

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第一名

030207

亮不亮，有關係—LED 在電化學的應用與溶液
電導度特性探討

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國二 盧儀軒 國二 蔡欣芸 國二 陳貴貞 國二 陳玟瑄	指導老師： 林宏一 韓顏吉
---	-----------------------------

關鍵詞：LED、電解質、電導度

得獎感言



「一分耕耘，一分收穫」，是我們本次科展感受最深刻的心得。從實驗之初對藥品不熟、溶液不會調配、儀器不會架設……等，在許多不熟悉的情況下，憑著一股想做科展且永不放棄的熱忱，利用假日及課餘的時間接受老師的指導，終於能順利的完成此作品，而且也很幸運，實驗結果能受到評審的青睞，對於這一年來的付出是莫大的肯定。

而整個科展活動期間，除了付出的努力和時間外，同時也得到許多寶貴的經驗，尤其是參加全國科展五天開拓我們的見識，以及榮獲總統召見等，都有可能是一輩子難遇到的事。

最後，我們的作品能受到大會的肯定，有如此的佳績，都是許多老師、家長及朋友在背後協助及支持，在此表達感謝之意，也與他們分享得獎的喜悅。

摘要

本研究用 LED 取代「**電解質實驗**」的鎢絲燈，來分辨水溶液為弱電解質或非電解質，發現**黃光 LED** 的效果最明顯，而最佳適用條件為溶液**濃度低於 0.01M**，**電源電壓在 3.0V~4.6V** 之間；並利用此特性，配合「**減量實驗**」的設計，可達到**減少實驗藥品浪費**的目的。

此外還對溶液的導電性加以研究，發現(1) 離子運動快慢情形： **$H^+ > K^+ > Na^+$** ， **$OH^- > Cl^- > NO_3^-$** ；(2) 溶液溫度上升電導度不一定增加，還要考慮電解質的解離情形；(3) 溶液離子濃度越高導電性越佳。

最後利用 LED 及溶液的電導度特性，來改善國中課本中「**酸鹼滴定實驗**」及「**反應速率實驗**」的觀察，以電導度的變化來了解電化學反應的進行，並進一步設計了「**運算放大器電路**」來呈現變化，以利教學上的實際操作。

壹、研究動機

LED (Light Emitting Diode-發光二極體)節能效果比傳統鎢絲燈優良甚多，加上 LED 只需低的直流電壓就能發光的特性，讓我們聯想到，若能用 LED 取代「**電解質實驗**」的鎢絲燈，是否更容易分辨水溶液為強電解質、弱電解質或非電解質；若在低濃度下 LED 通電即會發亮，便可**減少實驗藥品的用量**。另外，探討在酸鹼沉澱滴定中，用 LED 通電的亮度變化取代酸鹼指示劑的可行性。希望能夠**使國中課程的實驗更容易被觀察及理解**。

貳、研究目的

- 一、在固定電壓下，探討 LED 的亮度變化、電流值與 $KNO_3(aq)$ 濃度高低的關係。
- 二、利用 LED 在低電流值會發光的特性，設計「**減量實驗**」以達到藥品減量的目的。
- 三、探討酸鹼沉澱滴定中，用 LED 取代酸鹼指示劑判斷達到滴定終點的可行性。
- 四、探討各式酸鹼滴定的電導度及 pH 值變化曲線。
- 五、探討溶液的離子濃度與其電導度的關係。
- 六、探討溶液的溫度對其電導度的影響。
- 七、以溶液電導度的變化來分析化學反應速率的實驗，以 $CH_3COOC_2H_5$ 加 $NaOH(aq)$ 為例。
- 八、設計簡單電路，方便來觀察理化課程中「**電解質實驗**」、「**酸鹼滴定實驗**」及「**反應速率實驗**」。

參、研究設備與器材

一、藥品：

- | | | | |
|--|----------------------------|--|-------------------------------|
| 1. 氫氧化鈉 (NaOH) | 2. 硝酸鉀(KNO ₃) | 3. 硫酸(H ₂ SO ₄) | 4. 氫氧化鈣〔Ca(OH) ₂ 〕 |
| 5. 蒸餾水 | 6. 葡萄汁 | 7. 蘋果汁 | 8. 礦泉水 |
| 9. 乙酸乙酯(CH ₃ COOC ₂ H ₅) | 10. 氯化鉀(KCl) | 11. 酒精 | 12. 醋酸(CH ₃ COOH) |
| 13. 食鹽(NaCl) | 14. 氨水(NH ₄ OH) | 15. 硫酸銅(CuSO ₄) | |



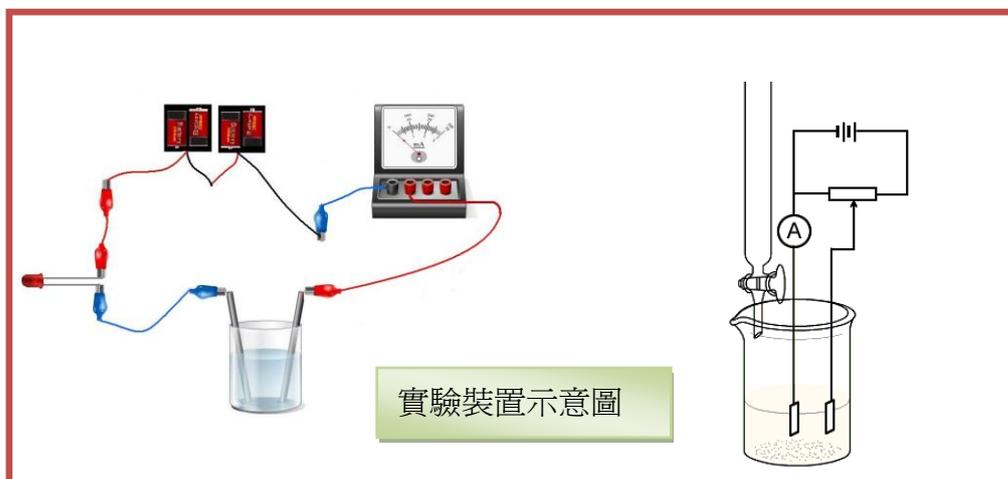
二、重要器材：



LED 燈與電解質濃度實驗裝置圖



酸鹼滴定實驗裝置圖





1.碳棒和纏繞膠帶的碳棒



2. LED (紅光、白光、黃光)



3.鎢絲燈及燈座(3.8V 0.3A)



4.pH 計



5.電導度計



6.水浴恆溫裝置

肆、研究方法

一、研究步驟

(一) 在固定電壓下，探討鎢絲燈和 LED 的亮度變化、電流值與 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 濃度的關係。

- 1、實驗裝置如右圖。(碳棒以膠帶密封上半部，控制碳棒在液面下的長度為 2.5cm，使碳棒與溶液接觸面積相同)
- 2、在 150mL 的燒杯中放入 100mL 的待測液(如不同濃度的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$)，記錄通電後的電流值，並觀察燈具(鎢絲燈和 LED)的亮度變化。



- 3、視需要以溫度計、電導度計或 pH 計，測量待測液相關資料記錄於附錄表中。

(二) 用 LED 的亮度檢驗蒸餾水、葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、運動飲料、自來水的導電情形。

- 1、利用上述實驗裝置，改放入 100mL 的待測液(蒸餾水、葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、自來水、運動飲料等)，記錄通電後的電流值與 LED 的亮度變化。
- 2、改以三個電池串聯，重複上述步驟，通電後觀察 LED 在各種待測液中的亮度變化與電流值。

(三) 利用 LED 低電流值就能發亮的特性，探討實驗藥品與電池減量的方法：

在定量的蒸餾水中，逐漸加入待測液，觀察黃、紅光 LED 變明亮時的用量

- 1、測量三顆電池串聯的電壓，蒸餾水的溫度及電導度。
- 2、如右圖架設實驗裝置，通電後記錄電流值。
- 3、在 25mL 的滴定管中加入待測液(0.1M 和 0.01M 的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 、0.1M 和 0.01M $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 、葡萄汁、蘋果汁、運動飲料)，在燒杯中每次滴入 0.1mL 的待測液，記錄溶液的電導度，電流值，並觀察 LED 的亮度變化。



- 4、直到燒杯中滴入待測液的量，使得 LED 的亮度由「不亮」變成「明亮」（電流值約為 0.15~0.3mA）時，實驗停止。
- 5、將電源改為二個電池串聯，重複步驟 1~4，記錄燒杯中滴入待測液的量。
- 6、將電源改為二個電池串聯，測量 150mL 的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 在**關鍵濃度(0.01M、0.001M、0.0001M、0.00001M)**下，黃、紅光 LED 亮度改變時的電流值與電導度。

(四) 探討酸鹼沉澱滴定中，用 LED 取代酸鹼指示劑判斷達到滴定終點的可行性。

- 1、配製 pH=12 的 $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ 和 pH=2 的 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 。
- 2、利用漏斗在滴定管中裝入 50mL 的 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ ，在燒杯中放入 50mL $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ 。
- 3、用四顆電池串聯為電源，把電解裝置放入燒杯中，每次滴入 1~2mL 的 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 時，記錄電流值及電導度，並觀察黃光、紅光 LED 的亮度變化。
- 4、改以三顆電池串聯為電源，重複上述步驟。

(五) 探討各式酸鹼滴定的電導度及 pH 值變化曲線。

利用電導度計與 pH 計來觀察滴定時溶液電導度與 pH 值的變化。

- 1、配好實驗所需之溶液，並事先測量其電導度及 pH 值。
- 2、利用先前調好之酸鹼溶液，來做各式酸鹼滴定實驗， $\text{NaOH}(\text{aq})$ 滴 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 、 $\text{HCl}(\text{aq})$ 滴 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 滴 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 滴 $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 滴 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ ，並利用電導度計、pH 計測量其變化。

