

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 化學科

佳作

050207

解密 K-探討  $\text{CuSO}_4 + \text{NaI}$  的平衡常數

學校名稱： 國立宜蘭高級中學

作者：	指導老師：
高二 文睿遠	游春祥
高二 楊東霖	林揚閔
高二 陳彥宇	

關鍵詞： 平衡常數、氧化還原、錯合物

## 摘要

本實驗想要研究CuSO<sub>4</sub>與NaI混合反應之平衡常數，首先，藉由CuSO<sub>4</sub>與NaI不同比例混合後的反應現象，了解反應進行的狀況。接著，分別嘗試測量平衡方程式： $2\text{Cu}^{2+} + 5\text{I}^- = 2\text{CuI}$ (白色) +  $\text{I}_3^-$  特定物質的莫耳數，以便求出達平衡時，各物質的平衡濃度，解此求出平衡常數。

先後採用(1) CuI沉澱重量，(2)利用 $\text{I}_3^-$ 與NaOH的自身氧化還原反應，(3)  $\text{Cu}^{2+}$ 與Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和 $\text{I}_3^-$ 與Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的氧化還原反應，求出平衡濃度與平衡常數。

前兩個方法，均遭遇困難，目前使用第三種方法順利求得平衡常數約為 $2 \times 10^6$ 。

## 壹、研究動機

課本裡告訴我們，銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )與碘離子( $\text{I}^-$ )不生成沉澱反應，然而，我們實驗的結果發現，兩者發生反應，液體變為褐色，且生成白色沉澱，引起我們的興趣。

查資料後發現銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )與碘離子( $\text{I}^-$ )竟先後發生氧化還原、沉澱和錯合三個反應。首先，銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )與碘離子( $\text{I}^-$ )發生氧化還原反應，生成亞銅離子( $\text{Cu}^+$ )與碘分子( $\text{I}_2$ )，接著亞銅離子( $\text{Cu}^+$ )和碘離子( $\text{I}^-$ )生成碘化亞銅(CuI)沉澱，碘分子( $\text{I}_2$ )和碘離子( $\text{I}^-$ )錯合形成三碘錯離子( $\text{I}_3^-$ )。

由於高中介紹平衡常數計算的實驗，僅有比色法這個很傷視力的方法，因此，我們嘗試使用滴定來求出平衡常數，企圖取代比色法，成為求平衡常數更簡易的高中實驗。

## 貳、研究目的

- 一、觀察CuSO<sub>4</sub>和NaI不同莫耳比之反應現象，如是否發生顏色變化、或著是否生成沉澱物，藉此了解不同限量試劑時，反應的進行情形。
- 二、透過測量CuI沉澱重量找出，求出各物質的平衡濃度及平衡常數。
- 三、使用NaOH滴定反應後的澄清液，透過 $\text{I}_3^-$ 與NaOH的自身氧化還原反應，求出各物質的平衡濃度及平衡常數。
- 四、使用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>滴定CuSO<sub>4</sub>和NaI反應後的澄清液，透過Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>分別與 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{I}_3^-$ 反應，解聯立方程式後，求出各物質的平衡濃度及平衡常數。

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗所需之藥品與設備

#### (一)器材

試管	試管架	滴管	微量滴管	燒杯
容量瓶(500mL)	(容量瓶50mL)	刮杓	分度吸量管	安全吸球
玻棒	磁石	滴定管	錐形瓶	滴定管架
漏斗	濾紙			

#### (二)藥品

硫酸銅	碘化鈉	硫代硫酸鈉	氫氧化鈉	
-----	-----	-------	------	--

#### (三)設備

離心機	電子秤	加熱平台	超音波震盪機	吸濾瓶
烘箱				



圖一、二、三、過程中使用到的設備與器材(作者親自拍攝)



圖四、過程中使用到的藥品(作者親自拍攝)

## 肆、研究過程或方法

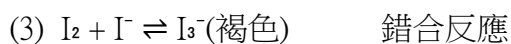
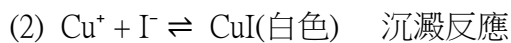
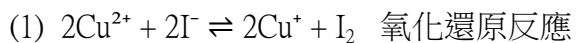
### 一、文獻探討

(一)所有反應的相關資料與公式：

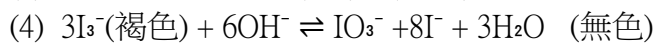
#### 1. 目標方程式



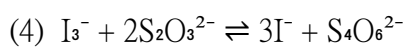
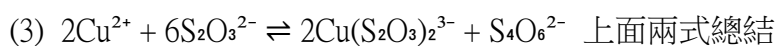
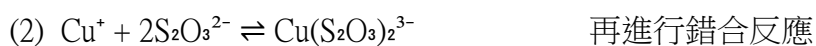
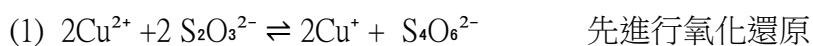
#### 2. 目標方程式包含的反應歷程方程式



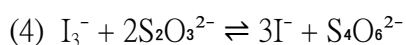
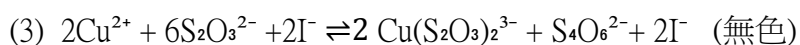
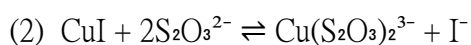
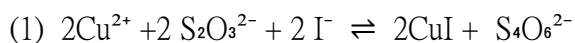
#### 3. 以NaOH滴定时，可能發生的反應式



4. 以 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 滴定时，預計發生的反應式

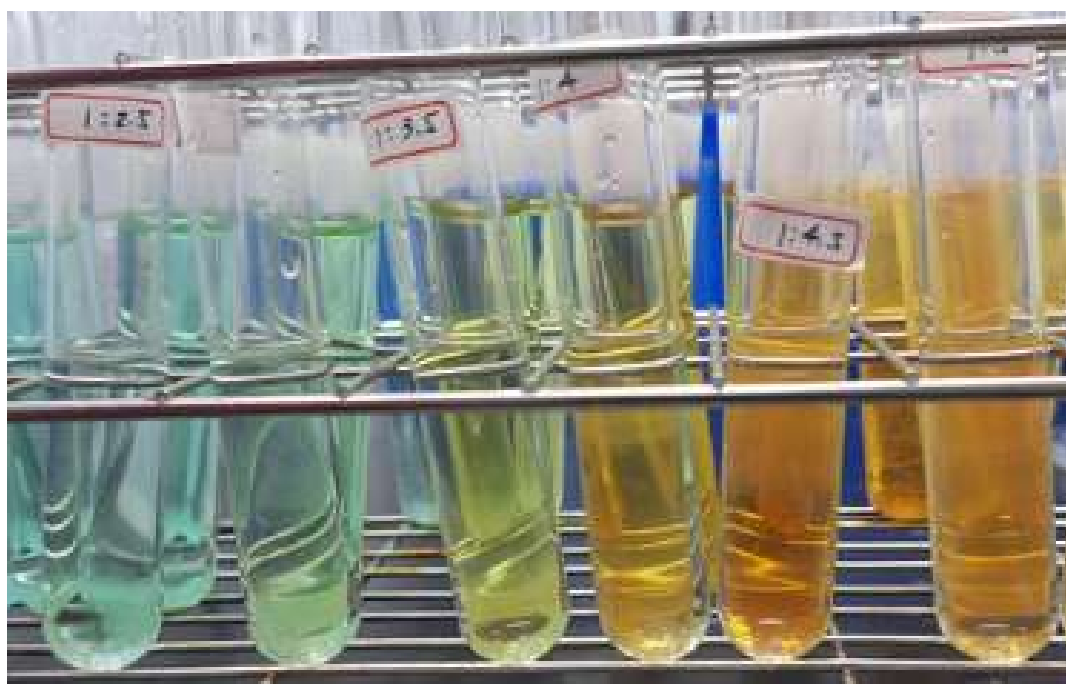


5. 以 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 滴定时，真實發生的反應式



二、提出假說：

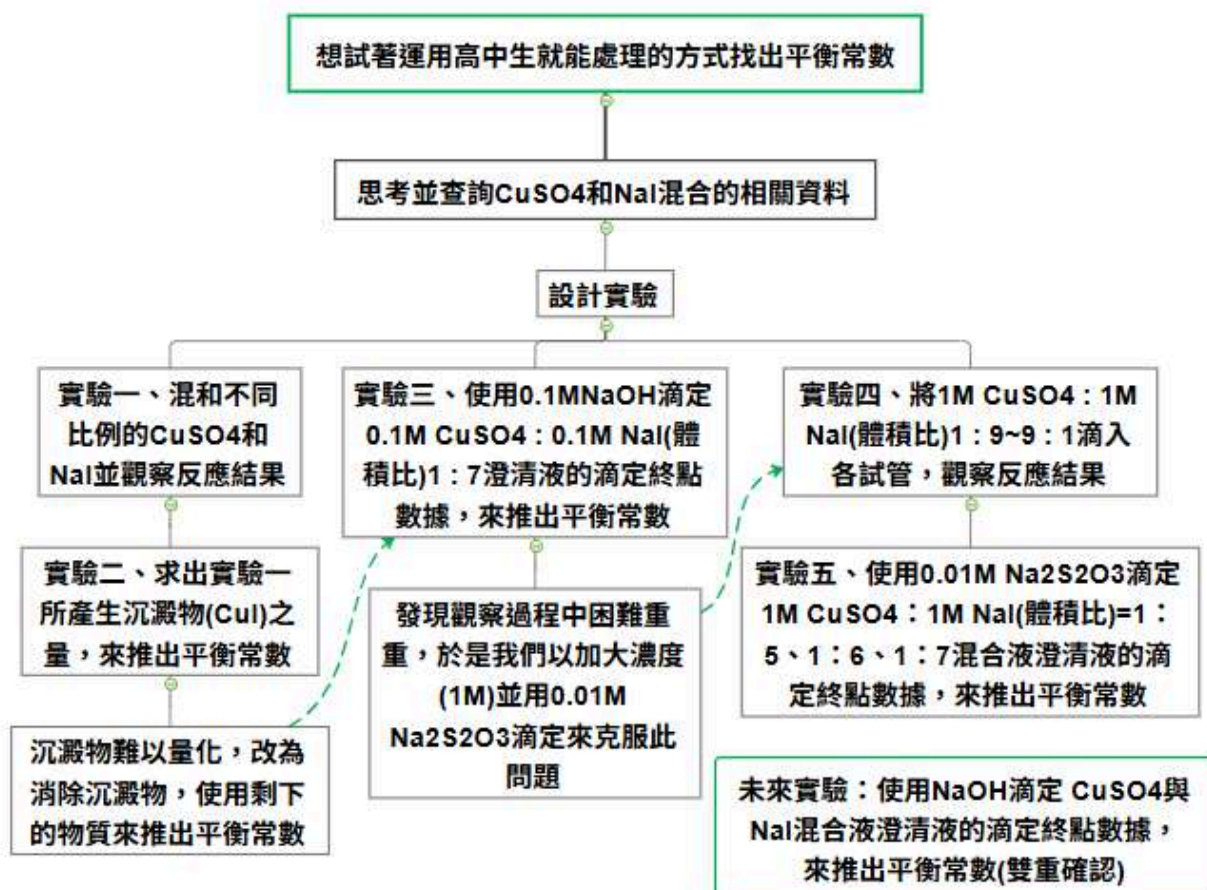
依據勒沙特列原理，我們認為當 $\text{CuSO}_4 + \text{NaI}$ 反應時， $\text{NaI}$ 的莫耳比越高，反應趨勢越傾向生成物， $\text{Cu}^{2+}$ 剩餘量愈少，使用 $\text{NaOH}$ 或 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 進行滴定时更容易經由變色判定滴定終點。



