

在酸性溶液中過氧化氫與碘離子反應的總級數（時鐘反應）

學生工作紙

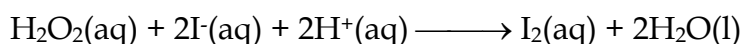
目的

測定 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 與 $\text{I}^-(\text{aq})$ 在酸性溶液的反應中，下列各反應物的反應級數。

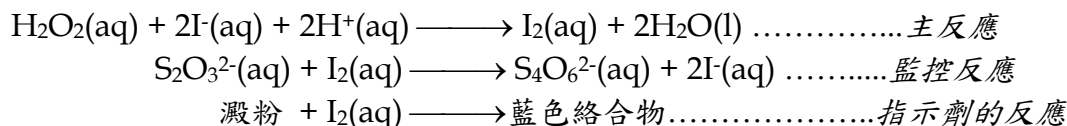
1. $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 、
2. $\text{I}^-(\text{aq})$ 和
3. $\text{H}^+(\text{aq})$ 。

簡介

以下反應的速率可藉加入分量少且同等的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 和澱粉指示劑來研習，



即



從以上各反應方程式可知，若混合液中含有 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 離子，從主反應生成的 $\text{I}_2(\text{aq})$ 離子都會即時與之反應，不會使澱粉指示劑變色。當所加入的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 離子用完後，新生成的 $\text{I}_2(\text{aq})$ 離子便會立即使澱粉指示劑變深藍色。

因此，在混合 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 、 $\text{I}^-(\text{aq})$ 、 $\text{H}^+(\text{aq})$ 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 和澱粉指示劑的初期，不會有任何可見變化，但一段時間後，反應混合物會突然變為深藍色。從溶液混合至呈現藍色所需的時間，取決於加入的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 分量，即加入的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 愈多，溶液出現藍色所需的時間愈長。因此， $\text{I}_2(\text{aq})$ 與 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 的反應稱為監控反應，因為它控制著溶液呈藍色所需的時間。

凡可運用上述原理來研習的化學反應，統稱為「時鐘反應」。若用碘來指示反應時間，稱為「碘時鐘反應」；同理，若用溴來指示的，稱為「溴時鐘反應」。

溶液呈現藍色所需的時間(t)顯示從主反應生成一定量碘需要的時間，因此 $1/t$ 與 $\text{I}_2(\text{aq})$ 的生成速率成正比，而與 $\text{I}^-(\text{aq})$ 或 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 的濃度減少速率亦成正比。若所加入的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 愈少，則 $1/t$ 值就會愈接近主反應的起始速率，因此實驗中必須使用少量的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ 。

在測定 $\text{I}^-(\text{aq})$ 的反應級數時，可保持 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 和 $\text{H}^+(\text{aq})$ 的濃度不變，並按 1:2:4:8 比例來改變 $\text{I}^-(\text{aq})$ 的濃度。比較每次實驗的 $1/t$ 值，如果所得 $1/t$ 的值均依次加倍，則 $\text{I}^-(\text{aq})$ 的反應級數是 1；若該值保持不變，則 $\text{I}^-(\text{aq})$ 的反應級數是 0。用同樣的方法改變 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 和 $\text{H}^+(\text{aq})$ 的用量便可以測定 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ 和 $\text{H}^+(\text{aq})$ 的反應級數。

安全措施

避免讓皮膚沾上化學品。



必須戴上安全眼鏡

儀器和物料

下列各溶液約 20 cm³，並用有標籤的膠瓶盛載：

1.50 % H₂O₂(aq)



刺激性

0.60 M H₂SO₄(aq)、0.60 M KI(aq)、0.08 M Na₂S₂O₃(aq)、澱粉指示劑、去離子水。

兩個堅硬的八孔井穴條（圖 1）、微量膠滴管、計時器、微型刮勺。

實驗步驟

甲部：碘離子的反應級數

1. 用乾淨的微量膠滴管，分別在一個八孔井穴條 A 的前四個井穴中，加入以下溶液各一滴：1.5 % H₂O₂(aq)、0.6 M H₂SO₄(aq)和澱粉溶液，即每個井穴都有三滴溶液。
2. 另取一八孔井穴條 B，在前四個井穴中，用乾淨的微量膠滴管各加入一滴 0.08 M Na₂S₂O₃(aq)。
3. 在井穴條 B 的第一個井穴中再加入一滴 0.6 M KI(aq)，在第二個井穴加入兩滴 0.6 M KI(aq)，在第三個井穴加入四滴 0.6 M KI(aq)，而在第四個井穴則加入八滴 0.6 M KI(aq)。又把七滴去離子水加入第一個井穴中，六滴去離子水加入第二個井穴中，四滴去離子水加入第三個井穴中，使每個井穴內均混合有九滴溶液（見甲表）。
4. 用微型刮勺攪拌每個井穴內的混合液。
5. 把井穴條 B 倒置於井穴條 A 之上，並對準兩者的前四個井穴。
6. 用橡皮圈把井穴條 A 和井穴條 B 的兩端縛緊固定。用手握緊井穴條 A 和井穴條 B 的底部（見圖 2），然後重複地把它們上下搖動，確保溶液徹底混合（「搖落」技術），並同時啟動計時器。
7. 重複地把井穴條 A 和井穴條 B 上下搖動，並留心觀察溶液何時轉為深藍色，記錄各個井穴內溶液轉為深藍色所需的時間。
8. 用去離子水徹底清洗井穴條，並把井穴內的水份去除。