(六) 探討溶液的離子濃度與其電導度的關係。

利用電導度計觀測各種離子溶液的電導度隨濃度變化的情形

- 1、使用 $\text{NaCl}(\text{aq})$ 、 $\text{KCl}(\text{aq})$ 、 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 、 $\text{HCl}(\text{aq})$ 、 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 及 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 七種離子溶液來實驗。
- 2、因為電導度計的量測範圍(10~2000 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$)， $\text{NaCl}(\text{aq})$ 、 $\text{KCl}(\text{aq})$ 、 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 、 $\text{HCl}(\text{aq})$ 及 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 濃度的調配為 0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M、0.0001M，然後量測其電導度並記錄之。
- 3、 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 的濃度選定為 1M、0.5M、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M 及 0.0001M
- 4、 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 的濃度選定為 0.005M、0.001M、0.0005M 及 0.0001M。

(七) 探討溶液的溫度對其電導度的影響。

利用恆溫水浴槽來控制溶液溫度，並觀察溶液電導度隨溫度變化的情形。

- 1、使用 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KNO}_3_{(\text{aq})}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2_{(\text{aq})}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{aq})}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 六種離子溶液來實驗，濃度分別為 0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M、0.0001M。
- 2、將配好的溶液放入恆溫水浴槽中，控制溫度，並測量其電導度變化。因為電導度計適用溫度範圍限制，因此只在 25°C ~40°C 取四個適當溫度做比較。

(八) 以溶液電導度的變化來分析化學反應速率的實驗，以 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ 加 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 為例。

以 0.01M $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 與 0.01M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 一定的體積比混合，探討混合後之電導度變化。

- 1、先調配好 0.01M $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 與 0.01M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 。
- 2、利用滴定裝置將 0.01M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ ，每次以 5mL 滴入 100mL 0.01M $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ ，測量其電導度，直到加入 150mL 的 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 為止。
- 3、同樣地，將 0.01M $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 每次以 5mL 滴入 100mL 0.01M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 量測其電導度，直到加入 150mL 的 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 為止。

利用電導度計來觀察皂化反應發生時的電導度變化。

- 1、先配好 0.01M $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 及 0.1M $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(\text{aq})}$ 各 50mL。並先測量 0.01M $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 之電導度。
- 2、將 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(\text{aq})}$ 加到 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 中，放入電導度計，每隔 10 秒讀取一次數值，直到數值有兩分鐘不再變化。並利用恆溫水浴槽控溫在 25°C、30°C 及 35°C，重複上述之步驟。

伍、研究結果

一、在固定電壓下，比較鎢絲燈、LED 的亮度變化、電流值與 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 濃度的關係。

(一) 以鎢絲燈的亮度變化觀察電解質導電情形：

不同濃度的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ ，通電後電流值和鎢絲燈亮度變化，整理如圖 1 所示。

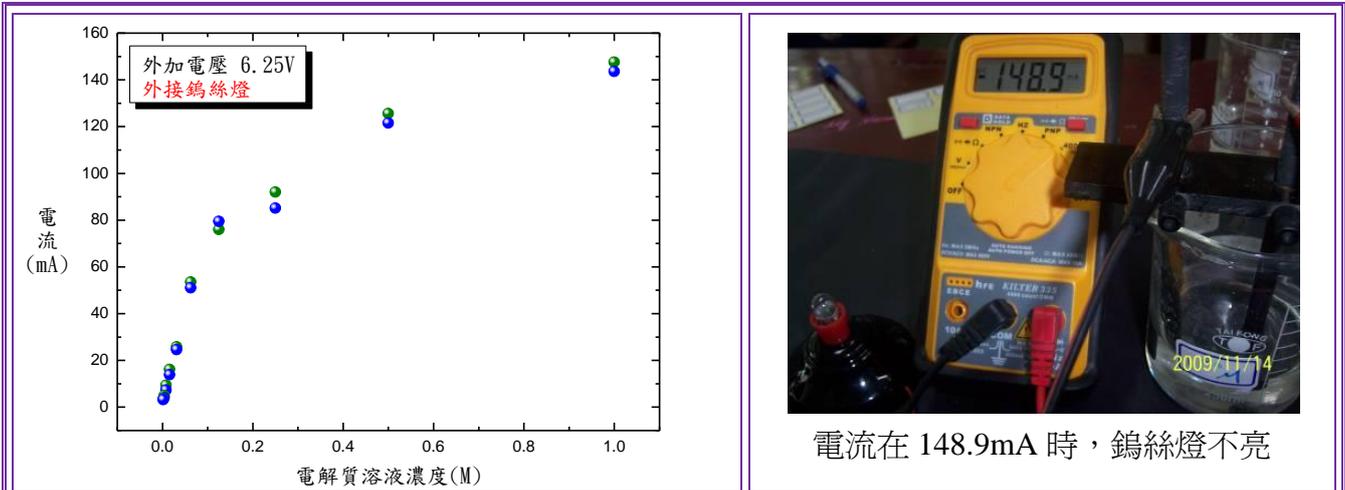


圖 1 在不同濃度的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 中鎢絲燈的電流值及亮度變化。發現當通過鎢絲燈的電流值在 148.9mA 以下時，鎢絲燈始終不亮，只能靠觀察兩碳棒電極處是否有氣泡產生，來判斷溶液是否導電，這是教科書上用鎢絲燈做實驗的限制。鎢絲燈的優點是穩定性高，使得同濃度做二次的數據平均值均相當接近。

(二) 以白光 LED 的亮度變化觀察 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 導電情形：

不同濃度的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ ，通電後的電流值和白光 LED 的亮度變化，整理如圖 2 所示。

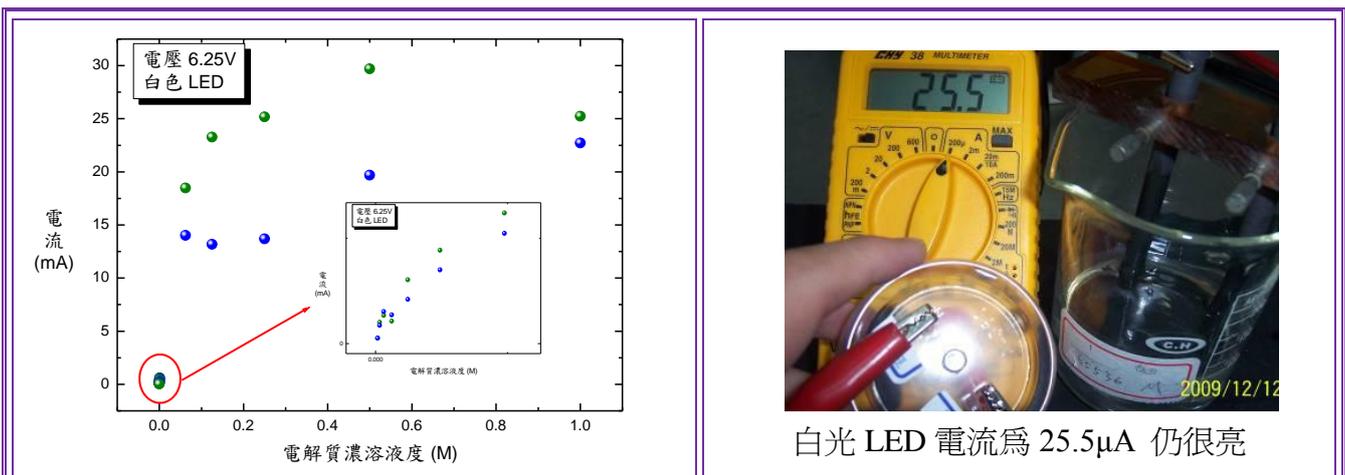


圖 2 在不同濃度的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 中，白光 LED 的電流值及亮度變化。發現白光 LED 在極稀薄的濃度 (約 $1/60000\text{M}$) 與極微小的電流 (0.03mA) 下，亮度仍很亮，不易隨濃度而改變，故較不利觀察弱電解質導電的差異，且其工作電壓 (3.0~3.6V) 較大，因此可改用黃光 LED 和紅光 LED 繼續做實驗探討；另外同一濃度做二次實驗的電流平均值在 20mA 以上有明顯差異。

(三) 以黃光 LED 的亮度變化觀察 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 導電情形：

不同濃度 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的電導度，通電後的電流值和黃光 LED 的亮度，整理如圖 3 所示。

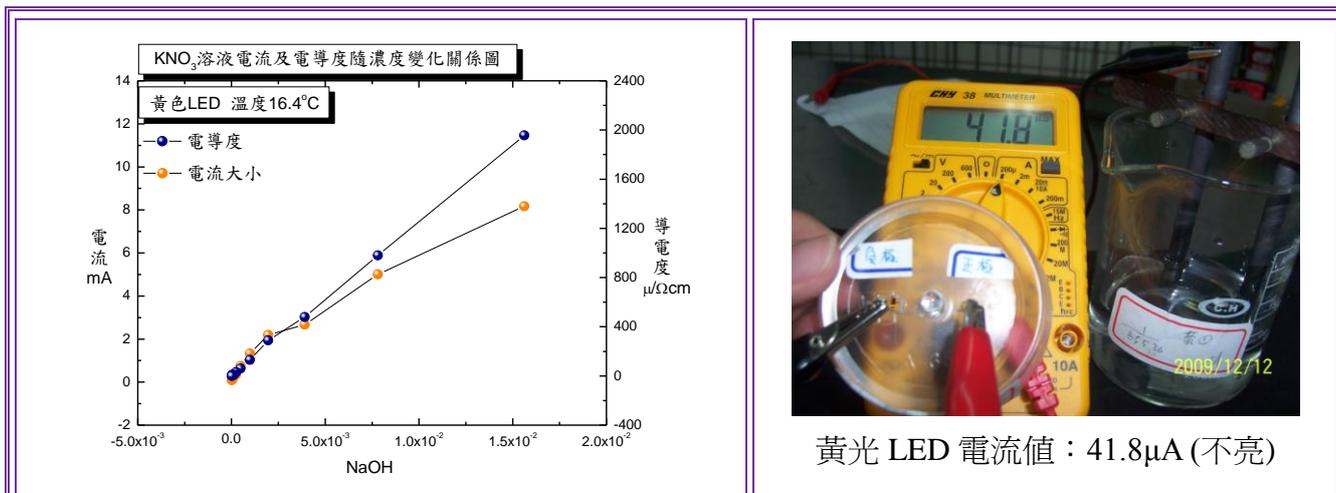


圖 3 在不同濃度 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的電導度，黃光 LED 的電流值及亮度變化。發現當 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的濃度在 1/8192M、電流值 0.2533mA 以下、電導度為 1.0($10*\mu\Omega*\text{cm}$)時，黃光 LED 開始變暗(有點亮)；當濃度在 1/65536M、電流值 0.0833mA 以下、電導度降為 0 時，黃光 LED 變為微亮。濃度在約 1/60000M 以下、電流值在 0.04mA 以下就不亮。可見濃度降低時，黃光 LED 亮度易有明顯的變化。