圖五、將 $0.1\text{M CuSO}_4 : 0.1\text{M NaI}$ (體積比) $1:2.5$ 、 $1:3$ …… $1:5$ 混和後之樣子(作者親自拍攝)

### 三、研究思考流程及設計證明實驗

#### (一)思考流程

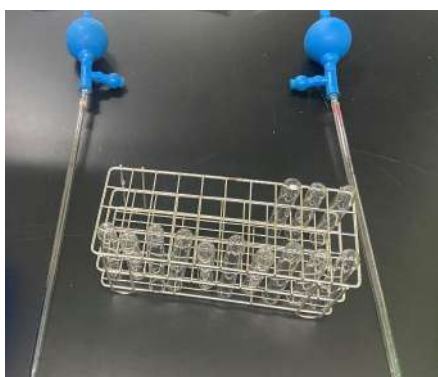


圖六、思考流程圖(作者親自製作)

#### (二)研究過程

##### [實驗一]探討CuSO<sub>4</sub>和NaI混合液的反應

- 1.實驗設計：將相同濃度的CuSO<sub>4</sub>和NaI，以不同體積比混合
- 2.實驗目的：觀察並記錄發生的現象，對產生的反應有基礎的了解
- 3.所有設備和裝置：



圖七、所有設備和裝置(作者親自拍攝)

#### 4.實驗步驟：

- (1)用試管刷將新試管 18 支配合洗碗精及蒸餾水洗過 3 到 4 遍
- (2)將分度吸量管2支使用蒸餾水清洗，再用待混合溶液潤洗
- (3)用分度吸量管將0.1M  $\text{CuSO}_4$  : 0.1M NaI(體積比)1 : 9、2 : 8、3 : 7 …… 9 : 1分別滴入各試管
- (4)全部滴完後再拍一張照，以觀察差異
- (5)此實驗重複 2 到 3 遍

### [實驗二]研究 $\text{CuSO}_4$ 和NaI反應沉澱物的重量

- 1.實驗設計：將 $\text{CuSO}_4$ 和NaI混合後測量沉澱物重量
- 2.實驗目的：觀察並測量反應沉澱物( $\text{CuI}$ )的重量，推出平衡常數
- 3.所有的設備和裝置：濾紙、烘箱、電子秤、抽濾裝置
- 4.實驗步驟：
  - (1)用試管刷將新試管數支，及錐形瓶配合洗碗精及蒸餾水洗過 3 到 4 遍
  - (2)將分度吸量管2支使用蒸餾水清洗，再用待混合溶液潤洗
  - (3)用分度吸量管將0.1M  $\text{CuSO}_4$  : 0.1M NaI(體積比)1 : 2加入錐形瓶( $\text{CuSO}_4$ 先NaI後)
  - (4)反應後將混合液透過抽濾瓶過濾2次，並以蒸餾水將濾紙上殘存的 $\text{I}_2$ 溶解
  - (5)觀察濾紙上的沉澱物，並用烘箱將水分去除後秤重
  - (6)此實驗重複 2 到 3 遍

### [實驗三]研究NaOH與 $\text{CuSO}_4$ 和NaI混合液之澄清液的滴定比例

- 1.實驗設計：將0.1M  $\text{CuSO}_4$ 和0.1M NaI混合液之澄清液用0.1M NaOH進行滴定
- 2.實驗目的： $3\text{I}_3^- (\text{褐}) + 6\text{OH}^- = \text{IO}_3^- + 8\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ 找出最終化學式及平衡常數
- 3.所有的設備和裝置：錐形瓶、滴定管、分度吸量管磁石加熱攪拌器、微量吸管
- 4.實驗步驟：
  - (1)用試管刷將新試管數支，及錐形瓶配合洗碗精及蒸餾水洗過 3 到 4 遍
  - (2)將分度吸量管2支使用蒸餾水清洗，再用待混合溶液潤洗
  - (3)分度吸量管將0.1M  $\text{CuSO}_4$  : 0.1M NaI(體積比)1 : 7加入錐形瓶( $\text{CuSO}_4$ 先NaI後)
  - (4)先離心一次將試管拿出，液體倒入新試管再離心一次
  - (5)使用微量滴管吸取澄清液中段2mL，滴入放入磁石的錐形瓶，使用微量滴管加入4mL 蒸餾水，放上磁石加熱攪拌器準備進行滴定
  - (6)將滴定管裝入0.1M NaOH，先排除底下氣泡，開始滴定
  - (7)待溶液變透明，停止滴定並記錄，此實驗重複數次

### [實驗四]探討1M $\text{CuSO}_4$ 和1MNaI混合液的反應

- 1.實驗設計：將1M  $\text{CuSO}_4$ 和1M NaI以不同比例混和
- 2.實驗目的：因先前的實驗中發現濃度較低時(0.1M)會因為到達滴定終點的量較少，因此不易觀察且誤差所造成的影響會比較大，於是我們以加大濃度(1M)來克服此問題
- 3.所有設備和裝置：與實驗一相同
- 4.實驗步驟：
  - (1)用試管刷將新試管 18 支配合洗碗精及蒸餾水洗過 3 到 4 遍
  - (2)將分度吸量管2支使用蒸餾水清洗，再用待混合溶液潤洗



- (3)用分度吸量管將1M  $\text{CuSO}_4$  : 1M NaI(體積比)1 : 9、2 : 8、3 : 7 …… 9 : 1滴入各試管
- (4)全部滴完後再拍一張照，以觀察差異
- (5)此實驗重複 2 到 3 遍

### [實驗五]研究 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 與 $\text{CuSO}_4$ 和NaI混合液之澄清液的滴定比例

- 1.實驗設計：將1M  $\text{CuSO}_4$ 和1M NaI混合液之澄清液使用0.01M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 進行滴定
- 2.實驗目的：找出最終化學式及平衡常數
- 3.所有的設備和裝置(作者親自拍攝)：



圖八、九、所有設備和裝置(作者親自拍攝)

#### 4.實驗步驟：

- (1)用試管刷將新試管數支，及錐形瓶配合洗碗精及蒸餾水洗過 3 到 4 遍
- (2)將分度吸量管2支與滴定管使用蒸餾水清洗，再用待混合溶液潤洗
- (3)用分度吸量管吸取1M  $\text{CuSO}_4$  : 1M NaI與蒸餾水依下表配置於A、B、C試管，充分反應後放入離心機，離心1分鐘

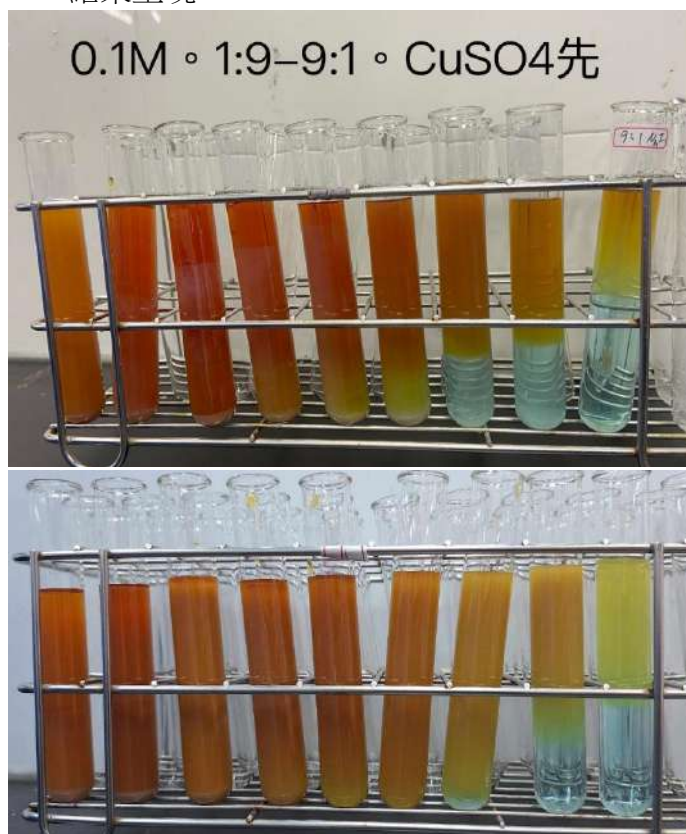
( $\text{CuSO}_4$ : NaI)	A試管(1 : 7)	B試管(1:6)	C試管(1:5)
1M $\text{CuSO}_4$	1mL	1mL	1mL
1M NaI	7mL	6mL	5mL
蒸餾水	0mL	1mL	2mL

