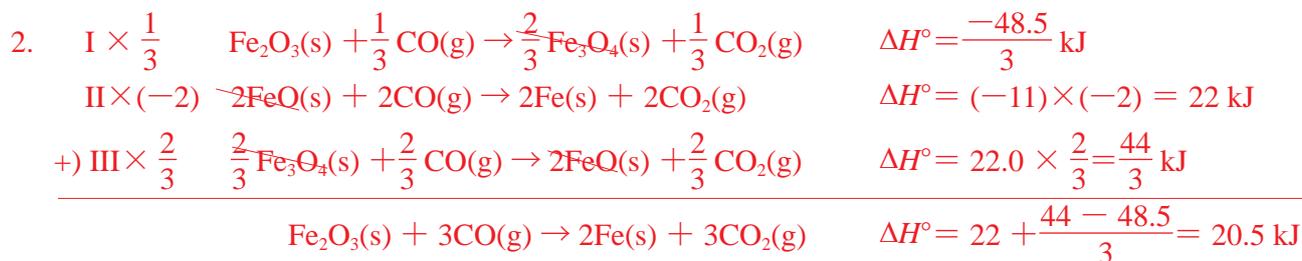
(D) 若在相同條件下， $\text{CO}_2(\text{g})$ 與 $\text{NO}(\text{g})$ 完全反應，以生成 $\text{CO}(\text{g})$ 與 $\text{NO}_2(\text{g})$ ，則此反應為吸熱反應

(E) 若在相同條件下， 2 mol 的 CO 與 2 mol 的 NO_2 完全反應，生成 2 mol 的 CO_2 與 2 mol 的 NO 時，則同樣會放出熱量 226 kJ 。

【107 學測】



1-3 ▶ 即刻練習 解析頁

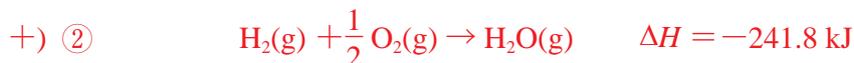
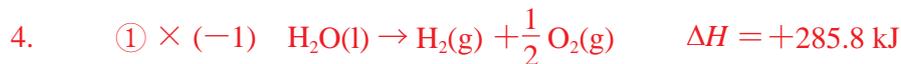


生成 CO 莫耳數 = $\frac{7.0}{28} = 0.25 \text{ mol} \Rightarrow$ 放出的熱量 $0.25 \times 110.2 = 27.55 \text{ kJ}$



生成 CO_2 的莫耳數 = $\frac{33.0}{44} = 0.75 \text{ mol} \Rightarrow$ 放出的熱量 $0.75 \times 393.5 = 295.125 \text{ kJ}$

\therefore 共放出熱量 $27.55 + 295.125 \approx 322.7 \text{ kJ}$



1 mol 的水汽化為水蒸氣需吸熱 44 kJ \Rightarrow 1 g 水 ($\frac{1}{18} \text{ mol}$) 需吸熱 $44 \times \frac{1}{18} \approx 2.4 \text{ kJ}$





1-3 ▶ 即刻練習 解析頁

6. (2) 將 $N = 5$ 、 $N = 6$ 的數據代入關係式

$$\begin{cases} 3509 = 5a + b \\ 4163 = 6a + b \end{cases}$$

$$\Rightarrow a = 654, b = 239$$

$$(3) -\Delta H = 654N + 239 = 654 \times 10 + 239 = 6779 \text{ kJ/mol}$$

(4) $N = 0$ 時， $C_N H_{2N+2} = H_2$ ，故 Y 軸截距代表 H_2 的莫耳燃燒熱

7. $C_3H_6O_x + yO_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O$

$$\Delta H = \text{生生} - \text{反生} = \text{生生} - C_3H_6O_x \text{ 莫耳生成熱} \Rightarrow C_3H_6O_x \text{ 莫耳生成熱} = \text{生生} + (-\Delta H)$$