(四) 以紅光 LED 的亮度變化觀察 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 導電情形：

不同濃度 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的電導度，通電後的電流值和紅光 LED 的亮度變化，整理如圖 4 所示。

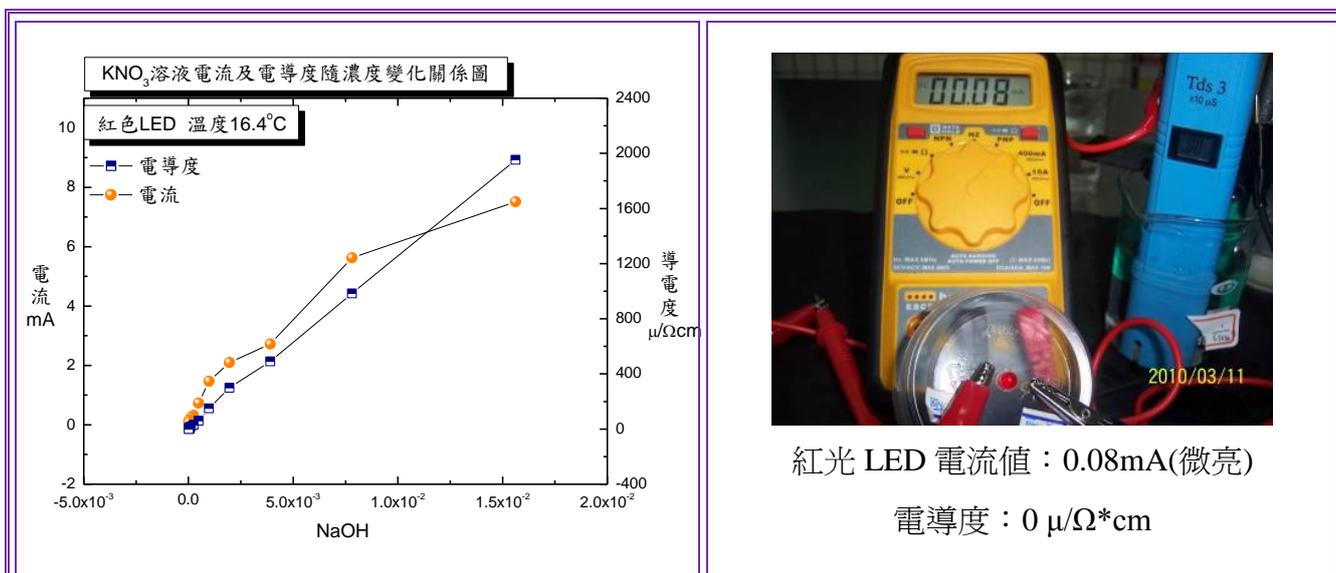


圖 4 在不同濃度 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的電導度，紅光 LED 的電流值及亮度變化。發現紅光 LED 在濃度 1/16384 M 以下、電流值 0.1533 mA 以下、電導度為 1.5($10*\mu\Omega*\text{cm}$)時，紅光 LED 亮度明顯變暗 (有點亮)；濃度約 1/65536M、電流值在 0.0833mA 以下，電導度降為 0($10*\mu\Omega*\text{cm}$) 以下時，紅光 LED 變成微亮狀態，故濃度降低時，亮度也會有明確的變化。

(五) 實驗結果整理：

- 1、四種燈泡的亮度變化比較如下表 1 所示：黃光 LED 和紅光 LED 亮度會隨濃度而改變，較適合用來分辨弱電解質與非電解質。

表 1、不同濃度 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 中，四種燈泡的亮度變化情形				
燈泡種類	鎢絲燈	白光 LED	黃光 LED	紅光 LED
亮度變化	均不亮	均很亮	會隨濃度而改變	會隨濃度而改變

- 2、黃光 LED 與紅光 LED 亮度由「明亮」變成「有點亮」時的溶液濃度、電流值及電導度如表 2 所示。

表 2、LED 亮度由「明亮」變成「有點亮」的溶液濃度、電流大小及電導度				
燈泡種類	濃度(M)以下	電流值(mA) 以下	電導度($10 \cdot \mu/\Omega \cdot \text{cm}$)以下	備註
黃光 LED	1/8192	0.25	1.0	6.34V、16.4°C
紅光 LED	1/16384	0.15	1.4	6.34V、16.4°C

- 3、LED 亮度變化與電流值關係整理如表 3 所示。

表 3、LED 不同亮度的電流值範圍				
燈泡種類	不亮	微亮	有點亮	明亮
黃光 LED	0.03mA 以下	0.03~0.09mA	0.09~0.24mA	0.25mA 以上
紅光 LED	0.02mA 以下	0.02~0.09mA	0.10~0.14mA	0.15mA 以上

黃光 LED 在「有點亮」的電流值範圍較大，濃度改變時較容易觀察到由「有點亮」變成「明亮」的亮度變化，因此黃光 LED 較紅光 LED 更適合用來觀察低濃度下電解質溶液濃度與亮度的變化。故黃光 LED 較適合用來分辨弱電解質與非電解質。

4、紅光、黃光 LED 的三種亮度的照片如圖 5~圖 6 所示。



二、用 LED 的亮度檢驗蒸餾水、葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、運動飲料、自來水的導電情形。

1、以紅光、黃光 LED 檢驗蒸餾水的導電情形，如表 4 所示。

表 4、以四顆電池串聯，用 LED 的亮度檢驗蒸餾水導電情形(6.23V)

	電壓：	6.23V		電導度：0	
溶液種類	第 1 次	第 2 次	第 3 次	電流平均值(mA)	亮度變化
紅光 LED	0.0222	0.0221	0.0222	0.0212	不亮
黃光 LED	0.0578	0.0580	0.0583	0.0580	不亮



2、使用三顆電池串聯(電壓約 4.7V)，以紅光、黃光 LED 的亮度檢驗 100mL 的待測液(蒸餾水、葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、自來水、運動飲料等)的導電情形，除蒸餾水呈「不亮」外，其它待測液呈「明亮」或「很亮」狀態。可明顯的區分出蒸餾水為非電解質；葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、運動飲料、自來水等為電解質，如下圖所示。



圖 8 紅光 LED 測礦泉水(明亮)



圖 9 黃光 LED 測礦泉水(明亮)



圖 10 紅光 LED 測自來水(很亮)



圖 11 黃光 LED 測自來水(很亮)



圖 12 紅光 LED 測蘋果汁(很亮)



圖 13 黃光 LED 測蘋果汁(很亮)

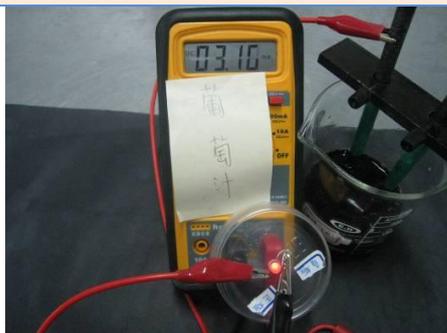


圖 14 紅光 LED 測葡萄汁(很亮)



圖 15 黃光 LED 測葡萄汁(很亮)



圖 16 紅光 LED 測運動飲料(很亮)

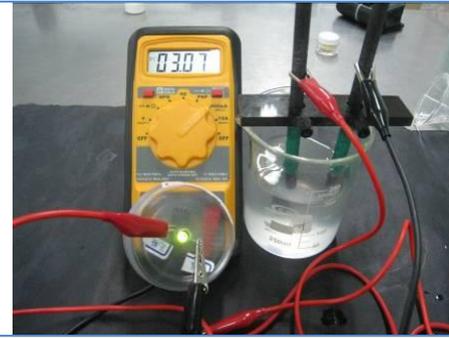


圖 17 黃光 LED 測運動飲料(很亮)

三、利用 LED 低電流值就能發亮的特性，探討實驗藥品與電池減量的方法：

- 1、以三顆電池串聯，在蒸餾水(100mL)中，逐漸加入待測液(0.1M 和 0.01M 的 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 、0.1M 和 0.01M $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 、葡萄汁、蘋果汁、運動飲料)，記錄黃光、紅光 LED 的亮度由「不亮」變成「明亮」時滴入待測液的量，實驗結果整理如表 5 所示。

表 5、以三顆電池串聯，LED 的亮度變成「明亮」時滴入待測液的量

電壓：4.68~4.71V				溫度：20.4~20.7°C		
LED 種類	紅光 LED			黃光 LED		
待測液種類	用量(mL)	電流值(mA)	電導度	用量(mL)	電流值(mA)	電導度
0.01M $\text{KNO}_3(\text{aq})$	1.0	0.1	1	2.2	0.19	2
0.01M $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	1.9	0.20	3	2.3	0.19	2
運動飲料	0.8	0.13	1	0.8	0.19	2
蘋果汁	0.4	0.14	2	0.7	0.21	2
葡萄汁	0.3	0.23	3	0.4	0.35	4

- 2、因為黃光 LED 在「有點亮」的電流值範圍較大，濃度改變時較容易觀察到由「有點亮」變成「明亮」的亮度變化，因此以黃光 LED 做進一步探討。將電池組降為二顆電池串聯，待測液 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 和 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 的濃度可提高至 0.1M，將實驗結果與表 5 黃光 LED 做比較，整理如表 6 所示。

表 6、串聯電池數改變，黃光 LED 亮度變成「明亮」時，滴入待測液量的變化

電池組的電壓	三顆電池串聯			二顆電池串聯		
實驗條件	電壓： 4.68~4.71V 溫度： 20.4~20.7℃			電壓： 3.2~4.71V)溫度： 24.3~25.9℃		
待測液種類	用量(mL)	電流值(mA)	電導度	用量(mL)	電流值(mA)	電導度
0.1M KNO _{3(aq)}				1.6	0.27	21
0.01M KNO _{3(aq)}	2.2	0.19	2	10.8	0.25	21
0.1M CH ₃ COOH _(aq)				1.9	0.15	6
0.01M CH ₃ COOH _(aq)	2.3	0.19	2	6.8	0.1	4(有點亮)