- (4)將試管拿出，液體倒入新試管再離心一次
- (5)使用微量滴管吸取澄清液中段2mL，滴入放入磁石的錐形瓶，使用微量滴管加入4mL蒸餾水，放上磁石加熱攪拌器準備進行滴定
- (6)將滴定管裝入0.01M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ，先排除底下氣泡，開始滴定
- (7)待溶液變透明，停止滴定並記錄，此實驗重複數次

## 伍、研究結果

### [實驗一結果]

#### 一、結果呈現：



圖十、十一、0.1M  $\text{CuSO}_4$  : 0.1M  $\text{NaI}$ (體積比)1:9~9:1( $\text{CuSO}_4$ 先加)混和後的樣子(作者親自拍攝)

### [實驗一結果分析]

#### 一、顏色、樣子描述：( $\text{CuSO}_4$ : $\text{NaI}$ )

1 : 9	2 : 8	3 : 7	4 : 6	5 : 5	6 : 4	7 : 3	8 : 2	9 : 1
液體呈深橘，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體偏橘紅，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體紅偏橘，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體暗紅，底部有灰白沉澱，管壁些許沉澱	液體紅偏橘，底部有灰白沉澱，管壁些許沉澱	液體橘偏黃，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體黃偏橘，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	上半部橘黃，下半部淺藍，底部有灰白沉澱，管	上半部淺黃，下半部淺藍，底部有灰白沉澱，管






							壁無沉 澱	壁無沉 澱
--	--	--	--	--	--	--	----------	----------

- 1、當 $\text{CuSO}_4:\text{NaI}=9:1$ 時，由於銅離子莫耳數遠大於碘離子，沒有多餘的碘離子可以形成 $\text{CuI}$ 沉澱與 $\text{I}_3^-$ 錯離子，因此，沉澱與溶液的變色均不明顯。
- 2、當 $\text{CuSO}_4:\text{NaI}=1:9$ 時，由於銅離子限量，因此生成的 $\text{CuI}$ 沉澱與 $\text{I}_3^-$ 錯離子亦不明顯，但由於碘離子過量，可以順利與亞銅離子與碘分子進行反應，因此不論沉澱量或顏色均較 $\text{CuSO}_4:\text{NaI}=9:1$ 明顯
- 3、當兩者越趨近同時限量時，沉澱量最多，同時顏色相對較深

## [實驗二結果]

一、結果呈現(作者親自拍攝)：

		
圖十二、混合後剛倒入抽濾瓶的樣子(作者親自拍攝)	圖十三、使用蒸餾水將碘溶掉後的樣子(作者親自拍攝)	圖十四、超音波震盪(作者親自拍攝)

## [實驗二結果分析]

- 一、使用抽濾瓶放上濾紙過濾後發現過濾後的液體仍有沉澱的存在，難以精準量化沉澱的量
- 二、因此，我們改用了：

- (一)超音波震盪(但此方法無法去除浮在表層的沉澱物，所以放棄此方法)
- (二)離心後取中段液的方法來排除沉澱的物質，使用剩下的物質來推算平衡常數

## [實驗三結果]



圖十五、用 NaOH 滴定到一半的樣子(作者親自拍攝)  
樣子(作者親自拍攝)

圖十六、滴定完，離心後的

[實驗三結果分析]

- 一、滴定從一開始的褐色混合液以NaOH滴定漸漸變淺到混濁的黃色，最後變淡藍色
- 二、因為滴定終點不是為無色而是淡藍色，且不易辨認溶液是否已變澄清達滴定終點，所以最後我們改用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>去滴定

[實驗四結果]

- 一、結果呈現：



圖十七、1M CuSO<sub>4</sub>：1M NaI(體積比)1:9~9:1(CuSO<sub>4</sub>先加)混和後的樣子(作者親自拍攝)

[實驗四結果分析]

- 一、顏色、樣子描述：

1：9	2：8	3：7	4：6	5：5	6：4	7：3	8：2	9：1
液體褐色透黑，底部橘黃加灰白，兩層的沉澱，管壁少沉澱	液體黑色，底部橘黃加灰白加黑色，三層的沉澱，管壁少沉澱	液體黑色，底部橘黃加灰白，兩層的沉澱，管壁些許沉澱	液體褐色透黑，底部幾乎都是灰白沉澱，且管壁與底部沉澱最多	液體黑色，底部都是灰白沉澱，管壁些許沉澱	液體褐色透黑，底部都是黑色沉澱，管壁些許沉澱	液體褐色透黑和綠，底部幾乎都是黑色沉澱，管壁少沉澱	液體深綠色，底部灰白加黑色，兩層的沉澱，管壁少沉澱	液體上層深綠，中間以下墨綠，底部少許黑色沉澱，管壁無沉澱

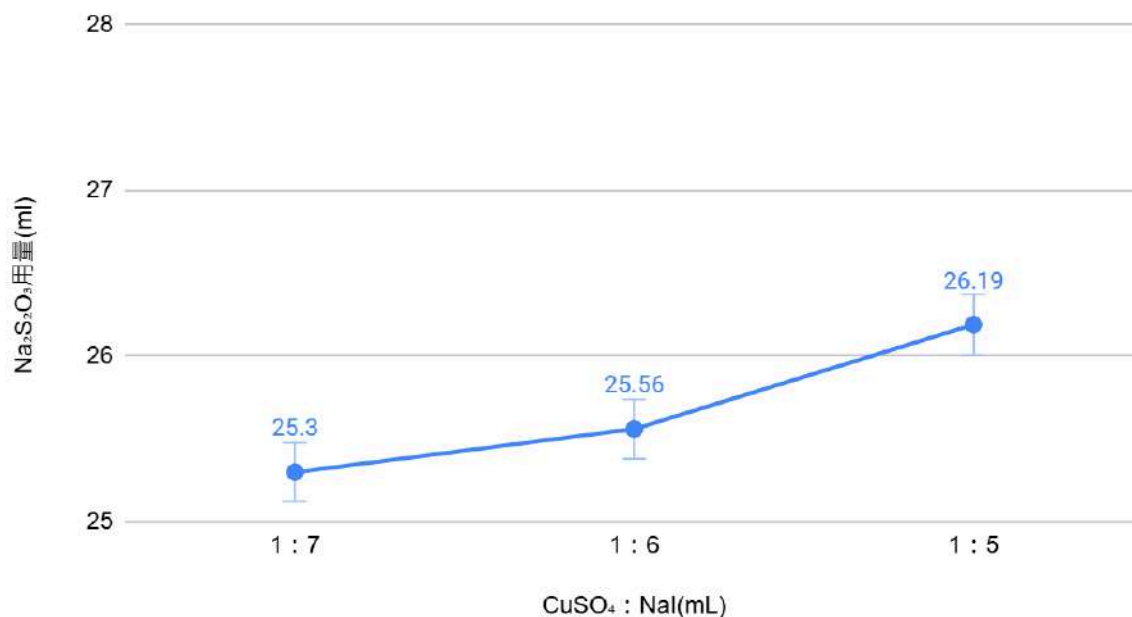
## [實驗五結果]

$\text{CuSO}_4 : \text{NaI}$		
1:7	1:6	1:5
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 用量 (ml) 26.4	25.4	26.8
22.5	24.8	27.2
24.5	24.6	27.9
26.8		26.3
24.2	24.8	25.6
21.6	22.9	23.2
27.6		26.3
28.8	26.2	24.2
25.4	23.6	27.5
26.6	27.8	24.1
22.6	27.4	25.2
24.5	26.6	26.7
24.2	23.5	28.2
24.7	27.3	27.2
25.6	27.2	26.9
25.8	25.2	25.8
25.3	26.8	26.2
	25.2	
	25.6	

圖十八、1M  $\text{CuSO}_4$  : 1M  $\text{NaI}$ (體積比) 1:7、1:6、1:5之混和澄清液使用0.01M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定的用量(作者親自繪製)

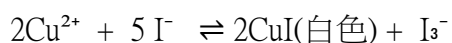
我們利用上圖整理出來的各十六筆數據算出平均，如下圖所示。

## 到達滴定終點時 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 用量



圖十九、平均滴定量(計算方式：去掉極端值取中間16筆數據取平均，上下兩槓為誤差值)(作者親自繪製)

以1M  $\text{CuSO}_4$  1mL+1M  $\text{NaI}$  7mL為例，混合後由於體積改變，因此反應前 $[\text{Cu}^{2+}] = 1/8 \text{ M}$ ， $[\text{I}^-] = 7/8 \text{ M}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ 為限量試劑，若用去濃度a，則方程式的化學計量如下

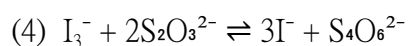


反應前 1/8M 7/8M

反應時 -aM -2.5aM +0.5a M

平衡 0.125-a 0.875-2.5a 0.5a

由於反應取2mL，因此平衡時 $\text{Cu}^{2+} = 2(0.125-a) \text{ mmol}$ ， $\text{I}_3^- = 2(0.5a) \text{ mmol} = a \text{ mmol}$ ，由下列兩方程式5. (3)、5. (4)，可以得知，每莫耳 $\text{Cu}^{2+}$ 需耗去3莫耳 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ，每莫耳 $\text{I}_3^-$ 需耗去2莫耳 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ，因此，共需耗去  $3(0.125-a) + 2a \text{ mmol } \text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 0.01\text{M } 25.3\text{ml}$ ，可求得 $a = 0.12425 \text{ M}$ ，代入平衡式，可求得平衡時， $[\text{Cu}^{2+}] = 0.125 - 0.12425 = 0.00075\text{M}$ ， $[\text{I}^-] = 0.875 - 2.5(0.12425) = 0.5644\text{M}$ ， $[\text{I}_3^-] = 0.5(0.12425) = 0.0621\text{M}$ ，可求得平衡常數 =  $1.98 \times 10^6$