\therefore 生生相同，故 $-\Delta H$ 愈大者，莫耳生成熱愈大

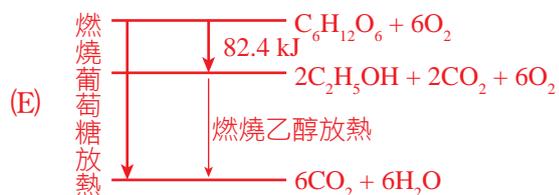
$-\Delta H$: 丙烯 = 2060, 丙醛 = 1990

丙酮 = 1790, 丙酸 = 1530

8. (A) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$ ，甲為 CO_2

(B) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$

$$\Delta H = \text{生生} - \text{反生} = [2(-277.7) + 2(-393.5)] - (-1260) = -82.4 \text{ kJ} < 0 \quad \text{放熱反應}$$



如圖所示，直接燃燒葡萄糖放熱較多

素養 6. 在 25°C 及 1 atm 的條件下，由實驗測量直鏈烷類化合物的燃燒熱 (ΔH)，其結果如下表：

碳數 N	5	6	7	8
$-\Delta H$ (單位：kJ/mol)	3509	4163	4817	5471

(1) 用碳數 (N) 為 X 軸，由 N = 0 為起點；燃燒熱為 Y 軸，作出 $-\Delta H$ 與 N 的關係圖。

(2) 若烷類的碳數 N 與燃燒熱 ΔH 的關係，可近似於下式：

$-\Delta H = aN + b$ ，試求 a 與 b (最接近的整數值)。

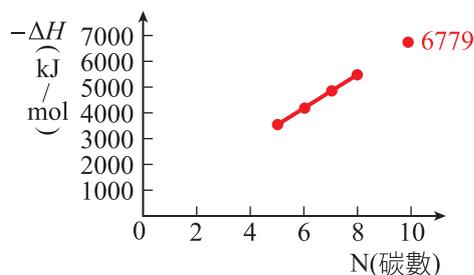
$$a = 654, b = 239$$

(3) 在圖上，① 點出 N = 10 時， $-\Delta H$ 的位置，② 寫出 N = 10 時， $-\Delta H$ 的大約數值。請見附圖

(4) 從化學的觀點，簡答所繪圖中的線條不通過原點 (亦即在 Y 軸的截距不為零) 的意義為何？

H₂ 的莫耳燃燒熱

【101 指考改】



A 7. 丙烯 (C₃H₆)、丙醛 (C₃H₆O)、丙酮 (C₃H₆O) 和丙酸 (C₃H₆O₂) 之標準莫耳燃燒熱分別為 -2060、-1990、-1790 和 -1530 kJ。此四化合物標準莫耳生成熱的大小順序，下列何者正確？

- (A) 丙酸 < 丙酮 < 丙醛 < 丙烯 (B) 丙酸 < 丙醛 < 丙酮 < 丙烯
 (C) 丙酸 < 丙醛 < 丙酮 < 丙烯 (D) 丙烯 < 丙醛 < 丙酮 < 丙酸
 (E) 丙烯 < 丙酸 < 丙酮 < 丙醛。

【110 學測】

素養 * **BCD** 8. 乙醇為一種生質燃料，可由葡萄糖經生物發酵作用生成。葡萄糖可從光合作用產生，以澱粉或纖維素形式儲存。葡萄糖發酵時除產生乙醇外，也同時生成產物甲。已知相關分子的莫耳生成熱分別為二氧化碳：-393.5、乙醇：-277.7、葡萄糖：-1260、水：-285.8 (kJ/mol)。

下列相關的敘述，哪些選項正確？

- (A) 產物甲為水
 (B) 葡萄糖發酵生成乙醇為放熱反應
 (C) 從澱粉及纖維素產生葡萄糖，均需經過水解
 (D) 葡萄糖經過發酵，所產生的乙醇與產物甲，兩者莫耳數相同
 (E) 葡萄糖發酵取得的乙醇，其燃燒的反應熱，比直接將原本的葡萄糖燃燒所產生的熱量多。