(1) 電池組降為二顆電池串聯時，當黃光 LED 亮度變成「明亮」時，把 KNO_{3(aq)}和 CH₃COOH_(aq)的濃度提高至 0.1M，仍可以減少滴入待測液量。

(2) 若 KNO_{3(aq)}和 CH₃COOH_(aq)的濃度仍維持 0.01M，將電池組降為二顆電池串聯時：會大幅增加待測液的用量，尤其如 CH₃COOH_(aq)的弱電解質，由於電解槽工作電壓降低，要滴入很多的待測液才會讓黃光 LED 的亮度變成「有點亮」。因此葡萄汁、蘋果汁、運動飲料的部分就不再進一步探討。

3、將電源改為二個電池串聯，測量 150mL 的 KNO_{3(aq)}在關鍵濃度下，黃光、紅光 LED 亮度改變情形，結果整理如表 7。

表 7、二顆電池串聯，測量 KNO_{3(aq)}在關鍵濃度下，LED 亮度改變情形

	電池組電壓	3.16(V)		溫度	22.8℃				
電解質種類	燈泡種類、亮度變化及電流值(mA)								
硝酸鉀濃度	電導度	不亮		微亮		有點亮		明亮	
(M)	10*μ/Ω*cm	紅光	黃光	紅光	黃光	紅光	黃光	紅光	黃光
0.01	103.00							0.47	0.3667
0.001	12.00					0.13	0.123		
0.0001	1.00			0.03	0.03				
0.00001	0.00	0.01	0.01						

四、探討酸鹼沉澱滴定中，用 LED 取代酸鹼指示劑判斷達到滴定終點的可行性。

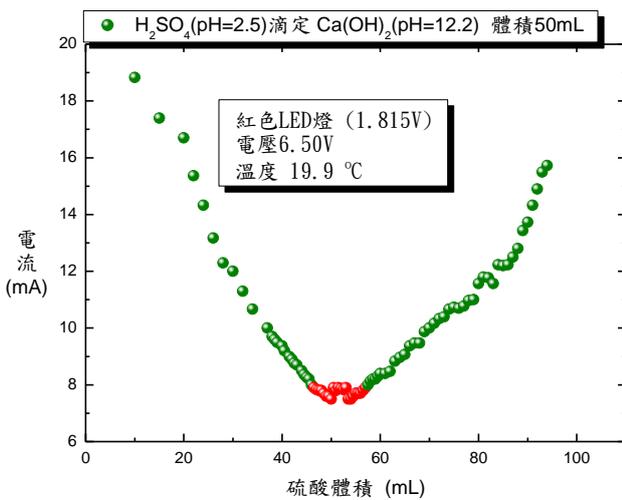


圖 18 四顆電池串聯，以紅光 LED 的亮度檢驗 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 滴定 $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ 導電情形。發現當電流值降至 10mA 以下時，每次加入 0.5mL 的 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ，在快達滴定終點時，電流值與加入 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 體積關係圖的曲線會出現緩慢的升降變化，能清楚顯現滴定的終點的位置，但電流值始終大於 7mA 以上，故紅光 LED 仍然很亮。

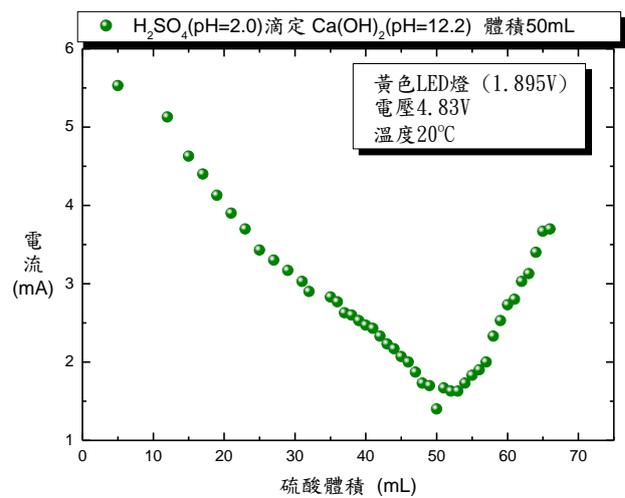


圖 19 三顆電池串聯，以黃光 LED 的亮度檢驗 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 滴定 $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ 導電情形。發現當電流值降至 2mA 以下時(加入 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 體積在 47mL~56mL 間)，電流值與加入 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 體積關係圖的曲線出現緩慢的升降變化，能清楚顯現滴定的終點的位置；當加入 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 體積 50mL 時，電流值達到最小值(1.4mA)，黃光 LED 燈的亮度有減弱，但仍呈「很亮」狀態。

五、探討各式酸鹼滴定的電導度及 pH 值變化曲線。

分別做強酸滴定強鹼、弱酸滴定弱鹼等實驗並分別量測其電導度變化。

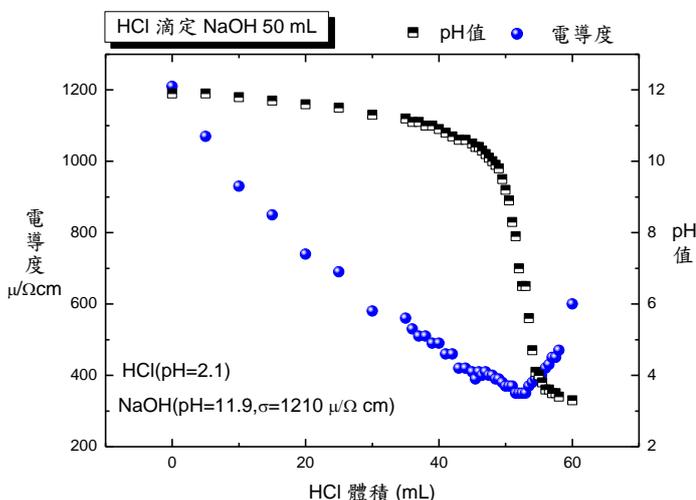


圖 20 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 滴定 50mL $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 其電導度及 pH 值變化曲線。基本上可以由 pH 值判斷出滴定終點，若輔以電導度，則可以更清楚酸鹼中和的反應情形。就 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 滴定 $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ 而言，因 $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ 不易溶於水，所以實際濃度則以 pH 值來呈現，其行為能符合強酸滴定強鹼。

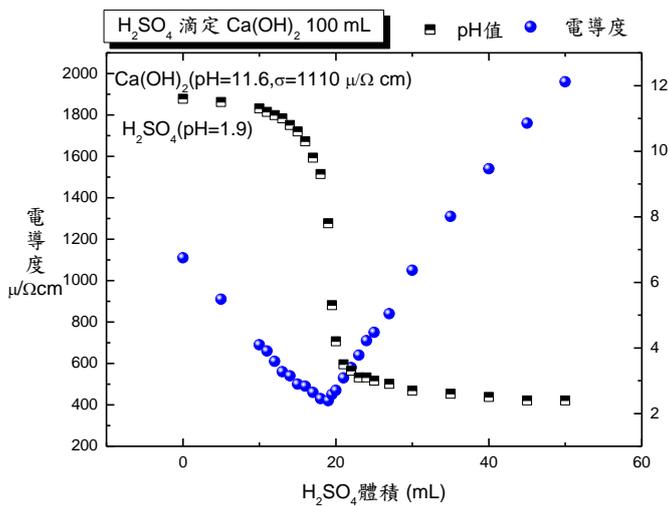


圖 21 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 滴定 100mL $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ 其電導度及 pH 值變化曲線。

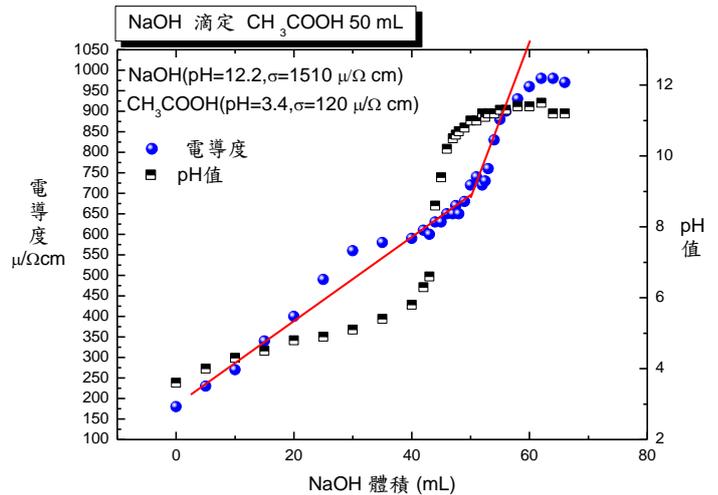


圖 22 $\text{NaOH}(\text{aq})$ 滴定 50mL $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 其電導度及 pH 值變化曲線。發現單純的從 pH 值是無法輕易得知滴定終點，若搭配電導度的變化，便可以分析出滴定終點。

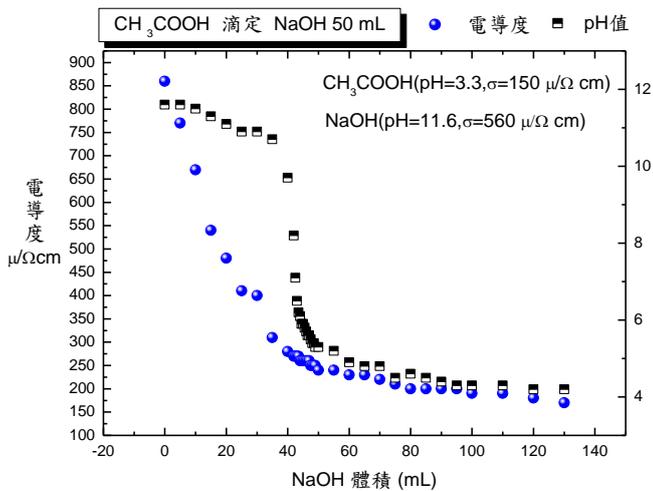


圖 23 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 滴定 50mL $\text{NaOH}(\text{aq})$ 其電導度及 pH 值變化曲線。 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 為 0.01M， $\text{NaOH}(\text{aq})$ 為 0.005M。若以 pH 值來看， $\text{NaOH}(\text{aq})$ 只要約 25mL 就達滴定終點，而電導度的變化就不易看出來。