同理，可分別求出以1M CuSO<sub>4</sub> 1mL+1M NaI 6mL+1mL蒸餾水和1M CuSO<sub>4</sub> 1mL+1M NaI 5mL+2mL蒸餾水時的平衡常數，如下表所示

$$\begin{array}{ccc}
 2\text{Cu}^{2+} & + & 5\text{I}^{-} \longrightarrow \text{CuI} + \text{I}_3^{-} \\
 \frac{1}{8}\text{M} & (\frac{1}{8}, \frac{6}{8}, \frac{7}{8}\text{M}) & \\
 -a & -2.5a & +\frac{a}{2}
 \end{array}$$


---


$$\left(\frac{1}{8}-a\right) \Rightarrow [\text{Cu}^{2+}] \qquad \frac{a}{2} = [\text{I}_3^{-}]$$

取 2ml  $\Rightarrow 2\left(\frac{1}{8}-a\right) = \frac{1}{4}-2a$

$$\Rightarrow 2 \times \frac{a}{2} = a$$

用  $3\left(\frac{1}{4}-2a\right) + 2a = 0.01 \times V_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}$   
 其中含有  $\frac{1}{4}-2a$  mmol Cu<sup>2+</sup>  
 和  $a$  mmol I<sub>3</sub><sup>-</sup>

$\frac{3}{4}-6a+2a = 0.01 V_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} \begin{cases} \textcircled{1} 1:7 \Rightarrow 25.296 \text{ ml} \\ \textcircled{2} 1:6 \Rightarrow 25.563 \text{ ml} \\ \textcircled{3} 1:5 \Rightarrow 26.189 \text{ ml} \end{cases}$

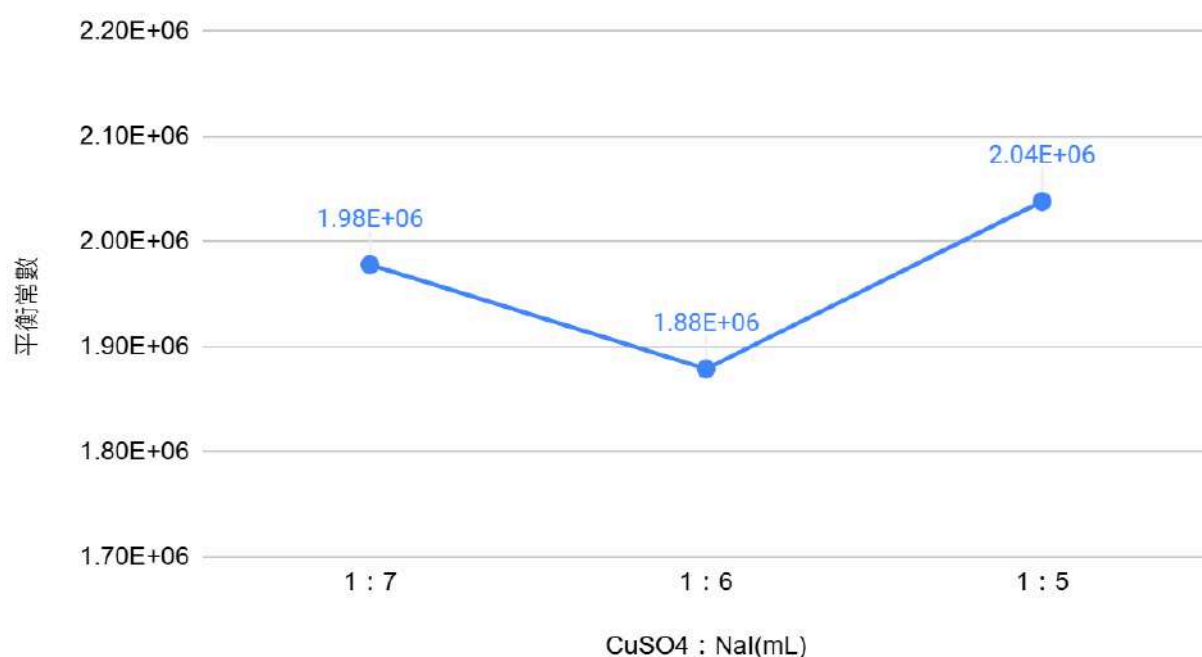
$$\begin{aligned}
 a_{1:7} &\doteq 0.1242 \\
 a_{1:6} &\doteq 0.1236 \\
 a_{1:5} &\doteq 0.1220
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{\frac{a}{2}}{\left(\frac{1}{8}-a\right)^2 \left(\frac{\frac{7}{8}}{\frac{6}{8}/\frac{5}{8}}-2.5a\right)^5}$$



圖二十、利用不同的a得出平衡常數的過程(作者親自繪製)

### CuSO<sub>4</sub> + NaI的平衡常數



圖二十一、先利用公式算出Cu<sup>2+</sup>的消耗量(a)，再分別把不同濃度的a帶入K中做計算，所算出的平衡常數(作者親自繪製)

### [實驗五結果分析]

由勒沙特列原理得知，碘離子莫耳數愈多，平衡時銅離子的濃度越低，由於每莫耳銅離子需消耗3莫耳Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，而每莫耳的I<sub>3</sub><sup>-</sup>僅需耗去2莫耳S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>，故平衡越向右，銅離子越少，耗去的Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>也越少，與實驗結果Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>使用量1:5 > 1:6 > 1:7相符，且觀測沉澱量時，沉澱量亦顯示1:7 > 1:6 > 1:5。

## 陸、討論

一、實驗一中我們發現懸浮在液體表面的懸浮球狀微粒，推測應為CuI。在第一次實驗

0.1MCuSO<sub>4</sub> : 0.1MNaI(體積比)為 2 : 8 時，顏色最深；而在第二次實驗0.1MCuSO<sub>4</sub> : 0.1MNaI(體積比)為 3 : 7 時，顏色最深，與方程式 $2\text{Cu}^{2+} + 5\text{I}^{-} \rightleftharpoons 2\text{CuI}(\text{白色}) + \text{I}_3^{-}$  結果相符

二、實驗二中CuI的固體量難以精準測量，未來若能用孔隙更小的濾紙，再設法去除烘乾前後濾紙含水量造成的誤差，或許也能成為測量平衡常數的簡易方式



- 三、由於實驗三滴定終點並非無色，滴定數據缺乏說服力，於是改用實驗五來求此反應的平衡常數
- 四、實驗四中，可以發現在 $1\text{M CuSO}_4 : 1\text{M NaI}$ (體積比)為 3 : 7 時，呈現最深的深棕色；而在 $1\text{M CuSO}_4 : 1\text{M NaI}$ (體積比)為 4 : 6 時，沉澱最多
- 五、我們在面對到實驗誤差對於反應影響很大時，我們思考了兩種做法，一為加大濃度、二為加大體積，而最終我們選擇了第一種，因試管若再加入過多的液體，在離心過程中容易甩出試管，因此誤差會更容易產生，但在加大濃度會遇到一個問題就是在配置時，因為溶質較多在取量時難度增加，且因量多溶於水中的難度也增加，所以日後我們也會試著發展出更好控制誤差的方式。
- 六、實驗五中我們利用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 來完成滴定，未來我們希望能發展出利用不同方法或不同藥品滴定某些反應，來得出其他方程式的反應常數。
- 七、在觀察每毫莫耳 $\text{Cu}^{2+}$ 消耗的 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 量時(方程式4.(3))，我們發現混和液最終呈現綠色，而在用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 滴定硫酸銅-碘化鈉混和液時，最終呈現無色。我們推測是 $\text{Cu}^{2+}$ 還原成 $\text{Cu}^+$ 與 $\text{I}^-$ 反應產生 $\text{CuI}$ 後參與反應，最終使溶液變為無色。而由於 $\text{I}^-$ 出現在方程式兩側，固可將其消除，便可得到文獻中的方程式

## 柒、結論

從上述實驗成果中和舊有概念中我們得出，以下結論：

- 一、由 $\text{CuSO}_4$ 和 $\text{NaI}$ 混合的實驗中得出，當 $\text{CuSO}_4$ 定量時， $\text{NaI}$ 所分配的比例越大， $\text{I}^-$ 的比例越高，使 $\text{CuI}$ 的產生沉澱增加，有利於 $\text{I}_3^-$ 的產生，同時也有助於與 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 反應。
- 二、在 $\text{NaOH}$ 與 $\text{CuSO}_4$ 和 $\text{NaI}$ 混合後離心澄清液直接滴定無法辨識或計算出此方程式中的平衡常數，因此需要以其他的反應來加以輔助。
- 三、 $\text{CuSO}_4$ 和 $\text{NaI}$ 之混和後離心澄清液用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 去滴定，所得出的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 消耗量是此次成果中最重要的一部分，因為透過用量帶入公式計算出 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{I}^-$ 的消耗量以及 $\text{I}_3^-$ 生成量，讓我們成功地計算出平衡常數
- 四、最終方程式為： $2\text{Cu}^{2+} + 5\text{I}^- = 2\text{CuI}(\text{白色}) + \text{I}_3^-$  平衡常數在 $1\text{M CuSO}_4 : 1\text{M NaI}$ (體積比)1:5、1:6、1:7時分別為 $2.04 \times 10^6$ 、 $1.88 \times 10^6$ 、 $1.98 \times 10^6$
- 五、經過校內科展學校評審老師的指導，我們發現實驗數據為何在不同天進行滴定时，數據會有落差，原來是由於溫度對於平衡常數會造成影響。如果我們在所有步驟都嚴格控溫，應能降低誤差。不過，若是未來發展為高中實驗教材，由於受限實驗時間，嚴格控溫似乎難以達成，因此目前進行比色法實驗時，亦不要求學生控溫。

## 捌、未來展望

- 一、經過實驗五後我們發現能將實驗五所產生的平衡常數帶回實驗三，並改良實驗三後驗證實驗五結果是否正確，且我們已設計好實驗步驟與內容，但時間不足且我們在作出改善後又遇到不同的瓶頸導致做不出可行的數據。
- 二、畢竟用肉眼觀測以及實驗室當中的器材做出來還是會有誤差，我們希望日後能借助更精密的儀器來彌補這些不足，得出更為精確的平衡常數數值。
- 三、我們上網查詢碘化亞銅的資訊，發現碘化亞銅是一種重要的半導體材料，常用於光電化學材料研究與太陽能系統開發。我們希望能更加瞭解碘化亞銅的各種結構與配置方法，期望對半導體工業能有所貢獻(如：碘化亞銅薄膜)。