【110 指考】



▶▶ 實驗 1 反應熱的測量

實驗
影片



一、實驗目的

以保麗龍杯所製成的絕熱容器作為簡易的「卡計」，來測量反應熱。

二、實驗原理

1. 定壓、定溫下，反應前後系統中的能量變化稱為反應熱，以 ΔH 表示。若反應吸收能量，則稱為吸熱反應， ΔH 為正值；反之則為放熱反應， ΔH 為負值。
2. 本實驗利用「卡計」，來測量強酸與強鹼反應的中和熱，及硝酸銨固體溶於水中的溶解熱。假設卡計本身不吸收也不放出熱量，則反應吸收或放出的熱量會等於卡計系統（水溶液）所放出或吸收的熱量，因此可測量卡計系統（水溶液）的溫度變化，並藉由下式而求出反應熱。

$$\Delta H = m \times s \times \Delta T$$

ΔH : 吸收或放出的熱量 (cal)、 m : 水溶液質量 (g)、 s : 水溶液比熱 (cal/g · °C)、 ΔT : 溫度變化 (°C)

【註】本實驗假設所有水溶液的比熱及密度均與水相同，即 1 cal/g · °C 及 1 g/cm³，以利計算。

三、實驗步驟與結果

1. 中和熱的測量

<p>① 將燒杯、溫度計與保麗龍杯洗淨擦乾，並將二個保麗龍杯套在一起後放入燒杯中。</p>	<p>② 用 100 mL 量筒量取 1.0 M 鹽酸溶液 50.0 mL，置於保麗龍杯中。</p>	<p>③ 另用 100 mL 量筒量取 1.0 M 氫氧化鈉溶液 50.0 mL，並測其溫度，待平衡後記錄之。</p>
		
<p>④ 將氫氧化鈉溶液倒入裝有鹽酸溶液的保麗龍杯中，蓋上杯蓋，插入溫度計，並以玻璃棒輕輕攪拌，使二者均勻混合。</p>	<p>⑤ 混合反應期間以碼錶計時，每隔 5 秒記錄溫度一次。若為放熱反應，以最高溫為平衡溫度；若為吸熱反應，則以最低溫為平衡溫度。</p>	
		

結果 ① 強酸、強鹼溶液混合前，其平衡時的溫度為 18.0°C 。

② 強酸、強鹼溶液混合後，各時間的溫度如表：

時間 (秒)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	時間 (秒)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
5	20.3	35	23.7
10	21.2	40	23.9
15	22.1	45	24.0
20	23.0	50	24.1
25	23.3	55	24.1
30	23.5	60	24.1

因水溶液溫度上升，可知強酸與強鹼中和為放熱反應，最高溫度為 24.1°C ，溫度變化為 6.1°C 。

③ 中和熱 = $-100 \times 1 \times 6.1 = -610 \text{ cal}$ 。

④ 本實驗產生 0.05 mol 的水，莫耳中和熱（生成 1 mol 水放出的熱量）

$$= \frac{-610}{0.05} = -12200 \text{ cal/mol}。$$

2. 溶解熱的測量

① 將前次所使用的器具洗淨並擦乾備用。



② 用量筒量取 50.0 mL 蒸餾水加入保麗龍杯中，並放入溫度計，靜置數分鐘，待水溫不變時記錄其溫度。



③ 秤取約 5 g 的硝酸銨，並記錄實際秤得的重量，然後全部加入保麗龍杯中。



④ 蓋好杯蓋並插入溫度計，並以玻璃棒攪拌至硝酸銨全部溶解為止。攪拌期間每隔 15 秒 記錄溫度一次。若為放熱反應，以最高溫為平衡溫度，若為吸熱反應，則以最低溫為平衡溫度。



結果 ① 實際秤量的硝酸銨為 5.0 g ，蒸餾水於保麗龍杯中的溫度為 19.0°C 。

② 硝酸銨溶於水後，各時間的溫度如表：

時間 (秒)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	時間 (秒)	溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
15	18.0	90	13.5
30	17.5	105	13.0
45	16.5	120	12.8
60	15.0	135	12.8
75	14.0	150	13.0