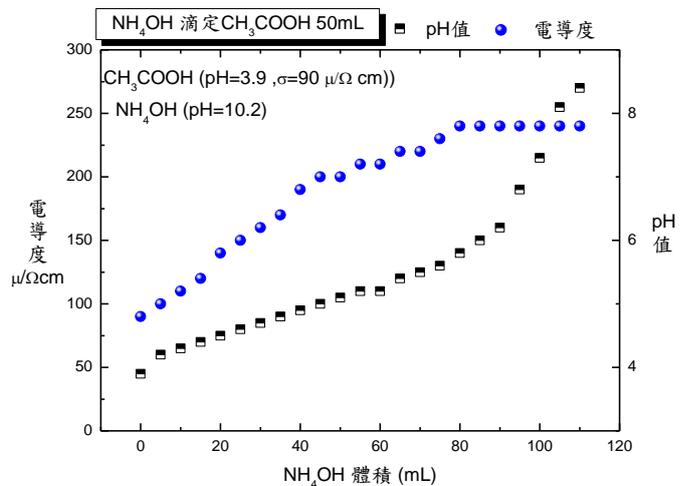


圖 24 $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 滴定 50mL CH_3COOH 其電導度及 pH 值變化曲線。 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 和 $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 均為 0.005M，其滴定終點應為 50mL，pH=7，但滴定終點約為 80mL。可能是在調配 $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 時，有揮發情形，導致 $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 的濃度比預定的還要小，所以滴定終點時便要更多的體積。

六、探討溶液的離子濃度與其電導度的關係。

使用 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KNO}_3_{(\text{aq})}$ 及 $\text{CuSO}_4_{(\text{aq})}$ 七種離子溶液來實驗，濃度分別為 0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M、0.0001M。

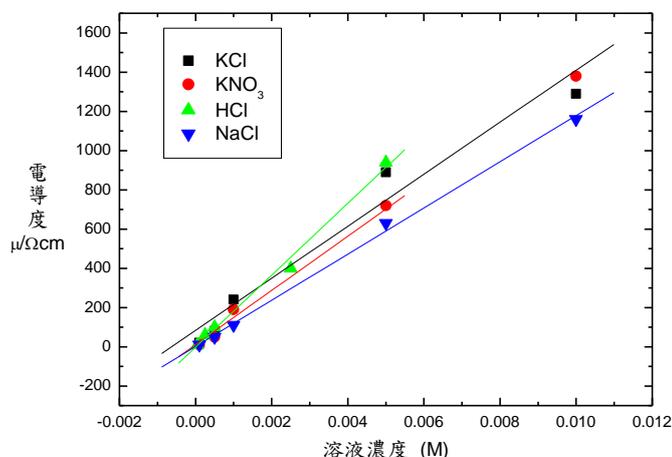


圖 25 離子溶液濃度與電導度之關係

圖。發現到強電解質水溶液的電導度與濃度呈現線性相關，隨濃度增加導電性越佳。

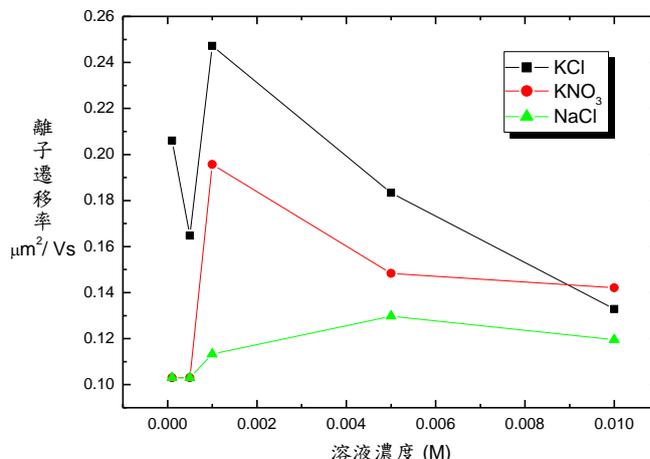


圖 26 離子溶液濃度與離子遷移率之關係

圖。發現到離子遷移率(σ/n)隨著濃度減小有變大的趨勢，但當濃度小於 0.001M 時，卻有忽然變小的情形。

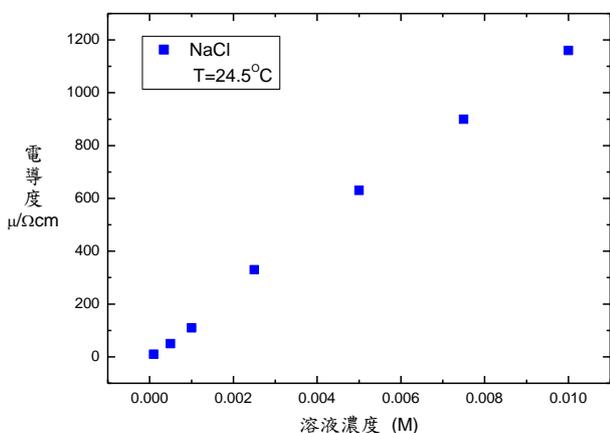


圖 27 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 濃度與其電導度之關係圖。

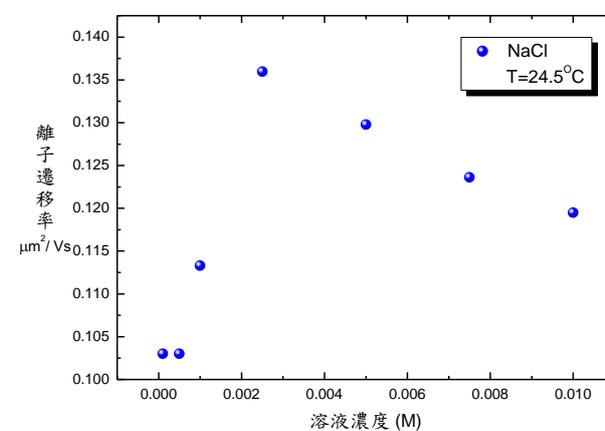


圖 28 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 濃度與其離子遷移率之關係圖。

說明：為了驗證上一個實驗所發現的情形，重新調配 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ ，在 0.01M~0.0001M 的測量區間多增加了 0.0075M 及 0.0025M 這兩個點，發現電導度及離子遷移率的與濃度的關係曲線如上圖，依然與上一個實驗有類似的變化情形。

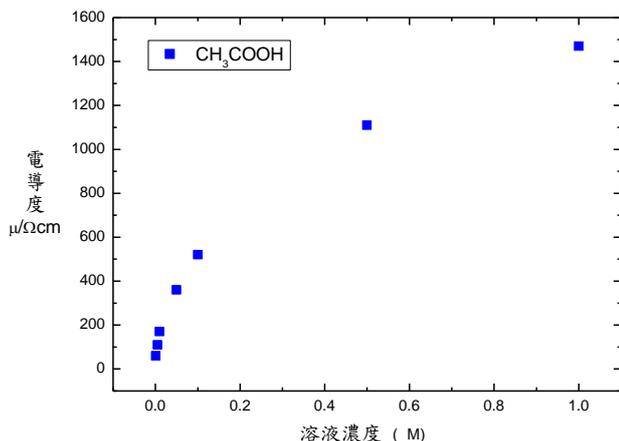


圖 29 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 濃度與其電導度之關係圖。發現電導度與溶液濃度曲線不像強電解質一樣成線性，而是濃度越高電導度變化越小。

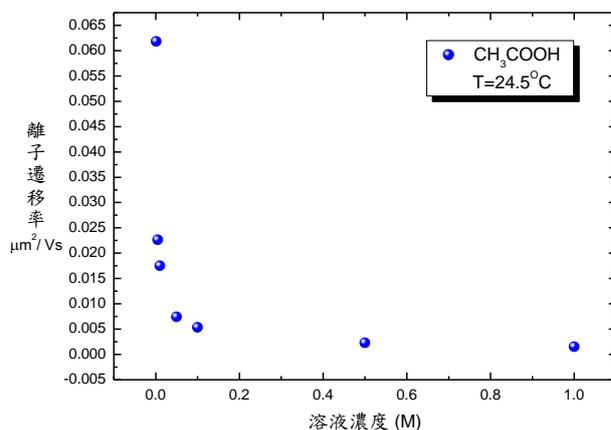


圖 30 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 濃度與其之關係圖。發現離子遷移率與溶液濃度曲線不像強電解質一樣，而是在低濃度時，有急遽上升的行為。

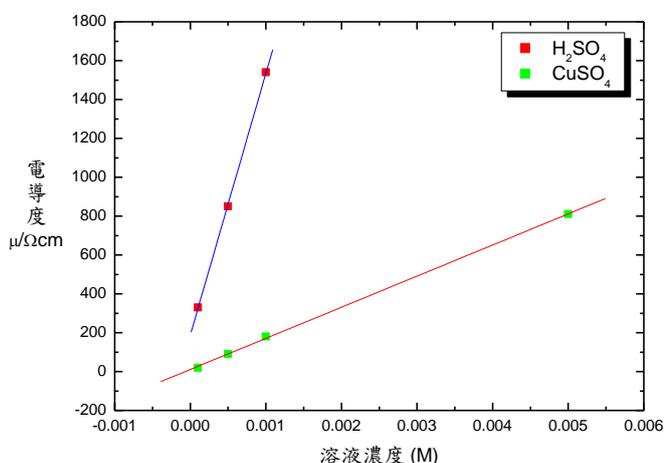


圖 31 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 及 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 濃度與其電導度之關係圖。發現 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 的電導度遠大於 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 。也意謂著 2 倍的 H^+ 比 Cu^{2+} 易導電。

七、探討溶液的溫度對其電導度的影響。

使用 NaCl 、 KCl 、 KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 H_2SO_4 、 CH_3COOH 六種離子溶液來實驗，濃度分別為 0.01M、0.005M、0.001M、0.0005M、0.0001M。改變溫度，去量測其電導率變化。