## 玖、參考資料及其他

[https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=Cu%7B2%2B%7D+%2B+S2O3%7B2-%7D+%2B+I%7B-%7D+%2B+I2+%3D+CuI+%2B+I2+%2B+S4O6%7B2-%7D+%2B+I%7B-%7D&hl=en#google\\_vignette](https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=Cu%7B2%2B%7D+%2B+S2O3%7B2-%7D+%2B+I%7B-%7D+%2B+I2+%3D+CuI+%2B+I2+%2B+S4O6%7B2-%7D+%2B+I%7B-%7D&hl=en#google_vignette)(ChemicalAid的 $2\text{Cu}^{2+} + 4\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{I}^- + 3\text{I}_2$ 方程式參考)

<https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=Cu%7B2%2B%7D+%2B+S2O3%7B2-%7D+%3D+Cu+%2B+S4O6%7B2-%7D&hl=en>(ChemicalAid的 $\text{Cu} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 方程式參考)

[https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=CuSO4+%2B+NaI+%3D+CuI+%2B+Na2SO4+%2B+I2&hl=en#google\\_vignette](https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=CuSO4+%2B+NaI+%3D+CuI+%2B+Na2SO4+%2B+I2&hl=en#google_vignette)(ChemicalAid的 $\text{CuSO}_4 + \text{NaI}$ 方程式參考)

<https://chemed.chemistry.org.tw/wp-content/uploads/2014/05/%E8%A3%BD%E5%82%99%E7%A2%98%E5%8C%96%E4%BA%9E%E9%8A%85%E8%88%87%E5%85%B6%E4%B8%80%E7%B3%BB%E5%88%97%E5%8F%8D%E6%87%89V3.pdf>(製備碘化亞銅與其一系列反應-台灣化學教育)


<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=16903>(台灣化學教育 第14期/2016年/7月 微量化學實驗：碘化亞銅的微量檢驗和硫酸銅 的微量滴定) (上)

<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=17032>(台灣化學教育 第14期/2016年/7月 微量化學實驗：碘化亞銅的微量檢驗和硫酸銅 的微量滴定) (下)

## 【評語】 050207

原創性高，有改進實驗方法與條件，並提出一個合理的推論。實驗中氧化還原、碰撞、錯合同時發生，不易釐清每一個變因。可以再確認平衡常數誤差的原因。

作品海報



解密K-

探討 $\text{CuSO}_4 + \text{NaI}$ 的平衡常數



# 摘要

本實驗想要研究CuSO<sub>4</sub>與NaI混合反應之平衡常數，首先，藉由CuSO<sub>4</sub>與NaI不同比例混合後的反應現象，了解反應進行的狀況。接著，分別嘗試測量平衡方程式： $2\text{Cu}^{2+} + 5\text{I}^{-} \rightleftharpoons 2\text{CuI(白色)} + \text{I}_3^{-}$  特定物質的莫耳數，以便求出達平衡時，各物質的平衡濃度，解此求出平衡常數。

先後採用(1) CuI沉澱重量，(2)利用I<sub>3</sub><sup>-</sup>與NaOH的自身氧化還原反應，(3) Cu<sup>2+</sup>與 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和I<sub>3</sub><sup>-</sup>與Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的氧化還原反應，求出平衡濃度與平衡常數。

前兩個方法，均遭遇困難，目前使用第三種方法順利求得平衡常數約為2×10<sup>6</sup>。

## 壹、研究動機

課本裡告訴我們，銅離子(Cu<sup>2+</sup>)與碘離子(I<sup>-</sup>)不產生沉澱反應，然而，我們實測的結果發現，兩者發生反應，液體變為褐色，且生成白色沉澱，引起我們的興趣。

查資料後發現銅離子(Cu<sup>2+</sup>)與碘離子(I<sup>-</sup>)竟先後發生氧化還原、沉澱和錯合三個反應。首先，銅離子(Cu<sup>2+</sup>)與碘離子(I<sup>-</sup>)發生氧化還原反應，生成亞銅離子(Cu<sup>+</sup>)與碘分子(I<sub>2</sub>)，接著亞銅離子(Cu<sup>+</sup>)和碘離子(I<sup>-</sup>)生成碘化亞銅(CuI)沉澱，碘分子(I<sub>2</sub>)和碘離子(I<sup>-</sup>)錯合形成三碘錯離子(I<sub>3</sub><sup>-</sup>)。

由於高中介紹平衡常數計算的實驗，僅有比色法這個很傷視力的方法，因此，我們嘗試使用滴定來求出平衡常數，企圖取代比色法，成為求平衡常數更簡易的高中實驗。

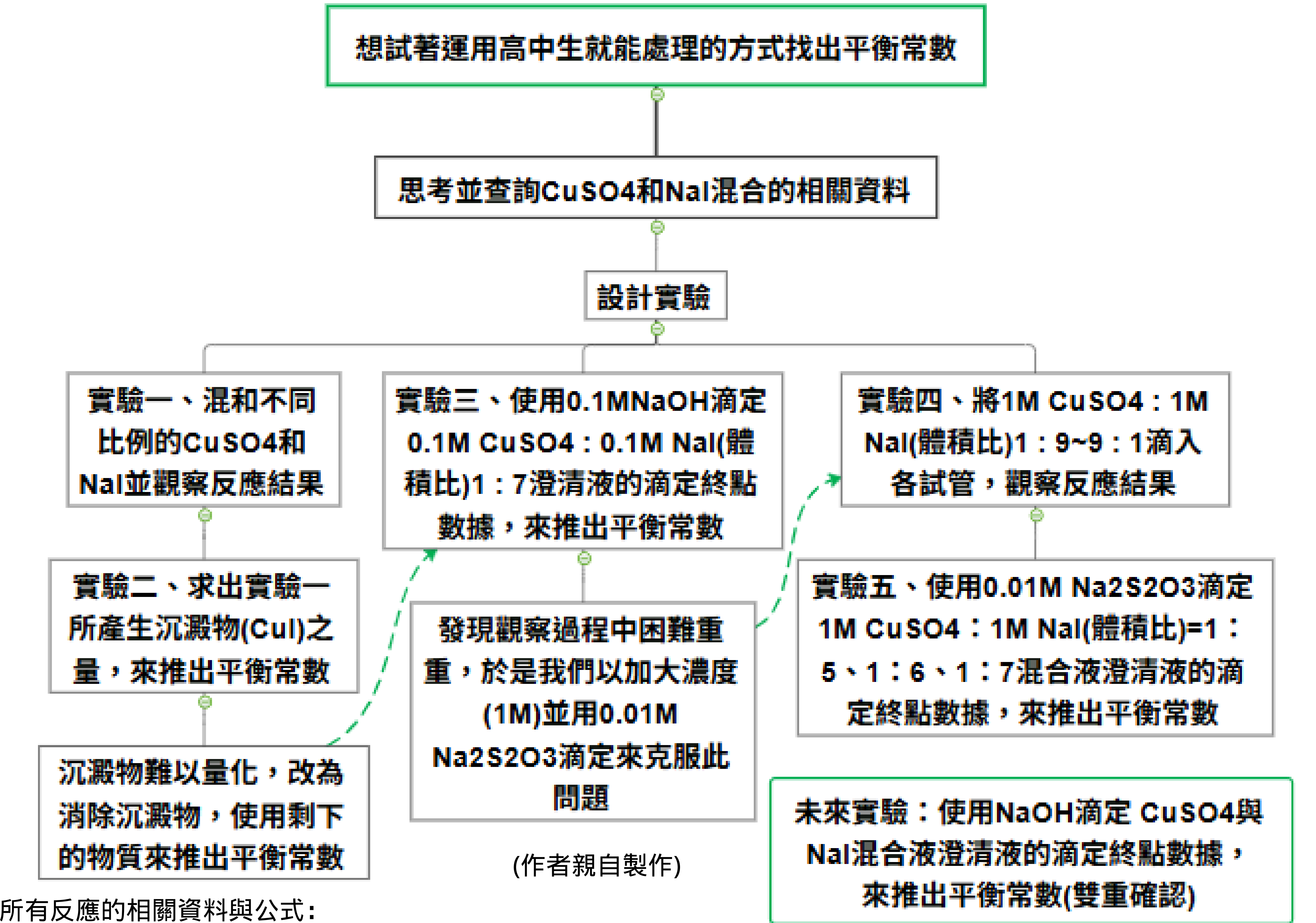
## 貳、研究目的

- 一、觀察CuSO<sub>4</sub>和NaI不同莫耳比之反應現象，如是否發生顏色變化、或著是否生成沉澱物，藉此了解不同限量試劑時，反應的進行情形。
- 二、透過測量CuI沉澱重量找出，求出各物質的平衡濃度及平衡常數。
- 三、使用NaOH滴定反應後的澄清液，透過I<sub>3</sub><sup>-</sup>與NaOH的自身氧化還原反應，求出各物質的平衡濃度及平衡常數。
- 四、使用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>滴定CuSO<sub>4</sub>和NaI反應後的澄清液，透過Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>分別與Cu<sup>2+</sup>和I<sub>3</sub><sup>-</sup>反應，解聯立方程式後，求出各物質的平衡濃度及平衡常數。

## 參、研究設備與器材

- 1.器材：試管、試管、滴管、微量滴、燒杯、容量瓶(500mL、50mL)、刮杓、分度吸量、安全吸球、玻棒、磁石、滴定管、錐形瓶、滴定管架、漏斗、濾紙
- 2.藥品：硫酸銅、碘化鈉、硫代硫酸鈉、氫氧化鈉
- 3.設備：離心機、電子秤、磁石加熱攪拌器、超音波震盪機、吸濾瓶、烘箱