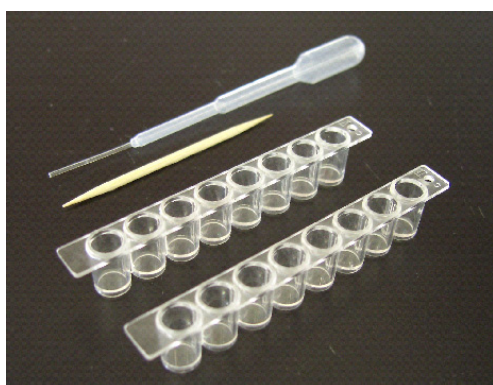


圖 1

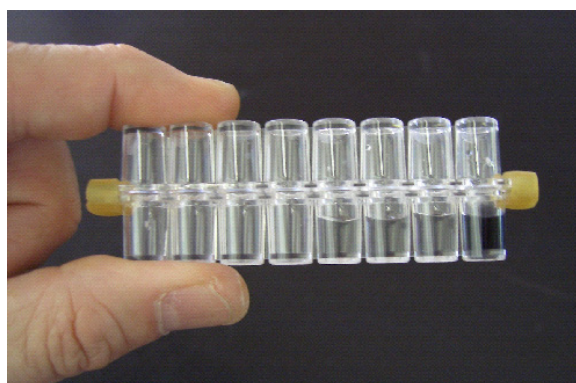


圖 2

甲表

溶液分量(滴)						
井穴條 A				井穴條 B		
井穴	H ₂ O ₂ (aq)	H ₂ SO ₄ (aq)	澱粉	I ⁻ (aq)	H ₂ O(l)	0.08M S ₂ O ₃ ²⁻ (aq)
1	1	1	1	1	7	1
2				2	6	
3				4	4	
4				8	0	

乙部：H₂O₂(aq)的反應級數

9. 依照乙表所示的分量，重複實驗步驟 1 至 8。

乙表

溶液分量(滴)						
井穴條 A				井穴條 B		
井穴	I ⁻ (aq)	0.08M S ₂ O ₃ ²⁻ (aq)	澱粉	H ₂ O ₂ (aq)	H ₂ O(l)	H ₂ SO ₄ (aq)
1	1	1	1	1	7	1
2				2	6	
3				4	4	
4				8	0	

丙部：H⁺(aq)的反應級數

10. 依照丙表所示的分量，重複實驗步驟 1 至 8。

丙表

溶液分量 (滴)						
井穴條 A				井穴條 B		
井穴	I ⁻ (aq)	0.08 M S ₂ O ₃ ²⁻ (aq)	澱粉	H ₂ SO ₄ (aq)	H ₂ O(l)	H ₂ O ₂ (aq)
1	1	1	1	1	7	1
2				2	6	
3				4	4	
4				8	0	

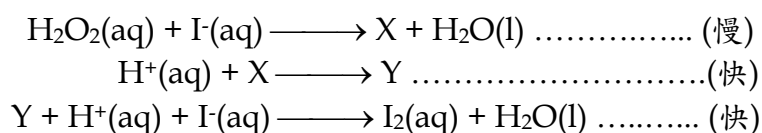
實驗結果

變項	相對濃度	t (s)	相對起始速率 $1/t$ (s ⁻¹)	推測反應 級數
[I ⁻ (aq)]	1			
	2			
	4			
	8			
[H ₂ O ₂ (aq)]	1			
	2			
	4			
	8			
[H ⁺ (aq)]	1			
	2			
	4			
	8			

註：若某一反應物的濃度因加倍而令起始速率倍增，則這反應物的反應級數是 1。

思考題

1. 利用圖線輔助，說明「起始速率」的意義。
2. 為甚麼 t 的值必須小才可以獲得起始速率？
3. 為甚麼選用反應的起始速率而非其他時段的速率（即瞬時速率）來進行測定？
4. 為甚麼加入反應混合物中 S₂O₃²⁻(aq) 的量必須少？
5. 根據各反應物的級數，寫出反應的速率方程。
6. 主反應的反應機理由以下三個基元步驟組成：



X 和 Y 應會是甚麼化學物種才會令上述決速步的速率表示式與實驗所得的速率方程一致？