

有趣的化學實驗 ----- 神奇的碘化鉀

邱一峰* 林承遠* 施祐融*

邱靜澄** 何金昭*** 徐宜廷*** 張毓禎***

* 國立嘉義高級中學

** 國立嘉義女子高級中學

*** 嘉義市立北興國民中學

碘化鉀是實驗室中常見的化學藥品，碘離子容易被氧化成碘分子，再和碘離子結合成三碘離子。碘分子也易被還原成碘離子，彼此間會有明顯的顏色變化。加上碘化鉀的溶解度極高，在高濃度時和硝酸鉛溶液反應會有不同的變化。加上實驗本身極具震撼性而且可以重複操作，不會造成太多鉛離子的污染。

實驗一：清涼一下

(一)藥品與器材

燒杯(250mL)	1個
溫度計	1隻
玻璃棒	1隻
量筒(50mL)	1個
碘化鉀(KI)	75克
電動天平	
蒸餾水	

(二)實驗步驟

- 1.量 50mL 蒸餾水倒入燒杯中，用溫度計測量水的初溫。
- 2.利用電動天平每次稱 5g KI，放入蒸餾水

中，利用玻璃棒攪拌直到完全溶解。

- 3.同步驟 2，一直加入 KI 直到飽和溶液為止，並記錄每次加入後的溫度。
- 4.將沈澱未溶的 KI 過濾稱重，算出飽和 KI 的濃度。

(三)實驗結果與討論

- 1.當 KI 加到 75g 時，燒杯底有未溶解的 KI 沈澱，過濾烘乾後殘留的 KI 為 4.17g，溶液在達到飽和之前，加入 KI 的溶解過程中，溫度呈現等差下降，當加入 KI 量超過 40g 時，下降的溫度會越來越少，最後達到平衡（見圖 1）。

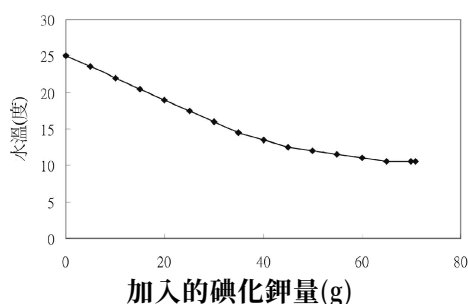


圖 1.溶化的碘化鉀量與水溫下降曲線

2. KI 為中性鹽類溶於水時為了趨於最大亂度，必須吸收熱量，導致水溫下降，燒杯

壁凝結了許多水珠。溶解 35g KI_(s) 之前溫度下降具有正比的規律性，溶解大於 35g 時，因放置時間較久和室溫有了熱的交互作用，導致下降的溫度差較小。

3. 由於未溶解的 KI 有 4.17g，所以共溶解 70.83g KI，飽和溶液的濃度為 8.4M。
4. 本實驗所調配的飽和碘化鉀是為了下面幾個實驗所調配的，而且可以和實驗二形成強烈對比實驗，加深實驗者概念。

實驗二：HOT 到最高點

(一)實驗器材

錐形瓶(250mL)	1個
飽和 KI 溶液	
溫度計	1隻
雙氧水(35%)	1罐
量筒(50mL)	1個
鐵架附廣用夾及鐵環	1組
量筒(10mL)	1個
滴管	2隻

(二)實驗步驟

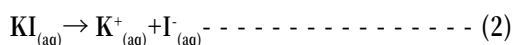
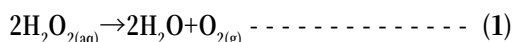
1. 量取 25 mL 35% H₂O₂ 放入錐形瓶中，並且固定在鐵架上，量取 H₂O₂ 的初溫。
2. 量取 2mL 飽和 KI 溶液，迅速倒入錐形瓶中，每隔 30 秒測量一次溫度，並記錄溶液顏色變化。
3. 本實驗為劇烈反應，要小心操作，不要太靠近錐形瓶口。

(三)實驗結果

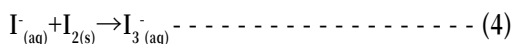
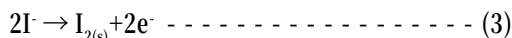
1. 國中理化第一冊「氧氣的製造」實驗中，

告訴我們 H₂O₂ 在二氧化錳催化下會產生大量的氧氣，而催化劑在反應中，提供新的反應途徑，最後仍以 MnO₂ 存在，但是整個反應過程中由溶液顏色變化觀察不出 MnO₂ 如何參與反應。