## 肆、研究過程與方法



所有反應的相關資料與公式：

- 1. 目標方程式 $2\text{Cu}^{2+} + 5\text{I}^{-} \rightleftharpoons 2\text{CuI(白色)} + \text{I}_3^{-}$
- 2. 目標方程式包含的反應歷程方程式
  - (1)  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{I}^{-} \rightleftharpoons 2\text{Cu}^{+} + \text{I}_2$  氧化還原反應
  - (2)  $\text{Cu}^{+} + \text{I}^{-} \rightleftharpoons \text{CuI(白色)}$  沉澱反應
  - (3)  $\text{I}_2 + \text{I}^{-} \rightleftharpoons \text{I}_3^{-}$ (褐色) 錯合反應
- 3. 以NaOH滴定时，可能發生的反應式
  - (1)  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{Cu(OH)}_2$  (淡藍)  $K = 6 \times 10^{-20}$
  - (2)  $\text{Cu}^{+} + \text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{Cu(OH)}$  (黃)  $K = 2 \times 10^{-15}$
  - (3)  $\text{Cu}^{2+} + 4\text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{Cu(OH)}_4^{2-}$  (深藍)  $K = 1.38 \times 10^{-40}$
  - (4)  $3\text{I}_3^{-} + 6\text{OH}^{-} \rightleftharpoons \text{IO}_3^{-} + 8\text{I}^{-} + 3\text{H}_2\text{O}$  (無色)
- 4. 以S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>滴定时，預計發生的反應式
  - (1)  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons 2\text{Cu}^{+} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  先進行氧化還原
  - (2)  $\text{Cu}^{+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu(S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$  再進行錯合反應
  - (3)  $2\text{Cu}^{2+} + 6\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons 2\text{Cu(S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  上面兩式總結 (文獻)
  - (4)  $\text{I}_3^{-} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons 3\text{I}^{-} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  (文獻)
- 5. 以S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>滴定时，真實發生的反應式
  - (1)  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{I}^{-} \rightleftharpoons 2\text{CuI} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$
  - (2)  $\text{CuI} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu(S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + \text{I}^{-}$
  - (3)  $2\text{Cu}^{2+} + 6\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{I}^{-} \rightleftharpoons 2\text{Cu(S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^{-}$  (無色)(實驗)
  - (4)  $\text{I}_3^{-} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons 3\text{I}^{-} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$



(作者親自拍攝)

0.1M。1:9–9:1(毫升數比) CuSO4先



伍、研究結果

[實驗一結果]

(作者親自製作)


1：9	2：8	3：7	4：6	5：5	6：4	7：3	8：2	9：1
液體呈深橘，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體偏橘紅，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體紅偏橘，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體暗紅，底部有灰白沉澱，管壁些許沉澱	液體紅偏橘，底部有灰白沉澱，管壁些許沉澱	液體橘偏黃，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	液體黃偏橘，底部有灰白沉澱，管壁少沉澱	上半部橘黃，下半部淺藍，底部有灰白沉澱，管壁無沉澱	上半部淺黃，下半部淺藍，底部有灰白沉澱，管壁無沉澱

(作者親自拍攝)



- 1、當CuSO<sub>4</sub>：NaI=9:1時，由於銅離子莫耳數遠大於碘離子，沒有多餘的碘離子可以形成CuI沉澱與I<sub>3</sub><sup>-</sup>錯離子，因此，沉澱與溶液的變色均不明顯。
- 2、當CuSO<sub>4</sub>：NaI=1:9時，由於銅離子限量，因此生成的CuI沉澱與I<sub>3</sub><sup>-</sup>錯離子亦不明顯，但由於碘離子過量，可以順利與亞銅離子與碘分子進行反應，因此不論沉澱量或顏色均較CuSO<sub>4</sub>：NaI=9:1明顯
- 3、當兩者越趨近同時限量時，沉澱量最多，同時顏色相對較深

(作者親自拍攝)



混合液剛倒入抽濾瓶

使用蒸餾水將濾紙上的碘溶掉

超音波震盪

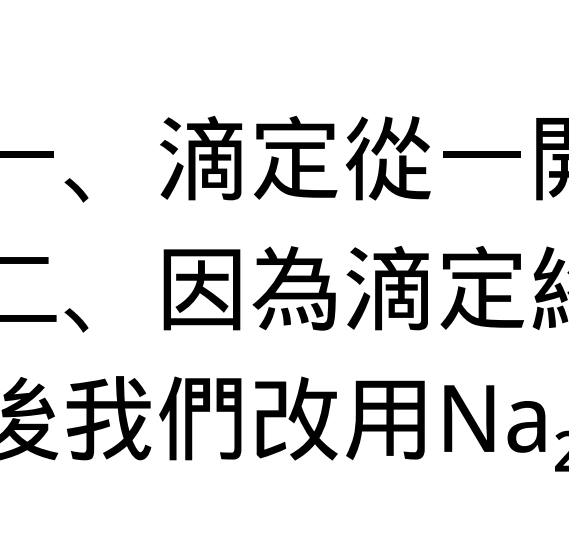
[實驗二結果]

一、使用抽濾瓶放上濾紙過濾後發現過濾後的液體仍有沉澱的存在，難以精準量化沉澱的量

二、因此，我們改用了：

- 1.超音波震盪(但此方法無法去除浮在表層的沉澱物，所以放棄此方法)
- 2.離心後取中段液的方法來排除沉澱的物質，使用剩下的物質來推算平衡常數

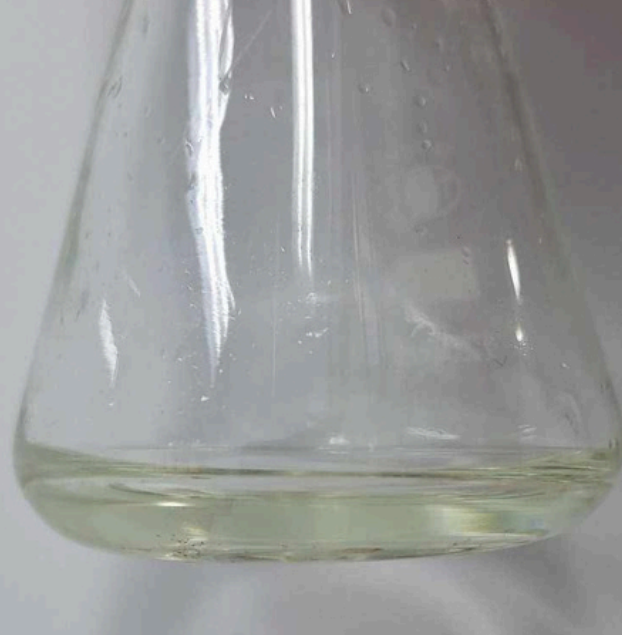
(作者親自拍攝)



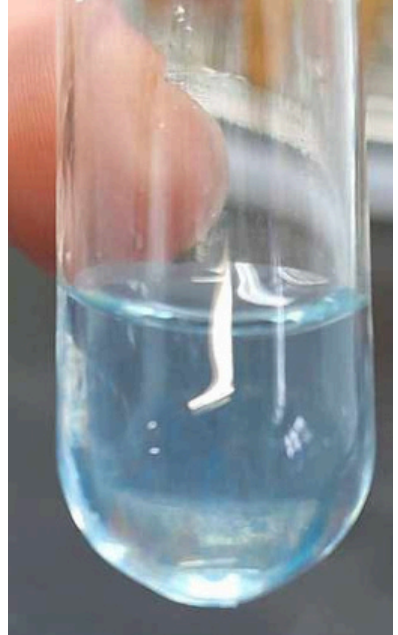
一、滴定從一開始的褐色混合液以NaOH滴定漸漸變淺到混濁的黃色，最後變淡藍色

二、因為滴定終點不是為無色而是淡藍色，且不易辨認溶液是否已變澄清達滴定終點，所以最後我們改用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>去滴定

(作者親自製作)