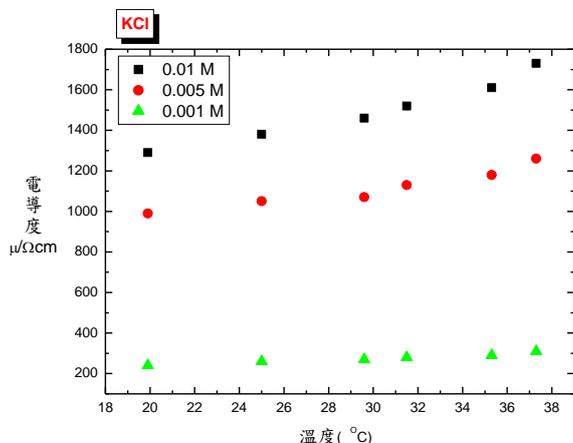


圖 32 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 溫度與其電導度之關係圖。發現電導度有隨溫度上升而有變大的趨勢，但是如果濃度太低變化就不明顯。

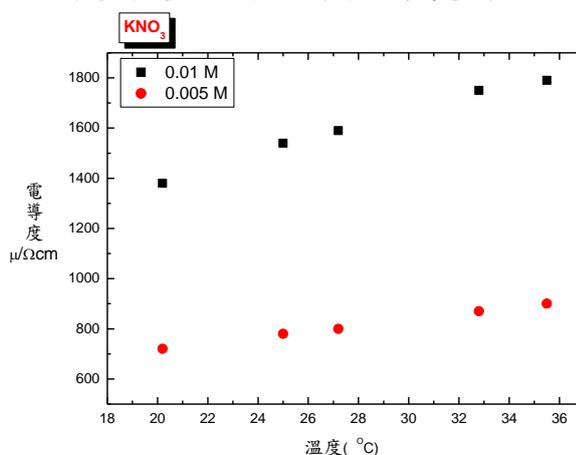


圖 33 $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$ 溫度與其電導度之關係圖。發現電導度有隨溫度上升而有變大的趨勢。

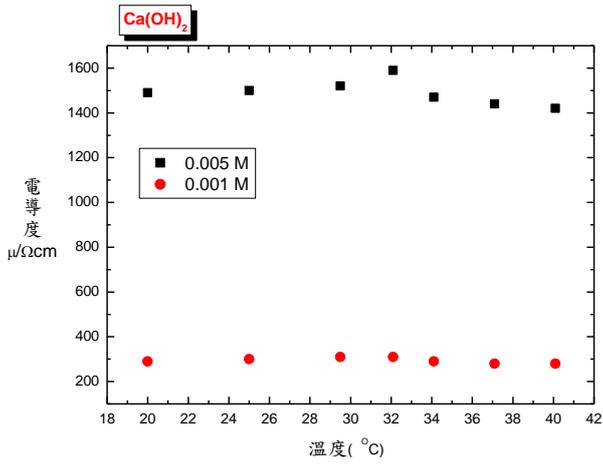


圖 34 $\text{Ca(OH)}_{2(\text{aq})}$ 溫度與其電導度之關係圖。發現電導度隨溫度上升的情形並不是很明顯。因 Ca(OH)_2 溶於水為放熱反應，故溫度高，溶解度降低，造成溶液中的帶電離子減少，使得電導度不隨溫度提高而上升。

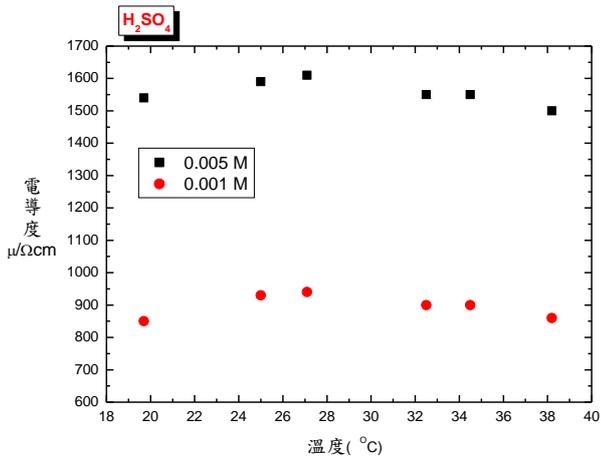


圖 35 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 溫度與其電導度之關係圖。一開始電導度有隨溫度上升的情形，但是過了 30°C 以後就開始下降。

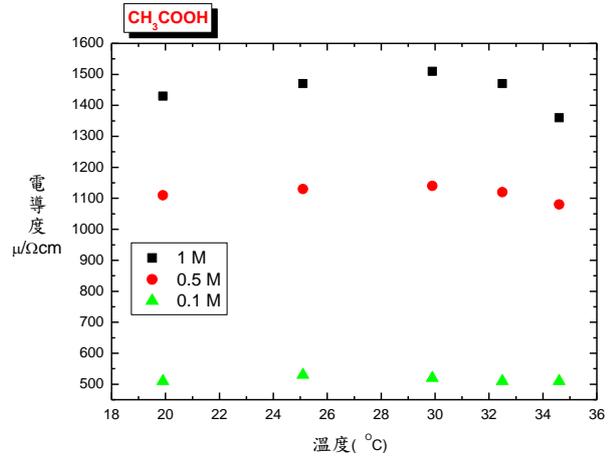


圖 36 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 溫度與其電導度之關係圖。一開始電導度有隨溫度上升的情形，但是過了 30°C 以後就開始下降。

八、以溶液電導度的變化來分析化學反應速率的實驗，以皂化反應為例。

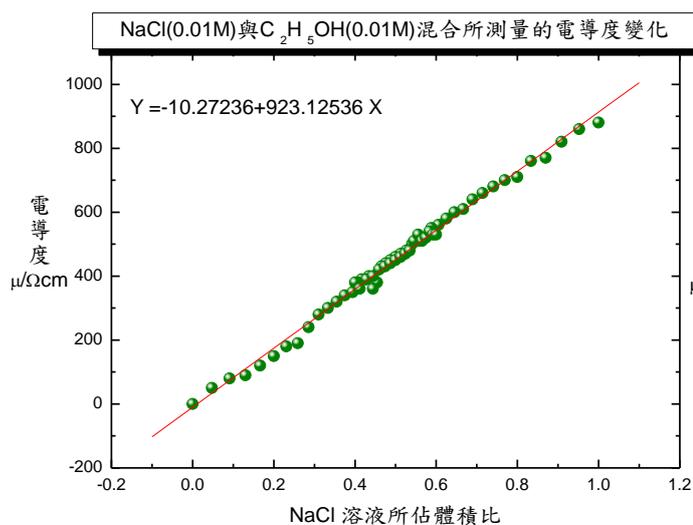


圖 37 C₂H₅OH_(aq)體積 90% + 0.01M NaCl_(aq)體積 10% 到 C₂H₅OH_(aq)體積 10% + 0.01M NaCl_(aq)體積 90% 的溶液。NaCl_(aq)所占體積比與其導電度之關係。

說明：為了釐清皂化反應時，一開始溶液混合的電導度變化情形，因此利用 NaCl_(aq)及 C₂H₅OH_(aq)來做研究，發現到電導度有隨 NaCl_(aq)所占體積比而上升的情形，且為線性關係。

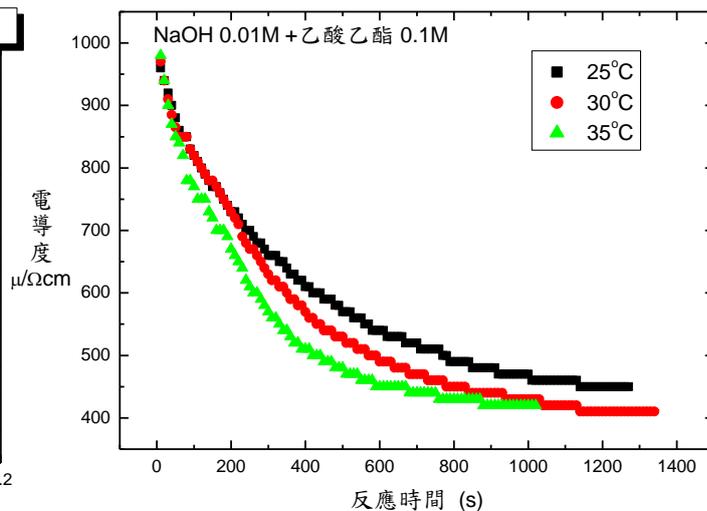


圖 38 0.1M 的乙酸乙酯加 0.01M NaOH_(aq)之反應，來觀察溫度對其反應速率之影響。

說明：

- (1) 起初是以 0.01M 的 CH₃COOC₂H_{5(aq)}加 0.01M NaOH_(aq)但反應太慢且不明顯，因此改以 0.1M 的 CH₃COOC₂H_{5(aq)}加 0.01M NaOH_(aq)。
- (2) 由前項實驗結果得知混合瞬間，在反應未發生前，0.01M NaOH_(aq)的電導度會減半，然後隨著反應的進行而變小。也就是 NaOH_(aq)濃度越來越低。由圖 38 發現溫度越高，電導度降得越快，也就是反應越快。