因水溶液溫度下降，可知硝酸銨溶於水為吸熱反應，最低溫度為 12.8°C ，溫度變化為 6.2°C 。

③ 硝酸銨的溶解熱 = $55 \times 1 \times 6.2 = 341 \text{ cal}$ 。

④ 硝酸銨 NH_4NO_3 式量 = 80，5.0 g 相當於 $\frac{5}{80} \text{ mol}$ ，

$$\text{故硝酸銨的莫耳溶解熱} = \frac{341}{\frac{5}{80}} = 5456 \text{ cal/mol}。$$

範例 1 反應熱的測量

在「溶解熱的測量」實驗中，先以量筒量取 50.0 mL 的蒸餾水倒入保麗龍杯中，測得溫度為 20.0°C ，再將 5.0 g 硝酸銨完全加入其中，測得最低溫度為 10.0°C 。（ $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 80$ ，假設保麗龍杯不吸收也不放出熱量，水溶液比熱為 $1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ）

試問：

- (1) 硝酸銨溶解時吸熱或放熱？
- (2) 5.0 g 硝酸銨的溶解熱為多少 cal？
- (3) 硝酸銨的莫耳溶解熱為多少 kcal/mol？

答 (1) 吸熱 (2) 550 cal (3) 8.8 kcal/mol

解 (1) 因水溶液溫度下降，故為吸熱

$$(2) \Delta H = m \times s \times \Delta T = (50 + 5) \times 1 \times (20 - 10) = 550 \text{ cal}$$

$$(3) \text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ 莫耳數} = \frac{5}{80} \text{ mol}$$

$$\text{莫耳溶解熱} = \frac{0.55 \text{ (kcal)}}{\frac{5}{80} \text{ (mol)}} = 8.8 \text{ kcal/mol}$$

類題 1 素養

在「中和熱的測量」實驗中，將 1.0 M 鹽酸 50.0 mL 置入保麗龍杯中，另以量筒量取 1.0 M 氫氧化鈉溶液 50.0 mL，在兩溶液混合前，鹽酸於保麗龍杯中的溫度為 20°C ，而後將氫氧化鈉溶液倒入保麗龍杯中，蓋上杯蓋，並以玻棒攪拌之，每隔 5 秒記錄一次溫度，結果如下表所示。（假設保麗龍杯不吸收也不放出熱量，鹽酸與氫氧化鈉溶液混合時體積有加成性，水溶液密度為 1 g/mL ，比熱為 $1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ）

時間 (秒)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	20.5	21.4	22.3	23.1	24.0	25.8	26.5	26.7	26.7

試問：

- (1) 本實驗放出的熱量為多少 cal？
- (2) 莫耳中和熱為多少 cal/mol？

答 (1) 670 cal (2) -13400 cal/mol

解 (1) $\Delta H = m \times s \times \Delta T = (50 + 50) \times 1 \times (26.7 - 20) = 670 \text{ cal}$

(2) 0.05 mol 的鹽酸與 0.05 mol 的氫氧化鈉溶液反應可產生 0.05 mol 的水

$$\text{莫耳中和熱} = -\frac{670 \text{ (cal)}}{0.05 \text{ (mol)}} = -13400 \text{ cal/mol}$$



實驗 1 ▶ 即刻練習

基礎題

* 表多選題

D 1. 下列哪一種容器較適合用來測量酸鹼中和之反應熱？

(A) 玻璃燒杯 (B) 紙杯 (C) 瓷杯 (D) 保麗龍杯 (E) 不鏽鋼杯。

【104 學測】

1. 保麗龍杯相較於玻璃燒杯、紙杯、瓷杯和不鏽鋼杯，絕熱效果較佳，可減少反應過程中熱量的散失

素養 * ADE 2. 澄澄進行「溶解熱的測量」的實驗，先取 50 mL 的蒸餾水倒入卡計中，測量溫度為 20°C，再取 5 g 的硝酸鉀倒入卡計中，蓋上杯蓋，並以玻棒攪拌之，每隔 20 秒記錄一次溫度，測得最低溫度為 10°C。假設硝酸鉀水溶液的比熱為 4.2 J/g·°C，而卡計的吸放熱可忽略不計，試問下列敘述哪些正確？（式量：KNO₃ = 101）