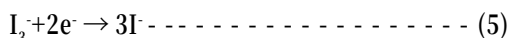
2. 利用 KI 為催化劑時，就可以利用 KI 的氧化還原反應時顏色不同加以辨認。反應機構如下：



(無色)



(褐色)



3. KI 溶液和 H₂O₂ 的反應，因 H₂O₂ 為弱酸性，會讓部分 I⁻ 先進行氧化反應，見反應機構(3)，而產生的 I₂ 再和 I⁻ 結合成褐色的 I₃⁻，見反應機構(4)，再來反應機構(3)中釋放出來的 e⁻，提供 I₃⁻ 進行還原反應而再出現無色的 I⁻，參見反應機構(5)。

4. 由於反應機構(1) 為劇烈的氧化還原反應，會釋放出大量熱，導致溫度 HOT 到最高點(96°C)。KI 在氧化和還原反應交替時，溫度沒有明顯變化，但是當進行還原反應時溫度又急遽上升(見圖 2)。

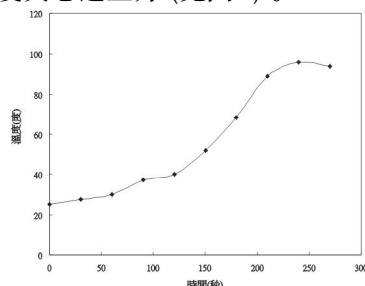


圖 2. 飽和碘化鉀溶液和雙氧水反應溫度變化

曲線

實驗三：我讓鐵釘生銹了

(一)實驗器材

鐵釘1分	5隻
雙氧水(35%)	4mL
飽和KI _(aq)	3mL
試管	5隻
濾紙	5張
試管夾	1隻
電動天平	
滴管	3隻
試管架	1組
砂紙	1張

(二)實驗步驟

- 1.利用砂紙將鐵釘生銹地方加以磨亮並稱重。
- 2.取5隻試管依次為空試管(對照組)，2mL 蒸餾水，2mL 35% H₂O₂，2mL 飽和KI 溶液，2mL 35% H₂O₂，並各放入1隻鐵釘，貼標籤紙加以辨識。
- 3.第5隻試管(2mL 35% H₂O₂)用試管夾夾著，滴入一滴飽和KI 溶液，記錄反應情形。
- 4.這5隻試管放置在試管架上，2日後利用濾紙過濾、烘乾後稱重，記錄鐵釘總重量變化。

(三)實驗結果與討論

- 1.整個實驗過程中，第5隻試管的鐵釘質量增加最多，其次是對照組的鐵釘，飽和碘化鉀溶液中的鐵釘質量沒有改變，但是雙氧水中的鐵釘質量不但沒有增加反而減少

(見圖 3)。

- 2.鐵釘生銹是因為鐵與氧結合成三氧化二鐵，H⁺及H₂O會加速鐵的生銹，所以自然狀態下的鐵釘生銹是一種緩和的氧化作用。
- 3.雙氧水本身是弱酸性，鐵的氧化能力大於氫，促使鐵釘表面和H⁺作用，導致表面更光亮，而且鐵釘的重量也因鐵離子的形成以致重量減輕。
- 4.H₂O₂與KI_(aq)作用會產生O₂，並釋放出大量的熱，造成生銹反應及碘化鐵的加速形成，反應式如下：(見封底圖(甲))

$$4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$$
(紅褐色)

$$\text{Fe}_3^{+} + 3\text{I}^{-} \rightarrow \text{FeI}_3$$
(黃褐色)
- 5.當H₂O₂完全作用完時，鐵釘上也就銹斑點，前後總共花費2分45秒，速度相當迅速。

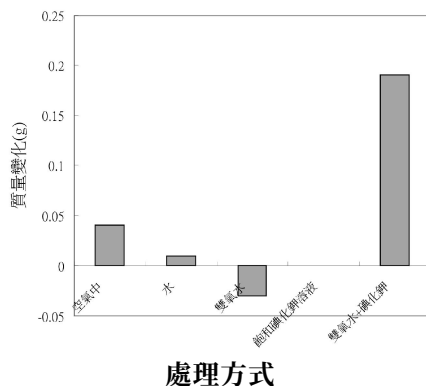


圖 3.不同處理方式鐵釘的質量變化(g)

實驗四：運動飲料變可樂

(一)藥品與器材

運動飲料

1瓶

燒杯(250mL)	1個
雙氧水(35%)	10mL
碎冰	一大匙
飽和KI _(aq)	3mL
量筒(10mL)	1隻
量筒(100mL)	1隻
燒杯(50mL)	1個