九、設計簡單電路，方便來觀察理化課程中「電解質實驗」、「酸鹼滴定實驗」及「反應速率實驗」

電路設計

在教學上爲了使我們更容易觀察到電解質溶液在通電後的導電情形，本組請教高工老師及大學電機系學長得出下面兩組簡單的電路設計。

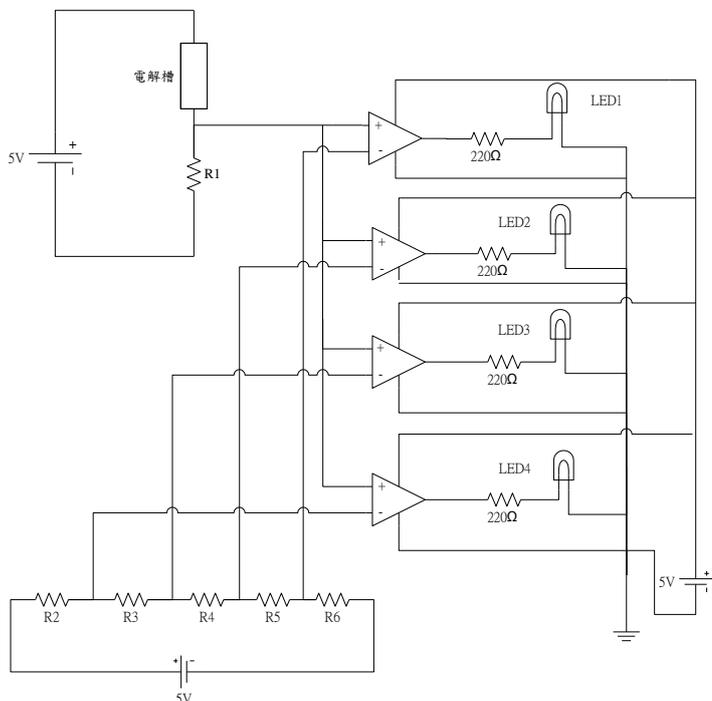


圖 39 運算放大器電路設計圖

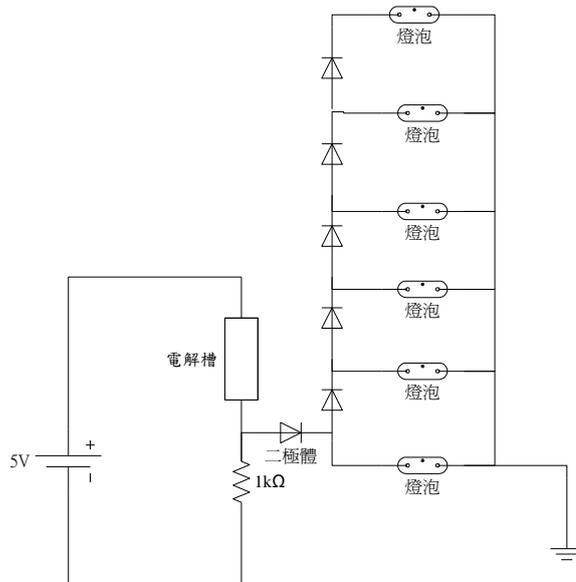


圖 40 排燈電路設計圖

運算放大器電路設計

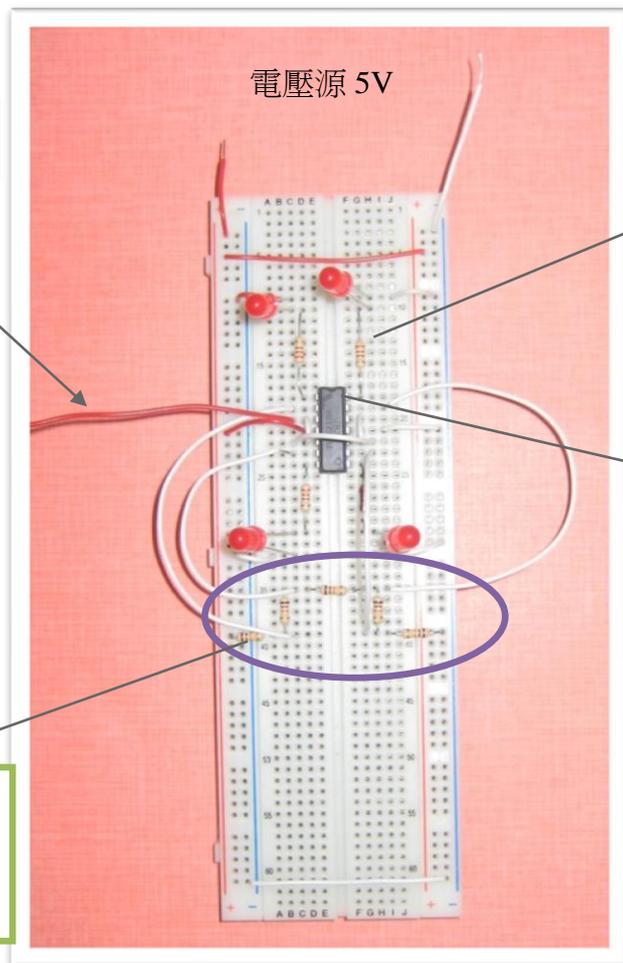
此電路是利用 LM324 運算放大器來設計，可以藉由控制 R1~R6 的電阻來決定 LED 的亮燈狀態，舉例來說 R1 ~R6=1kΩ 時，可以得到下表之情形。

通過電解槽電流 I	小於 1mA	1mA < I ≤ 2mA	2mA < I ≤ 3mA	3mA < I ≤ 4mA	大於 4mA
LED 的亮燈狀態	四顆皆不亮	亮 LED1	亮 LED1、2	亮 LED1、2、3	四顆皆亮

排燈電路設計

此電路可以藉由二極體的導通電壓 0.7V，來決定排燈亮燈的燈數多寡狀態，舉例來說輸入電壓每增加 0.7V 變可多亮一顆燈，可以由亮燈的多寡來判斷電解質溶液的導通情形。

有了上述之電路設計構想，在教學上也可以應用來觀察酸鹼滴定實驗以及反應速率實驗的進行。

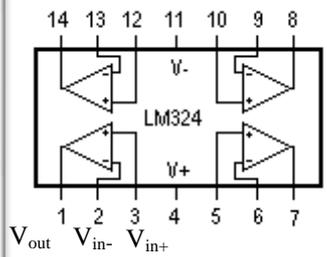


電壓源 5V

外部電路的輸入端。

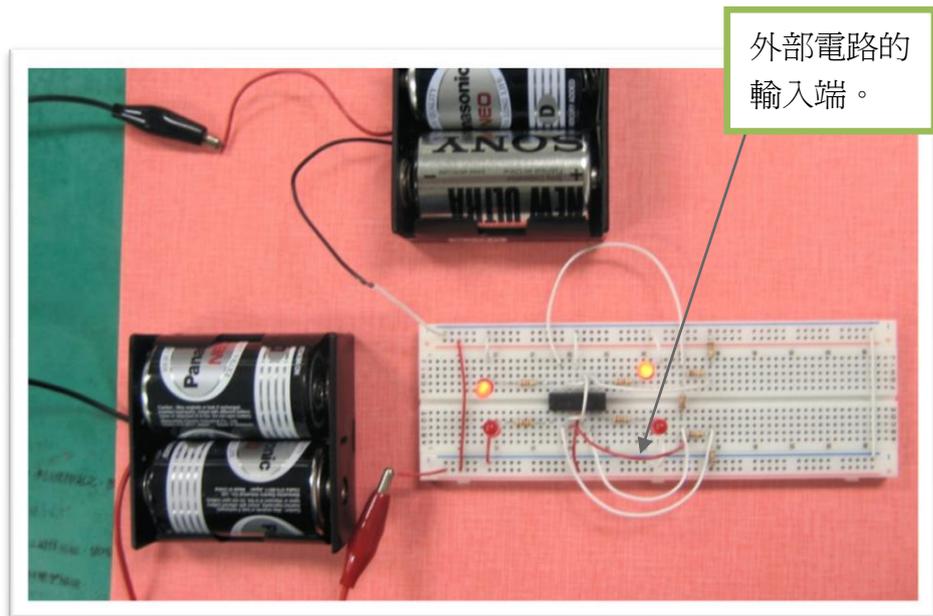
限流電阻，防止 LED 燈燒壞。

分壓電路，可以自行選擇所需之電壓 V_{in} 。



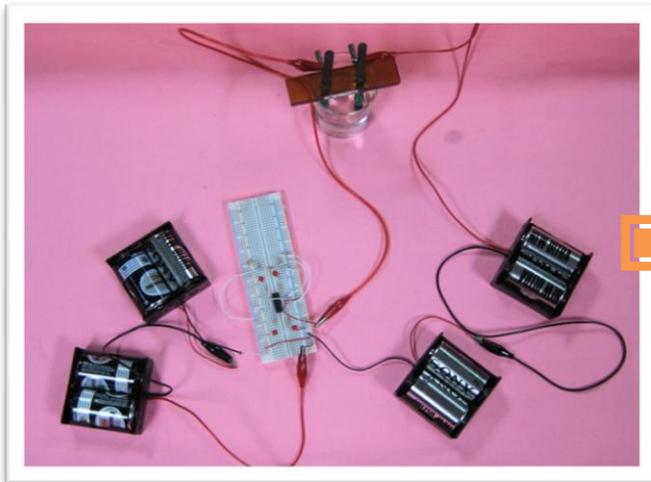
LM324，內含 4 組 OP 放大器，當 V_{in+} 大於 V_{in-} 時， V_{out} 才會有輸出。