(A) 保麗龍杯絕熱效果佳，可作為簡易卡計 (B) 硝酸鉀的溶解為放熱反應 (C) 硝酸鉀水溶液的熱量變化為 2100 J (D) 硝酸鉀水溶液的熱量變化為 2.31 kJ (E) 硝酸鉀的莫耳溶解熱約為 46.7 kJ/mol。

2. (B) 水溶液溫度下降，故知硝酸鉀的溶解為吸熱反應

$$(C)(D) \Delta H = m \times s \times \Delta T = (5 + 50) \times 4.2 \times (20 - 10) = 2310 \text{ J} = 2.31 \text{ kJ}$$

$$(E) \text{KNO}_3 \text{ 的莫耳溶解熱} = \frac{2.31 \text{ kJ}}{\frac{5}{101} \text{ mol}} \approx 46.7 \text{ kJ/mol}$$

素養 C 3. 有一暖暖包內含 100 mL 的水，暖暖包中另有一塑膠袋，內裝有 40 g 氯化鈣 (CaCl₂)。使用方法為稍微用力敲打暖暖包，使其中的塑膠袋破裂，讓氯化鈣與水混合後放出熱量。已知氯化鈣的溶解熱為 -82.8 kJ/mol，假設氯化鈣溶解所放出的熱量，完全由溶解後的水溶液所吸收，而水溶液的比熱為 4.2 J/g·°C。若在阿里山上，取出一個 5°C 的暖暖包打開使用，試問該暖暖包的溫度最高可升到約多少°C？(CaCl₂ = 111)

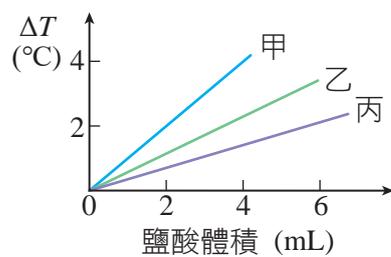
(A) 35 (B) 45 (C) 56 (D) 67 (E) 72。

$$3. \Delta H = m \times s \times \Delta T$$

$$82.8 \times 1000 \times \frac{40}{111} = (100 + 40) \times 4.2 \times (T - 5)$$

$$\Rightarrow T \approx 56^\circ\text{C}$$

- 素養** 4. 甲、乙、丙為三種不同濃度的鹽酸溶液，將不同體積的甲、乙、丙溶液分別和過量的強鹼水溶液混合，反應後之總體積皆為 10 mL。在反應完全後，所測得溶液之溫度變化 (ΔT) 如附圖所示，回答 (1)、(2) 題：



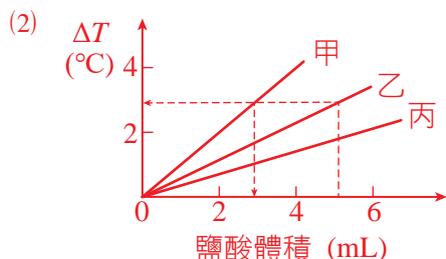
【101 學測】

- C** (1) 下列有關上述反應的敘述，何者錯誤？
 (A) 反應後，水溶液的溫度都升高 (B) 反應後，水溶液的 pH 值都大於 7.0 (C) 由反應可推知，此過量的強鹼水溶液為氫氧化鈉水溶液 (D) 反應前，甲、乙與丙三種鹽酸溶液的濃度大小順序為：甲 > 乙 > 丙 (E) 反應前，若甲溶液的體積為 4 mL，則反應後溫度約可增高 4°C。
- C** (2) 根據附圖，約多少 mL 的甲溶液與過量的強鹼水溶液反應後，其所產生之溫度變化，相當於 5 mL 的乙溶液與過量的強鹼水溶液反應，所產生的溫度變化？
 (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 (E) 5。