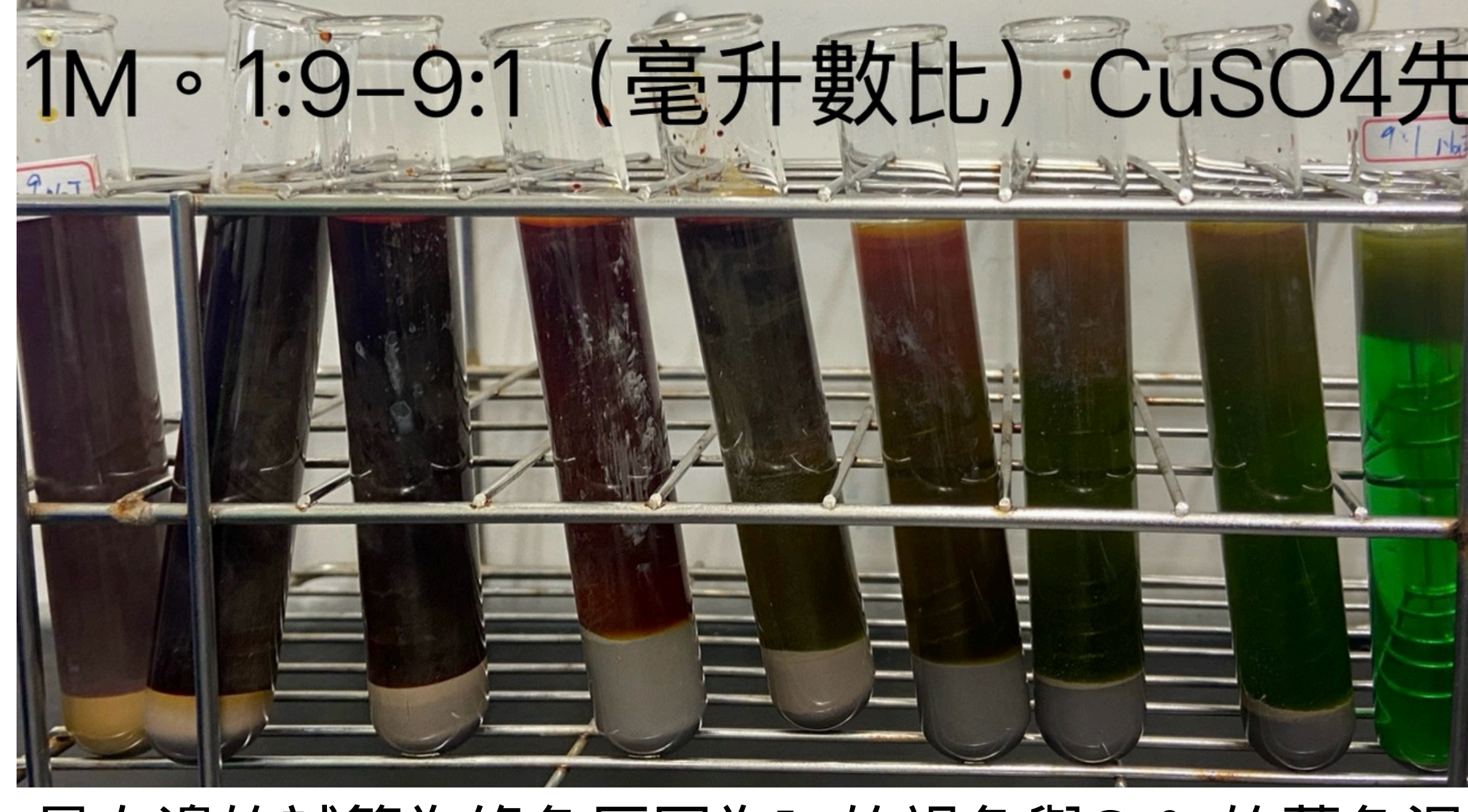
滴定到一半的樣貌



滴定完的樣子

(作者親自拍攝)

1M。1:9–9:1 (毫升數比) CuSO4先



最右邊的試管為綠色原因為I<sub>3</sub><sup>-</sup>的褐色與Cu<sup>2+</sup>的藍色混合而成

[實驗三結果]

1：9	2：8	3：7	4：6	5：5	6：4	7：3	8：2	9：1
液體褐色透黑，底部橘黃加灰白，兩層的沉澱，管壁少沉澱	液體黑色，底部橘黃加灰白加黑色，三層的沉澱，管壁少沉澱	液體黑色，底部橘黃加灰白，兩層的沉澱，管壁些許沉澱	液體褐色透黑，底部幾乎都是灰白沉澱，且管壁與底部沉澱最多	液體黑色，底部都是灰白沉澱，管壁些許沉澱	液體褐色透黑，底部都是黑色沉澱，管壁些許沉澱	液體褐色透黑和綠，底部幾乎都是黑色沉澱，管壁少沉澱	液體深綠色，底部灰白加黑色，兩層的沉澱，管壁少沉澱	液體上層深綠，中間以下墨綠，底部少許黑色沉澱，管壁無沉澱

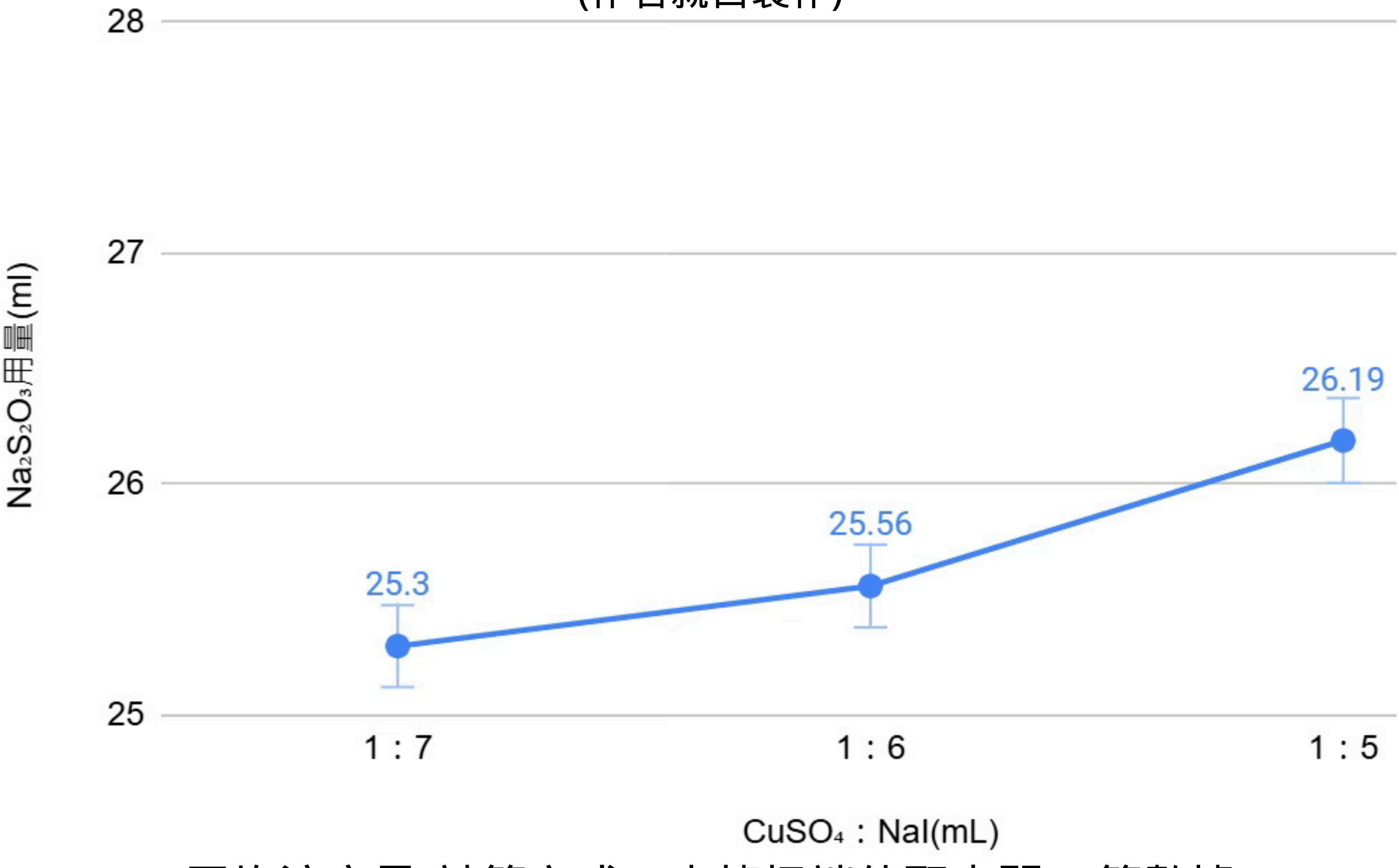
實驗步驟：

分度吸量管吸取**1MCuSO<sub>4</sub>：1MNaI(體積比)=1：5、1：6、1：7**再加蒸餾水至**8mL**，充分反應後放入離心機，離心**1**分鐘後，液體倒入新試管再離心一次

微量滴管吸取澄清液中段**2mL**，滴入放入磁石的錐形瓶，再用微量滴管加入**4mL**蒸餾水，放上磁石加熱攪拌器準備進行**0.01MNa<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**滴定

到達滴定終點時**Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**用量

(作者親自製作)



[實驗四結果]

以**1M CuSO<sub>4</sub> 1mL+1M NaI 7mL**為例，混合後由於體積改變，因此反應前**[Cu<sup>2+</sup>]=1/8 M**，**[I<sup>-</sup>]=7/8 M**，Cu<sup>2+</sup>為限量試劑，若用去濃度**a**，則方程式的化學計量如下

	2Cu <sup>2+</sup>	+ 5 I <sup>-</sup>	⇌	2CuI(白色)	+ I <sub>3</sub> <sup>-</sup>
反應前	1/8M	7/8M			
反應時	-aM	-2.5aM			+0.5a M
平衡	0.125-a	0.875-2.5a			0.5a

由於反應取**2mL**，因此平衡時**Cu<sup>2+</sup> = 2(0.125-a) mmol**，**I<sub>3</sub><sup>-</sup>=2(0.5a) mmol=a mmol**，由下列兩方程式，可以得知，每莫耳Cu<sup>2+</sup>需耗去**3**莫耳S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>，每莫耳I<sub>3</sub><sup>-</sup>需耗去**2**莫耳S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>，因此，共需耗去**3(0.125-a) + 2(a)mmol S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> = 0.01M 25.3mL**，可求得**a = 0.12425 M**，代入平衡式，可求得平衡時，**[Cu<sup>2+</sup>] = 0.125-0.1242=0.00075M**，**[I<sup>-</sup>] = 0.875-2.5(0.12425)=0.5644M**，**[I<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 0.5(0.1242)=0.0621M**，可求得平衡常數 = **1.98×10<sup>6</sup>**

5. (3) **2Cu<sup>2+</sup> + 6S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> + 2I<sup>-</sup> ⇌ 2 Cu(S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub><sup>3-</sup> + S<sub>4</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup> + 2I<sup>-</sup> (無色)**

(4) **I<sub>3</sub><sup>-</sup> + 2S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> ⇌ 3I<sup>-</sup> + S<sub>4</sub>O<sub>6</sub><sup>2-</sup>**

