

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：「碘精之比」—— 以手機光感應器比色法測量三碘陰離子生成反應的平衡常數

一、摘要

本研究欲改革高中常見的比色法實驗，以手機光感測器做為主要測量反應 $I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$ 的平衡常數工具。共使用三個方法：硫代硫酸鈉滴定法、光譜法以及手機光測法。滴定法以硫代硫酸鈉將 I_2 還原成 I^- ，求得平衡常數為 634。而光譜法則是將不同濃度的 KI 溶液代入等吸收點的 $I_3^- + I_2$ 總濃度與吸光度檢量線，求其平衡常數為 609。光測法以手機光感測器測量溶液照度，經檢量線換算 I_3^- 濃度，再計算出平衡常數為 593，手機光測法的優勢在最佳化感測條件後，可得到高精確、高準確和再現性高之平衡常，且感測器取得便利、裝置易架設、少許體積即可測量，期許之後可以取代高中課綱的比色法及實際應用在生活上。

二、探究題目與動機

在化學實驗操作比色法時，我們對自己的眼睛能否準確判斷顏色深淺產生疑問。我們思考是否有更客觀的量化顏色及濃度的工具，且更方便操作又比比色法更準確的實驗方式？因此我們找到名為 Phyphox 的應用程式，並使用裡面的光感測器做為量化工具，希望能以此取代課綱實驗中以肉眼辨識的實驗方式。經文獻調查後，課綱及多數的比色實驗對象為血紅色的 $FeSCN_2^+$ ，並求其反應的平衡常數，我們想到化學老師上課示範碘萃取實驗時，了解到固體碘溶於碘化鉀溶液（無色）後變成三碘陰離子（棕色）時會變色的特性，所以我們決定使用光感測器來測量三碘陰離子濃度，進而換算出濃度及平衡常數的方法。

三、探究目的與假設

為了將手機光測法最佳化，及尋找產生誤差的成因，鑑於定量分析常使用滴定法，先以滴定測量溶液濃度作為標準。又比色法的原理是溶液吸收可見光程度不同產生不同亮度，故先使用光譜進行分析。再汲取滴定法及光譜法的經驗來操作手機光測法，期許能優化實驗操作及流程，得到精準的實驗結果。

- 一、以滴定法求濃度及平衡常數：準確數據、易判別的實驗結果。
- 二、以光譜法求濃度及平衡常數：精準數據，藥劑節省。
- 三、以手機光測法求濃度及平衡常數：精確數據、藥劑節省、方便操作。

四、探究方法與驗證步驟

研究方法：

前置準備：配置溶液

1. 配置 0.005 M、0.01 M、0.02 M、0.1 M、0.5 M、5 M KI 溶液 250 mL
2. 配置不同碘化鉀濃度稀釋的溶液：甲溶液配置 = 0.102g I_2 和 1.66 g KI 加蒸餾水定量至 100 mL，乙~戊溶液皆為前者稀釋一倍，濃度減半。
3. 配置碘過量碘化鉀濃度不同的溶液：配置 A 溶液：加過量碘於 250 mL 蒸餾水中，

B、C、D 溶液分別為：加過量碘於 250 mL 0.005 M、0.01 M、0.02 M 碘化鉀飽和溶液中。

4. 配置純碘溶液及其稀釋溶液：取少量碘至蒸餾水中，再分別稀釋為三分之一、三分之一、六分之一、十二分之一、二十四分之一倍。

(一) 滴定法：

1. 取適量澱粉溶於 50 mL 熱水中，冷卻備用。
2. 以 0.002 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定 A 溶液，滴定至淡黃色時，加入澱粉液使呈藍色，再繼續滴定至無色，紀錄 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 用量，計算 A 溶液的 $\text{I}_2 + \text{I}_3^-$ 濃度。
3. 重覆步驟 2，滴定 B、C、D 溶液各 2 次，並計算 B、C、D 溶液的濃度。
4. 計算 $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ 的平衡常數