(二)實驗步驟

- 1.先量取 3mL 飽和 KI 溶液倒入 250mL 燒杯中，並加以晃動使溶液附著在燒杯壁上。因為 KI 溶液是透明無色，所以燒杯就像剛洗過一般，殘留有部分水份。
- 2.量取 50mL 運動飲料倒入燒杯中，搖動幾下讓運動飲料和 KI 溶液混合。
- 3.事先將 10mL 35% H₂O₂ 和碎冰混合在 50mL 燒杯中，因碎冰溫度低，H₂O₂ 就不易產生氣泡，只像一般熔化的冰水。
- 4.將一大匙混有 H₂O₂ 的碎冰倒入燒杯中，靜置 1 分鐘，會冒泡的可樂就可以形成。

(三)實驗結果與討論

- 1.本實驗也是利用氧化還原反應的原理，和本刊第 144 期方金祥教授所提出的『汽水變可樂，可樂變汽水』實驗理論相近，多了氣體產生的視覺效果，氣體由少而增加，更具有震撼力。
- 2.由於運動飲料大多為弱酸性，H⁺ 量愈多可延緩 I₃⁻ 被還原成 I⁻，溶液便可延長深褐色的停留時間，H₂O₂ 被氧化產生的 O₂，也因為溫度下降反應速率變慢而緩緩釋出。
- 3.當溫度恢復至室溫時，還原反應繼續進

行，最後又可回復運動飲料的顏色，由於 I⁻ 仍然存在，所以可以重覆使用。

實驗五：變色龍

(一)實驗器材

培養皿	1個
KI	少許
飽和KI溶液	5mL
飽和Pb(NO ₃) ₂ 溶液	1mL
試管	3隻
微量滴管(1mL)	2隻
燒杯(250mL)	1個
酒精燈	1個
三腳架	1個
陶磁纖維網	1個
研鉢和杵	1組
蒸餾水	5mL
乳頭滴管	1隻
烘箱	
電動天平	

(二)實驗步驟

- 1.荷包蛋：
 - (1)稱取 0.08g KI 晶體集中置放在培養皿的正中間。
 - (2)利用微量滴管量取 0.1 mL 飽和 Pb(NO₃)₂ 溶液加入 9.9 mL 蒸餾水稀釋。
 - (3)用乳頭滴管吸取稀釋 100 倍的 Pb(NO₃)₂ 溶液，滴 2 滴 Pb(NO₃)₂ 在培養皿的 KI 上。
 - (4)待 KI_(s) 全部溶解後，然後在溶液正中間再用乳頭滴管滴 1 滴飽和 Pb(NO₃)₂ 溶液即可。

2. 蛋花湯：

- (1) 取 1 隻試管倒入 3 mL 飽和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液。
- (2) 用微量滴管吸取 0.2 mL 飽和 KI 溶液，迅速滴入試管中即可。

3. 黃金雨：

- (1) 量取 0.2 mL 飽和 KI 溶液倒入試管中，另外量取 4 mL 飽和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液加入試管中。
- (2) 將試管放入燒杯中隔水加熱至沸騰。
- (3) 迅速將試管內溶液過濾，濾液倒回試管中，立即可以看到片片亮晶晶黃色的碘化鉛沉澱。過濾後的濾紙放入烘箱中乾燥備用。

4. 愈磨愈亮：

- (1) 將黃金雨乾燥後的 PbI_2 放入研鉢中研磨。
- (2) 待有亮片形成時，繼續輕輕研磨即可看見會反光像鏡子的結晶。

5. 我把碘化鉛溶解了：

- (1) 取 1 隻試管裝 1 mL 飽和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，再利用微量滴管每次加入飽和 KI 溶液 0.18 mL 直到加入量達 4.32 mL，並輕輕搖晃試管，讓溶液均勻混合，並記錄試管中沈澱物顏色。
- (2) 將上述試管中溶液利用乳頭滴管吸取蒸餾水，然後每次滴入 1 滴至試管中，記錄試管內變化。

(三) 實驗結果與討論

1. 荷包蛋：

- (1) 由於使用 KI 晶體，滴入 2 滴稀釋的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液使得溶解的 KI 濃度高，所以一開始產生的黃色 PbI_2 和 KI 再結合形成白色

的 $\text{K}[\text{PbI}_3]$ 。

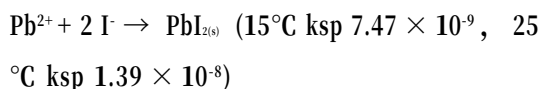
- (2) 再滴入的 1 滴飽和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液和 KI 溶液又結合成黃色的 PbI_2 ，使形成外白內黃的『荷包蛋』。(見封底圖(乙))