5. 已知強酸、強鹼的莫耳中和熱為 -13.4 kcal/mol ，某生用 100 mL 量筒量取 1.0 M 鹽酸 50.0 mL 置於保麗龍杯中，另用 100 mL 量筒量取 1.0 M 氫氧化鈉溶液 50.0 mL，加入氫氧化鈉溶液前，鹽酸於保麗龍杯中的溫度為 19°C 。（假設無熱量散失，混合水溶液的質量為 100 g，比熱為 $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ）

試問當兩溶液混合反應後：

- (1) 放出熱量多少 cal ? 670 cal
- (2) 水溶液的溫度最高可上升至多少 $^\circ\text{C}$? 25.7°C
4. (1)(A) 由圖可知，水溶液的溫度皆上升 (B) 鹽酸和過量的強鹼溶液混合後，必呈鹼性，故 pH 值都大於 7 (C) 條件不足，無法得知強鹼水溶液為何 (D) 由圖知，當鹽酸體積相同時，溫度變化：甲 > 乙 > 丙 \Rightarrow 生成水的莫耳數：甲 > 乙 > 丙，故鹽酸濃度：甲 > 乙 > 丙 (E) 由圖可知，當甲體積為 4 mL 時，溫度約上升 4°C



由圖可知，乙為 5 mL 時 $\Rightarrow \Delta T$ 為 $3^\circ\text{C} \Rightarrow$ 甲 3 mL

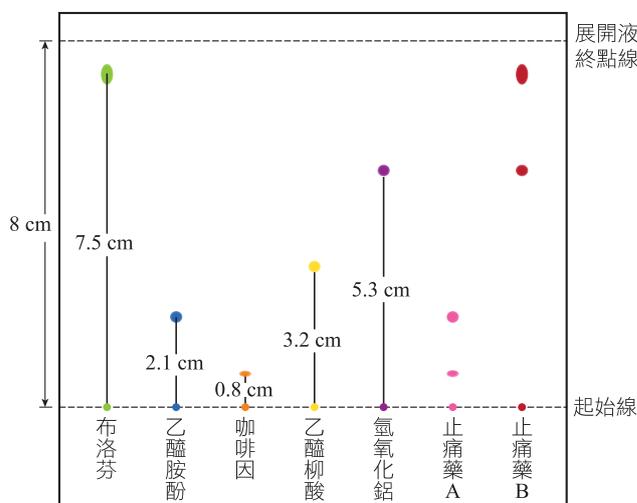
5. (1) 0.05 mol 的鹽酸與 0.05 mol 的氫氧化鈉溶液反應可產生 0.05 mol 的水，故可放出
 $13.4 \times 1000 \times 0.05 = 670 \text{ cal}$
- (2) $\Delta H = m \times s \times \Delta T$
 $670 = (50 + 50) \times 1 \times (T - 19)$
 $\Rightarrow T = 25.7^\circ\text{C}$



素養前哨站

1. 將五種標準品（布洛芬、乙醯胺酚、咖啡因、乙醯柳酸、氫氧化鋁）及二種市售止痛藥以甲醇溶解，分別點在 TLC 片起始線上，再以乙酸乙酯與正己烷的混合溶液作為展開液，得到附圖的層析結果。試問：

- (1) 哪一種標準品對 TLC 片的附著力最大？
- (2) 乙醯柳酸的 R_f 值為多少？
- (3) 止痛藥 A 所含的成分有哪些？
- (4) 止痛藥 B 所含的成分有哪些？



小題	作答區
(1)	咖啡因
(2)	0.4
(3)	乙醯胺酚、咖啡因
(4)	布洛芬、氫氧化鋁

2. 北宋沈括所著的《夢溪筆談》中提及「信州鉛山縣有苦泉，流以為澗，挹其水熬之，則成膽礬，烹膽礬則成銅，熬膽礬鐵釜，久之亦化為銅」，而西漢劉安所著的《淮南萬畢術》中亦有「曾青得鐵則化為銅」的敘述。試回答下列各題：