(二) 光譜法：

1. 找出等吸收點。因此將純碘溶液逐次加入碘化鉀並測其光譜。再將所有數據疊圖，觀察圖形交叉點，即碘及碘化鉀的等吸光度點。
2. 檢量線製作：測量純碘及其稀釋溶液溶液光譜，取各溶液等吸光度點數據，做出碘及碘化鉀離子總濃度對等吸光度點吸光度的檢量線。
3. 計算 $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ 的平衡常數：量測 A、B、C、D 溶液光譜。擷取各等吸光度點之吸光度，利用檢量線換算濃度並算出 $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ 的平衡常數。

(三) 手機光測法：

1. 下載 phyphox app，打開光感測器，打開燈箱，放上 50 mL 燒杯置於光感測器上，讀取數值並紀錄。
2. 分別量測 10 mL、20 mL、30 mL、40 mL 甲~戊溶液的照度值，在 excel 上畫出體積 - 照度及濃度 - 照度的檢量線。
3. 取 A 溶液 10 mL，加入 KI 0.83 g 後，置於光感測器上，測量其照度。
4. 取 B、C、D 溶液各 10 mL，測量其照度，再代入檢量線換算出濃度。

研究結果及討論：

一、滴定法：

(一) 研究結果：

溶液	A	B	C	D
取樣體積(mL)	5	5	2	2
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 濃度(M)	0.002	0.002	0.002	0.002
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 平均使用體積(mL)	6.04	17.56	11.34	18
$[\text{I}_3^- + \text{I}_2]$ (M)	0.001208	0.003512	0.00567	0.009
平衡 $[\text{I}_2]$ (M)	0.001208	0.001208	0.001208	0.001208

平衡 $[I_3^-]$ (M)	-	0.002304	0.004462	0.007792
初始 $[I^-]$ (M)	-	0.005	0.01	0.02
$[I^-]$ (M)	-	0.002696	0.005538	0.012208
K	-	707.4498398	666.9751913	528.3691944

- 依反應式為 $I_3^-(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow S_4O_6^{2-}(aq) + 3 I^-(aq)$ (或 $I_2(s) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow S_4O_6^{2-}(aq) + 2 I^-(aq)$)，可推得：

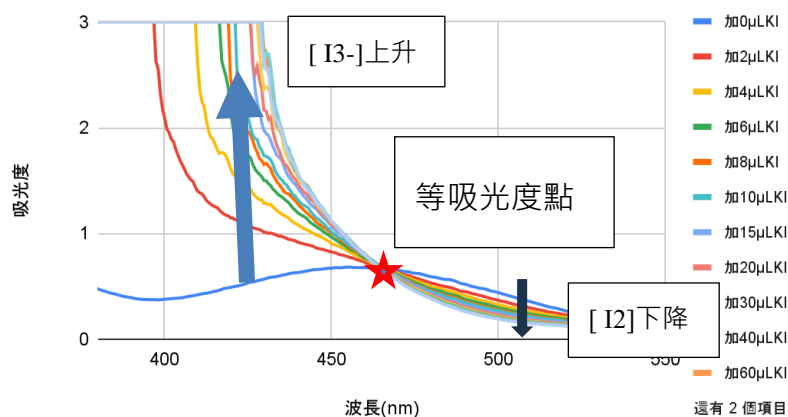
$$V_{Na_2S_2O_3} * [Na_2S_2O_3] = 2V * V_{I_2+I_3^-} * [I_2 + I_3^-]$$

- A 溶液為純碘的飽和水溶液，求得碘在水中飽和濃度為 0.001208 M。
- B、C、D 三溶液中， $[I_2(aq)]$ 為定值，將溶液所測得 I_3^- 和 I_2 濃度和扣除純碘在水中平衡濃度後，即可得 B、C、D 三溶液之濃度。透過計量化學的計算出 I^- 濃度後，由平衡常數公式 $K = [I_3^-][I_2] * [I^-]$ 可得到 B、C、D 溶液之平衡常數。