2. 蛋花湯：

由於使用飽和 KI 溶液和飽和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 溶液作用，使得膜狀物在溶液中懸浮，好像媽媽煮的蛋花湯。(見封底圖(丙))

3. 黃金雨：

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和 KI 會產生溶解度極低的 PbI_2 沈澱，反應式如下：



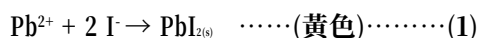
由於溫度升高，加上使用飽和溶液，離子濃度很高，使得 PbI_2 溶解度增加，當溫度下降時溶解度下降，片狀的 PbI_2 從溶液中逐漸析出而沈澱下降，就好像在下『黃金雨(gooden rain)』一般。(見封底圖(丁))

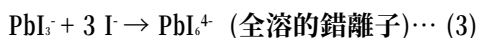
4. 愈磨愈亮：

$\text{PbI}_{2(s)}$ 在研磨過程中使得結晶粉碎，再經外力作用又結合成亮晶晶的鏡面結晶。(見封底圖(戊))

5. 我把碘化鉛溶解了：

Pb^{2+} 和 I^- 的反應在一般使用濃度較低時只能見到 PbI_2 的沈澱，但是在飽和濃度時，變化就多采多姿，由 KI 的莫耳數主導整個反應的顏色變化。KI 莫耳數增加時，顏色就會由黃變白再變全部溶解，依次進行反應機構(1)，(2)，(3)，滴入蒸餾水會降低 KI 的濃度，則又有回復有黃色或白色沉澱的現象(見表一)，反應式如下：





表一 不同莫耳比例的 KI 溶液和 1mL 飽和 Pb (NO₃)₂ 溶液反應

加入的飽和 KI 體積(mL)	試管內變化
0.18	黃色沈澱
0.36	黃色沈澱
0.54	黃色沈澱，下層有一些白色沈澱
0.72	上層黃色下層白色沈澱增加
0.9	上層黃色下層白色沈澱增加
1.08	上層黃色沈澱，剩一些下層白色沈澱
1.26	下層白色沈澱，上層黃色
1.44	下層白色沈澱，上層黃色
1.62	下層白色沈澱，上層黃色
1.8	下層白色沈澱，上層黃色
3.24	完全溶解，澄清液體
4.32	完全溶解，澄清液體
再加 1 滴 H ₂ O	液面處黃色沈澱轉成白色
再加 2 滴 H ₂ O	黃色沈澱增加
再加 3 滴 H ₂ O	上層黃色下層白色

結論

(一)本篇實驗可以學習到的概念

- 1.中性鹽類溶於水是吸熱反應。
- 2.劇烈的氧化還原反應會釋放高熱。
- 3.利用 I⁻、I₂、I₃⁻ 之間的轉換，了解催化劑參與反應的機制。
- 4.高熱、酸性溶液和充足氧氣會讓鐵釘迅速生鏽。
- 5.利用碘的氧化還原反應所產生的顏色變化及雙氧水釋放氧氣，製造出『可樂』的假象。
- 6.高溫使碘化鉛的溶解度上升，降低溫度會使碘化鉛晶體的溶解度下降而沉澱。
- 7.飽和溶液的化學反應比一般低濃度溶液更容易形成錯離子。
- 8.碘化鉛晶體雖為化合物，在外力作用下，

結晶的排列方式會改變。

(二)所有實驗具有連貫性，而且碘化鉛沉澱可以回收重覆使用，不用害怕重金屬的污染，整個實驗流程需要二小時。

誌謝

感謝成功大學化學系卓靜哲教授對本實驗理論上的指導。

參考資料

- 1.林敬二 編著 (民 81) 化學大辭典，高立圖書公司。
- 2.邱一峰 (民 88) 千面人反應，國際科學展覽香港正選代表作品。
- 3.林承遠、洪嘉凌、鄭媛尹 (民 89) 晶變—碘化鉛的結晶，嘉義市科學展覽作品。
- 4.施佑融 (民 90) 變色龍—碘化鉛離子的反應，國際科學展覽作品。
- 5.國立編譯館編著 (民 88) 國中選修理化第三冊。
- 6.國立編譯館編著 (民 88) 國中選修理化第一冊。
- 7.方金祥 (民 81) 有趣的理化實驗 - 汽水變可樂，可樂變汽水，本刊，第 144 期，69 73 頁。
- 8.Adolf Cortel (1997) Equilibrium with fried eggs of PbI₂ and PbI₃, J. Chem. Edu.74 (3), 297。