- (1) 「烹膽礬則成銅」的反應式包含有：



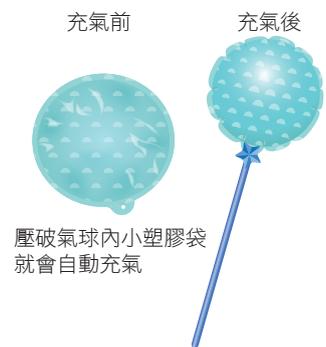
此兩反應所屬的反應類型為何？（化合、分解、置換）

- (2) 「熬膽礬鐵釜，久之亦化為銅」與「曾青得鐵則化為銅」為相同反應，試寫出其反應式，並判斷反應類型為何？（化合、分解、置換）

小題	作答區	
(1)	皆為分解	
(2)	$\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$	置換

3. 三國時，諸葛亮率軍南征至雲南西洱河，遇四口泉，其中一口為啞泉。時逢天氣炎熱，人與馬飲用了啞泉水後，竟個個無法言語。後來幸得一智者指教，復飲安樂泉水，隨即吐出惡涎，便能言語。後人分析原因，研判啞泉水含有硫酸銅，飲用後會使人噁心、嘔吐、腹瀉、言語不清，而安樂泉水則為石灰水，可與啞泉水產生沉澱反應，因此有解毒的功效。試寫出啞泉水與安樂泉水反應所產生的難溶性或微溶性物質有哪些？（以化學式作答）

4. 附圖所示為某自動充氣鋁箔氣球，內含有小蘇打 (NaHCO_3) 粉末與裝有檸檬酸 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 溶液的小塑膠袋，使用時只要將氣球中的小塑膠袋壓破，兩種物質就會發生反應產生二氧化碳，進而充滿氣球，而觸摸氣球表面時，發現溫度上升。該反應如下： $\text{NaHCO}_3 + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \rightarrow \text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_7 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ，試問下列相關敘述何者正確？



(A) 此反應屬於分解反應 (B) 此反應為氧化還原反應 (C) 此反應屬於放熱反應 (D) 此氣球應可漂浮於空氣中 (E) 25°C 、 1 atm 下，若氣球中裝有 6.3 g 的小蘇打粉末與 1.0 M 、 100 mL 的檸檬酸溶液，完全反應後可得 2450 mL 的二氧化碳。

題號	作答區										
3.	$\text{Cu}(\text{OH})_2$ 、 CaSO_4										
4.	<table border="0"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	A	B	C	D	E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A	B	C	D	E							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							

1. (1) 對 TLC 片的附著力最大，則移動距離最短，故為咖啡因

$$(2) \frac{3.2}{8} = 0.4$$

(3)(4) 比對標準品的層析結果即可得知

2. (1) 皆屬於 $\text{XY} \rightarrow \text{X} + \text{Y}$ (2) 屬於 $\text{A} + \text{XY} \rightarrow \text{X} + \text{AY}$

3. 反應式為： $\text{CuSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4$

4. (A) 此反應不符合 $\text{XY} \rightarrow \text{X} + \text{Y}$ ，不為分解反應

(B) 此反應各原子氧化數均不改變，不為氧化還原反應

(C) 氣球溫度上升，故為放熱反應

(D) CO_2 分子量為 44，較空氣平均分子量 28.8 大，故無法漂浮於空氣中

(E) $\text{NaHCO}_3 : \frac{6.3}{84} = 0.075\text{ mol}$ (限量試劑)、 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 : 1 \times 0.1 = 0.1\text{ mol}$ ，完全反應可產生 0.075 mol 的 CO_2 ， 25°C 、 1 atm 下，相當於 $0.075 \times 24.5 \times 1000\text{ mL} = 1837.5\text{ mL}$