二、光譜法：

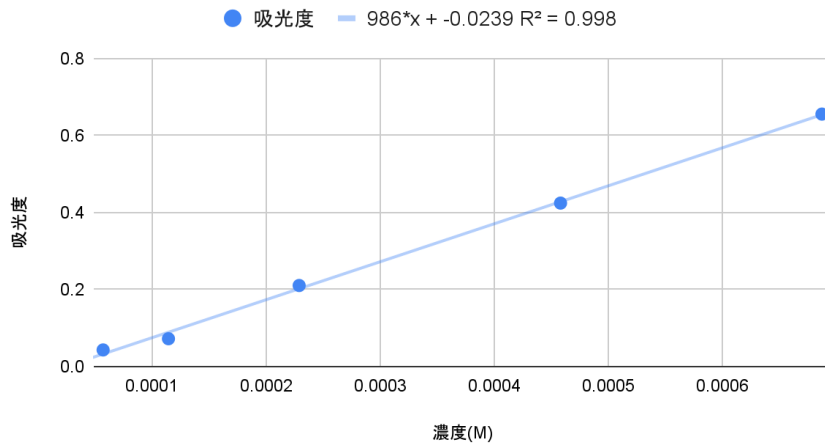
(一) 研究結果：

純碘逐次加微量碘化鉀



- 將純碘溶液逐次加入 KI 溶液測其光譜，觀察可知等吸收點在波長 464.3 nm 處。
- 量測純碘及其稀釋溶液的吸收光譜，繪製其吸光度曲線及 464.3 nm 處的檢量線。因同濃度 $I_2 + I_3^-$ 在等吸收點的吸收值相同，故可利用此點的吸收度換算出 I_2 與 I_3^- 的濃度和。將數據統合後可作得濃度與吸光度之檢量線圖。

吸光度與濃度檢量線



3. 利用檢量線，再從 A、B、C、D 光譜數據中挑出波長 464.3 nm 時各溶液的吸光度。將其代入檢量線方程式得 $I_2 + I_3^-$ 濃度等於：(吸光度+0.0239) ÷ 986.44，得 B、C、D 溶液裡的 $I_2 + I_3^-$ 濃度和。
4. 依照滴定法之計算推算平衡常數。

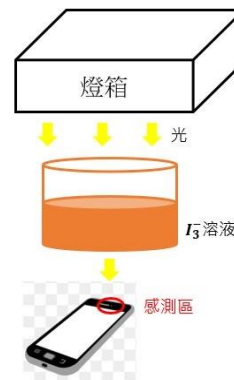
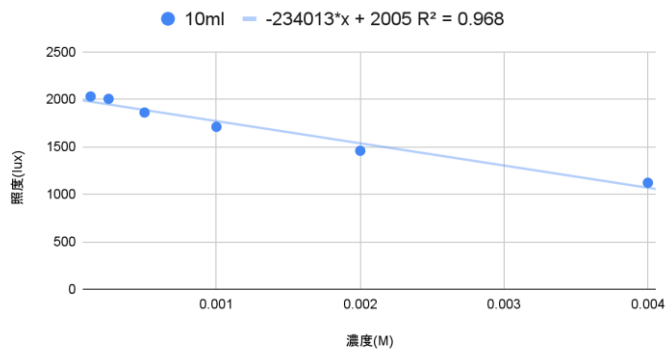
溶液	A	B	C	D
K	-	429.7517178	832.9439051	566.9010459

三、手機光測法：

(一) 研究結果：

1. 根據 $I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$ 反應式，以過量 KI 和定量 I_2 反應時，可假設 I_2 完全向右反應時形成 I_3^- ，且在溶液中呈現棕色溶液隨著稀釋倍數越大，會漸漸從棕色變成亮黃色，測量到的照度也漸大，因此可以利用 I_3^- 濃度與照度的關係來製作檢量線。