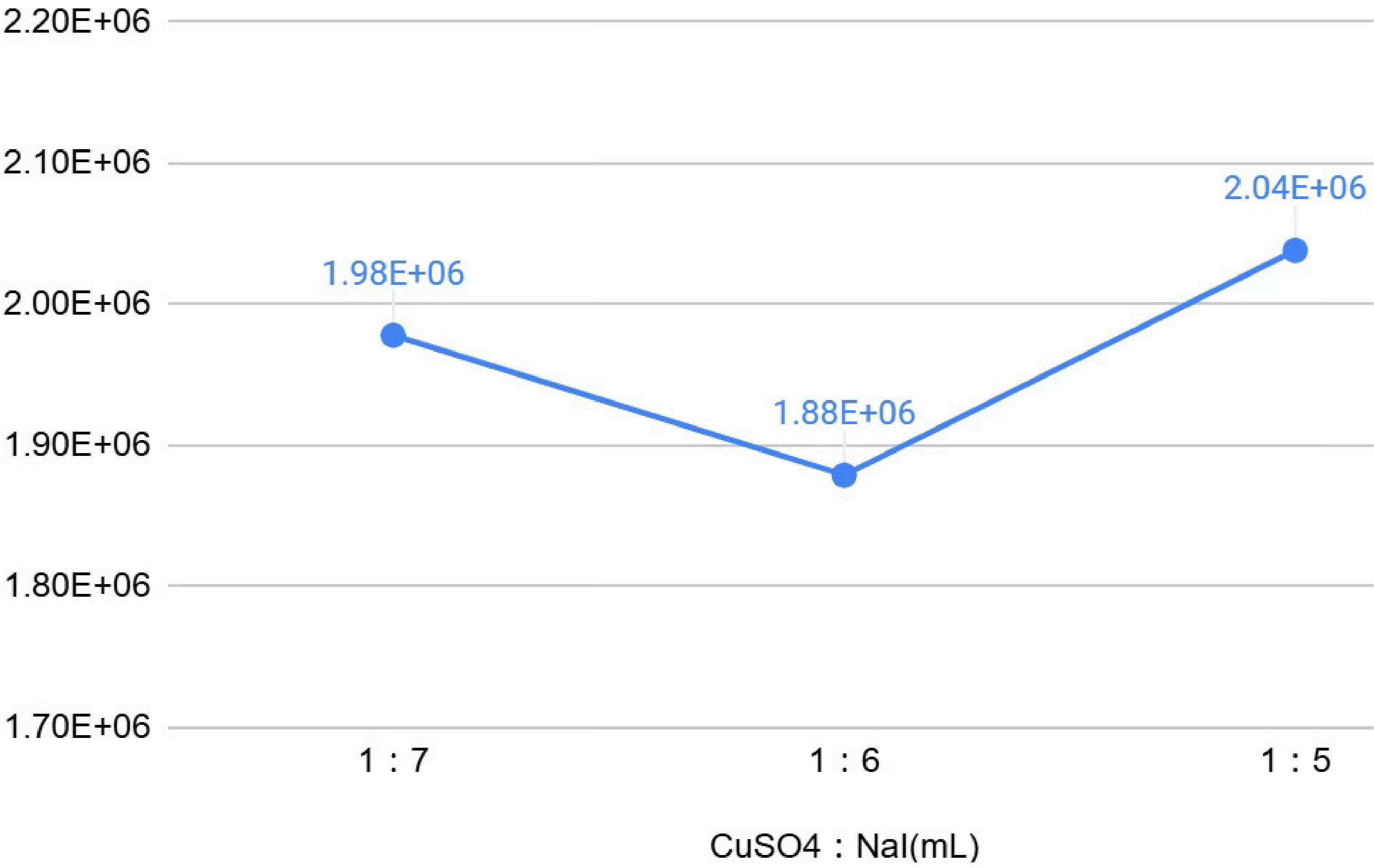
同理，可分別求出以**1M CuSO<sub>4</sub> 1mL+1M NaI 6mL+1mL**蒸餾水和**1M CuSO<sub>4</sub> 1mL+1M NaI 5mL+2mL**蒸餾水時的平衡常數



CuSO4 + NaI的平衡常數

(作者親自製作)

平衡常數



先利用公式算出Cu<sup>2+</sup>的消耗量(a)，再分別把不同濃度的a帶入K中做計算

陸、討論

- 一、實驗一中我們發現懸浮在液體表面的懸浮球狀微粒，推測應為CuI。在第一次實驗0.1MCuSO<sub>4</sub>：0.1MNaI(體積比)為 2：8 時，顏色最深；而在第二次實驗0.1MCuSO<sub>4</sub>：0.1MNaI(體積比)為 3：7 時，顏色最深，與方程式2Cu<sup>2+</sup> + 5 I<sup>-</sup> ⇌ 2CuI(白色) + I<sub>3</sub><sup>-</sup> 結果相符
- 二、實驗二中CuI的固體量難以精準測量，未來若能用孔隙更小的濾紙，再設法去除烘乾前後濾紙含水量造成的誤差，或許也能成為測量平衡常數的簡易方式
- 三、由於實驗三滴定終點並非無色，滴定數據缺乏說服力，於是改用實驗五來求此反應的平衡常數
- 四、實驗四中，可以發現在1MCuSO<sub>4</sub>：1MNaI(體積比)為 3：7 時，呈現最深的深棕色；而在1MCuSO<sub>4</sub>：1MNaI(體積比)為 4：6 時，沉澱最多
- 五、我們在面對到實驗誤差對於反應影響很大時，我們思考了兩種做法，一為加大濃度、二為加大體積，而最終我們選擇了第一種，因試管若再加入過多的液體，在離心過程中容易甩出試管，因此誤差會更容易產生，但在加大濃度會遇到一個問題就是在配置時，因為溶質較多在取量時難度增加，且因量多溶於水中的難度也增加，所以日後我們也會試著發展出更好控制誤差的方式。
- 六、實驗五中我們利用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>來完成滴定，未來我們希望能發展出利用不同方法或不同藥品滴定某些反應，來得出其他方程式的反應常數。
- 七、在觀察每毫莫耳Cu<sup>2+</sup>消耗的S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>量時(方程式4.(3))，我們發現混和液最終呈現綠色，而在用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>滴定硫酸銅-碘化鈉混和液時，最終呈現無色。我們推測是Cu<sup>2+</sup>還原成Cu<sup>+</sup>與I<sup>-</sup>反應產生CuI後參與反應，最終使溶液變為無色。而由於I出現在方程式兩側，固可將其消除，便可得到文獻中的方程式

柒、結論

從上述實驗成果中和舊有概念中我們得出，以下結論：

- 一、由CuSO<sub>4</sub>和NaI混合的實驗中得出，當CuSO<sub>4</sub>定量時，NaI所分配的比例越大，I<sup>-</sup>的比例越高，使CuI的產生沉澱增加，有利於I<sub>3</sub><sup>-</sup>的產生，同時也有助於與Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>反應。
- 二、在NaOH與CuSO<sub>4</sub>和NaI混合後離心澄清液直接滴定無法辨識或計算出此方程式中的平衡常數，因此需要以其他的反應來加以輔助。
- 三、CuSO<sub>4</sub>和NaI之混和後離心澄清液用Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>去滴定，所得出的Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>消耗量是此次成果中最重要的一部分，因為透過用量帶入公式計算出Cu<sup>2+</sup>和I<sup>-</sup>的消耗量以及I<sub>3</sub><sup>-</sup>生成量，讓我們成功地計算出平衡常數。
- 四、最終方程式為： 2Cu<sup>2+</sup> + 5I<sup>-</sup> = 2CuI(白色) + I<sub>3</sub><sup>-</sup> 平衡常數在1M CuSO<sub>4</sub>：1M NaI(體積比)1:5、1:6、1:7時分別為2.04×10<sup>6</sup>、1.88×10<sup>6</sup>、1.98×10<sup>6</sup>
- 五、經過校內科展學校評審老師的指導，我們發現實驗數據為何在不同天進行滴定时，數據會有落差，原來是由於溫度對於平衡常數會造成影響。如果我們在所有步驟都嚴格控溫，應能降低誤差。不過，若是未來發展為高中實驗教材，由於受限實驗時間，嚴格控溫似乎難以達成，因此目前進行比色法實驗時，亦不要求學生控溫。

捌、未來展望

- 一、經過實驗五後我們發現能將實驗五所產生的平衡常數帶回實驗三，並改良實驗三後驗證實驗五結果是否正確，且我們已設計好實驗步驟與內容，但時間不足且我們在作出改善後又遇到不同的瓶頸導致做不出可行的數據。
- 二、畢竟用肉眼觀測以及實驗室當中的器材做出來還是會有誤差，我們希望日後能借助更精密的儀器來彌補這些不足，得出更為精確的平衡常數數值。
- 三、我們上網查詢碘化亞銅的資訊，發現碘化亞銅是一種重要的半導體材料，常用於光電化學材料研究與太陽能系統開發。我們希望能更加瞭解碘化亞銅的各種結構與配置方法，期望對半導體工業能有所貢獻(如：碘化亞銅薄膜)。

玖、參考資料

https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=Cu%7B2%2B%7D+%2B+S2O3%7B2-%7D+%2B+I%7B-%7D+%2B+I2+%3D+CuI+%2B+I2+%2B+S4O6%7B2-%7D+%2B+I%7B-%7D&hl=en#google\_vignette (ChemicalAid的2Cu<sup>2+</sup> + 4S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> + 2I<sup>-</sup> + 3I<sub>2</sub>方程式參考)

https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=Cu%7B2%2B%7D+%2B+S2O3%7B2-%7D+%3D+Cu+%2B+S4O6%7B2-%7D&hl=en (ChemicalAid的Cu + S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>方程式參考)

https://www.chemicalaid.com/tools/equationbalancer.php?equation=CuSO4+%2B+NaI+%3D+CuI+%2B+Na2SO4+%2B+I2&hl=en#google\_vignette (ChemicalAid的CuSO<sub>4</sub> + NaI方程式參考)

https://chemed.chemistry.org.tw/wp-content/uploads/2014/05/%E8%A3%BD%E5%82%99%E7%A2%98%E5%8C%96%E4%BA%9E%E9%8A%85%E8%88%87%E5%85%B6%E4%B8%80%E7%B3%BB%E5%88%97%E5%8F%8D%E6%87%89V3.pdf (製備碘化亞銅與其一系列反應-台灣化學教育)

http://chemed.chemistry.org.tw/?p=16903 (台灣化學教育 第14期/2016年/7月 微量化學實驗：碘化亞銅的微量檢驗和硫酸銅的微量滴定)(上)

http://chemed.chemistry.org.tw/?p=17032 (台灣化學教育 第14期/2016年/7月 微量化學實驗：碘化亞銅的微量檢驗和硫酸銅的微量滴定)(下)