0.1MKI 甲~己 10mL



	A	1/3B	1/3C	1/3D
照度(lux)	1685	1632	1409	1156
1/3 [I ₃ ⁻ + I ₂] (M)	-	0.001359482727	0.002106193683	0.002953359027
[I ₃ ⁻ + I ₂] (M)	0.001182013307	0.004078448181	0.006318581048	0.008860077082
初始 [I ⁻] (M)	-	0.005	0.01	0.02
平衡 [I ₃ ⁻] (M)	-	0.00288513854	0.005125271407	0.007666767441
平衡 [I ₂] (M)	-	0.001182013307	0.001182013307	0.001182013307
平衡 [I ⁻] (M)	-	0.00211486146	0.004874728593	0.01233323256
K	-	1154.150339	889.4961276	525.9119066

2. 以手機光測法求 $I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$ 的平衡常數的計算方式

(1) 以上表，將 A、B、C、D 溶液 10 mL 分別測量照度後代入檢量線公式

$$y = -234013x + 2005。$$

(2) 因溶液 A 沒有加 KI，所以溶液中沒有 I₃⁻，得出濃度為 I₂ 在水中的飽和濃度。

(3) B 照度 1632 代入檢量線計算得平衡 [I₃⁻ + I₂] = 0.004078448181M。

(4) B 平衡 I₃⁻ 濃度 = [I₃⁻ + I₂] - [I₂]，計算得 0.00288513854 M。

(5) 平衡 KI 濃度 = B 溶液 KI 初濃度 - 平衡 I₃⁻ 濃度，B 溶液 KI 濃度為 0.005 M，則平衡 KI 濃度 = 0.00211486146 M。

(6) 根據反應式平衡常數 $K = [I_3^-] / [I_2] * [I^-]$ ，將數據代入得 $K = 1154.150339$ 。

(7) 1/3C、1/3D 溶液求反應平衡常數算法以此類推。

(8) 因溶液 B、C、D 濃度太濃，所以稀釋三倍測其照度。

五、結論與生活應用

本實驗所嘗試的三種測量平衡常數方法皆為能測量出準確數據的方法。滴定法使用硫代硫酸鈉還原碘分子及三碘陰離子，可求出平衡常數為 753，但操作步驟較繁雜；光譜法利用等吸收點的特性可求得平衡常數，光譜法的平衡常數為 609。光譜儀並非一個隨處可得的機器

光測法相較於滴定法較為便捷且較節省藥品的使用，因此最容易在大部分高中課堂及實驗中運用的是手機光測法，不須任何花費，便能輕鬆的測量濃度，可將科學實驗帶進日常生活，是未來可推廣至在家中、辦公室中測量溶液濃度的便捷方法，如煮中藥時，只要簡單的乾淨透明杯及手機 app 及可量測出中藥的大概濃度，幫助煎煮中藥。抑或是烹煮咖啡時，可以使用本實驗方法輕鬆量出咖啡濃度，調配出黃金比例的咖啡。

參考資料

- 一、張煥宗,李弘文,簡敦誠等... (2020). 選修化學 II (全) 物質構造與反應速率 (No. 9789865190033). 龍騰文化.
- 二、Equilibrium Constant - Formula, Applications, Relationships. (n.d.). BYJU'S.

https://www.google.com/search?q=Equilibrium+constant.&oq=Equilibrium+constant.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIGCAEQABgeMgYIAhAAGB4yBggDEAAYHjIGCAQQABgeMgYIBRAAGB4yBggGEAAyHjIGCAcQABgeMgYICBAAGB4yBggJEAAYHtIBBzCWNGowajSoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8

三、 What Is an Isosbestic Point? (n.d.). Chemicool.

https://www.chemicool.com/definition/isosbestic_point.html

四、 Iodine. (n.d.). Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Iodine>

五、 Beer-Lambert Law. (n.d.). 國立清華大學.

<https://webmail.life.nthu.edu.tw/~labcjw/BioPhyChem/Spectroscopy/beerslaw.htm>