運算放大器電路裝置圖

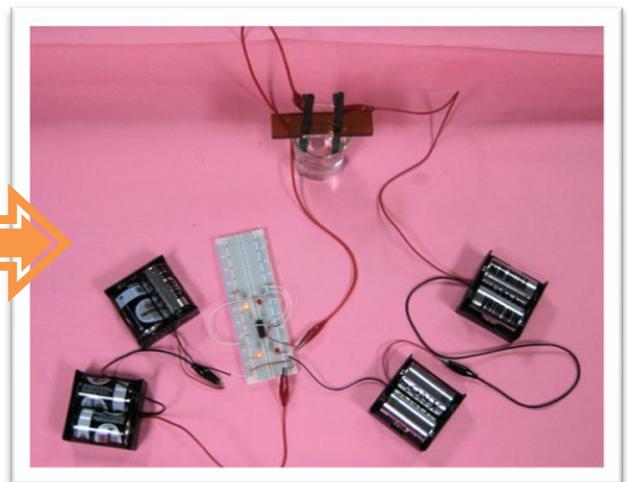


外部電路的輸入端。

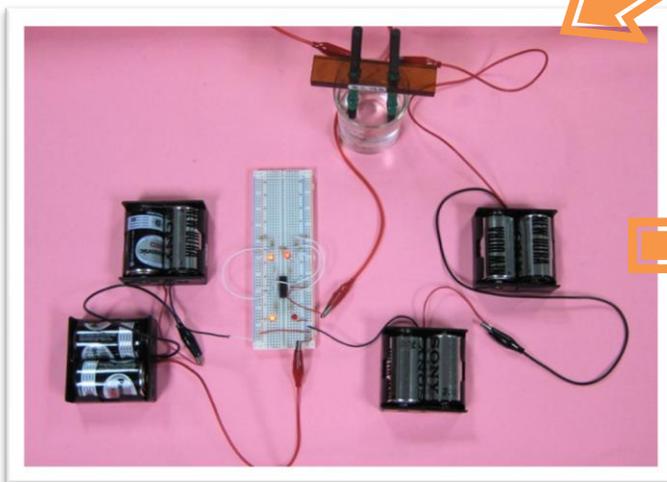
LED 的電燈數，會因外部電路的輸入電壓而變化。



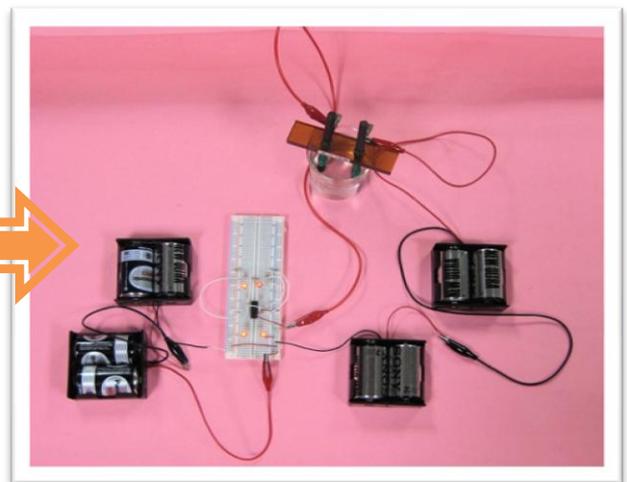
一開始溶液為蒸餾水，4 顆 LED 皆不會發光。



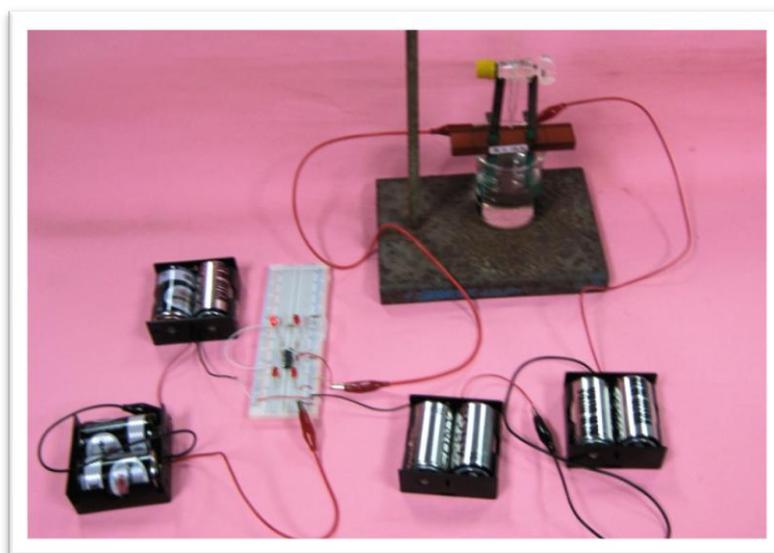
在溶液添加 KNO_3 (不小心加多了)，有 2 顆 LED 會發光。



持續添加 KNO_3 ，LED 亮了 3 顆。



加了大量 KNO_3 ，LED 亮了 4 顆。



將此設計電路應用到，滴定實驗(亮 1 顆 LED)。

陸、討 論

一、在固定電壓下，比較鎢絲燈、LED 的亮度變化、電流值與 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 濃度的關係。

1、LED 的安全電流負荷量約為 20~25mA 左右，如圖 2 所示電流超過 20mA 易造成 LED 的性質不穩定現象，甚至損壞。故使用 LED 檢測電解質溶液有下列限制：

- (1) 四個電池串聯時(約 6.0V)時， $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的濃度不可太高，在 0.01M 以下較適合。
- (2) 直流電源的電壓降低(約在 3.0V~4.6V)時， $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 的濃度可適度調高至 0.1M。

2、由表 3 知：黃光 LED 在「有點亮」的電流值範圍較大，濃度改變時較易觀察到由「有點亮」變成「明亮」的亮度變化，因此黃光 LED 較紅光 LED 更適合用來觀察低濃度下電解質溶液的濃度與亮度的變化。加上紅光 LED 的燈罩原為紅色，易干擾亮度變化的觀察，故黃光 LED 較適合用來分辨弱電解質與非電解質。

二、用 LED 的亮度檢驗蒸餾水、葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、運動飲料、自來水的導電情形

- 1、四顆電池串聯時，以紅光、黃光 LED 檢驗蒸餾水的導電情形，發現 LED 均不亮，顯示蒸餾水導電情形極差，故為非電解質。
- 2、使用三顆電池串聯，以紅光、黃光 LED 的亮度變化情形，可明顯的區分出蒸餾水為非電解質；葡萄汁、蘋果汁、礦泉水、運動飲料、自來水為電解質。

三、利用 LED 低電流值就能發亮的特性，探討實驗藥品與電池減量的方法：

- 1、在 100mL 的蒸餾水中滴入待測液，使紅光、黃光 LED 由「有點亮」變成「明亮」時待測液的用量，如表 5 所示，發現可大量減少實驗藥品的用量。
- 2、如表 6 所示，把電池組降為二顆電池串聯時， $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 和 $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ 的濃度可提高至 0.1M，不但可減少滴入待測液的量，仍能讓黃光 LED 亮度變成「明亮」。
- 3、如表 7 所示，二顆電池串聯，測量 $\text{KNO}_3(\text{aq})$ 在關鍵濃度(0.01M、0.001M、0.0001M、0.00001M)下，黃、紅光 LED 亮度變化與電流值的表現大致相似。

四、探討酸鹼沉澱滴定中，用 LED 取代酸鹼指示劑判斷達到滴定終點的可行性。

- 1、以三顆電池串聯，用 LED 的亮度變化觀察 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 滴定 $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$ 達到滴定終點情形：紅光、黃光 LED 的亮度雖有變弱，但仍是「很亮」，效果並不顯著，不如用電導度或 pH 值表示來的精確。

五、探討各式酸鹼滴定的電導度及 pH 值變化曲線。

- 1、利用電導度計及 pH 計觀察各式滴定的過程，可以明確得知整個反應過程的變化。
- 2、強酸滴定強鹼的滴定終點很好判斷，只要電導度達到最小時，便可認定達到滴定終點。
- 3、強鹼滴定弱酸、或弱酸滴定弱鹼，其電導度就不是以達到最低點來判別，而是以電導度曲線的斜率發生轉折來判別。

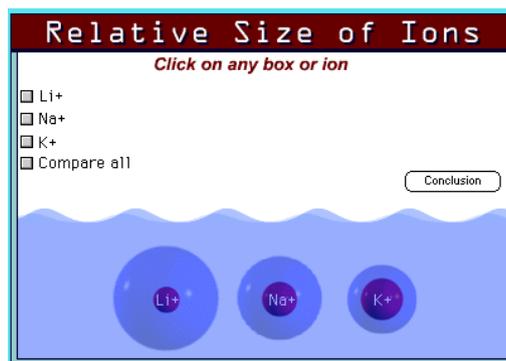
六、探討離子溶液的濃度與其電導度的關係。

- 1、以 $\sigma = \alpha \cdot (nV_d/E)$ 這個式子來說明。由圖 26 得知溶液濃度越高電導度越大，因為 n (單位體積的電荷密度) 比較大的關係。
- 2、由圖 27 發現到離子遷移率 μ 隨著溶液濃度的變小而有變大的趨勢，但當濃度低於約 0.001M 時，會有急遽降低的現象。我們有以下的幾個觀點：
 - (1) 在正常情況下 μ 應該是定值，但是考量離子的解離狀況後，以 $(\sigma/n) = \alpha \cdot \mu = \underline{\mu_\alpha}$ 來說明，濃度越低 α 越大，造成所得到的 $\underline{\mu_\alpha}$ 越大。
 - (2) 濃度越低，水解離的 H^+ 及 OH^- 對電導度的測量所造成的影響也越大，因此隨濃度減少， $\underline{\mu_\alpha}$ 有變大的情形。
 - (3) 當濃度越大時，水溶液中離子濃度變高，彼此間相互影響變大，因此隨濃度增加， $\underline{\mu_\alpha}$ 有變小的情形。
 - (4) 上述之原因，卻無法解釋為何在濃度低於 0.001M 時， $\underline{\mu_\alpha}$ 忽然變小的行為，目前我們尚未找到合適的理論來加以解釋，而且我們也找了其他人所做的相關實驗，所得到的資料濃度最低只測量到 0.01M。

3、根據離子獨立運動定律，可以比較出離子的運動快慢情形。 $H^+ > K^+ > Na^+$ ， $OH^- >$

$Cl^- > NO_3^-$ ，對於此一現象有以下幾點討論：

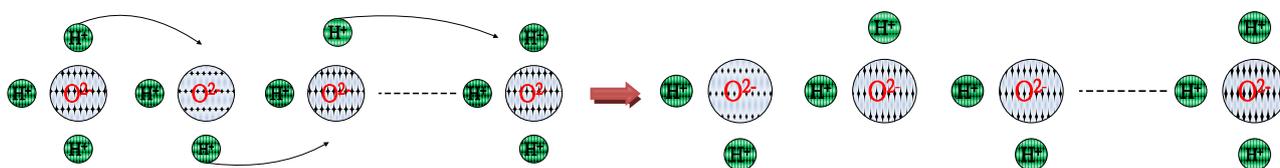
(1) 一般而言，離子水合作用愈強者，其水合離子也愈大，在水中移動所遇的阻力相對增加，因此電導度會變小。而在離子具相同電荷時，電荷密度與半徑的平方成反比，即半徑愈大的離子，水合作用愈弱，電導度越大；藉此可以說明 $K^+ >$



Na^+ 。

(2) 為何 H^+ 及 OH^- 的電導度會比較大呢？一般認為附著在水分子上而成帶水的 H_3O^+ (hydronium ion)，存在於水溶液中。如果以 H_3O^+ 的姿態在電場中移動，其離子遷移率應和 K^+ 或 Cl^- 離子相若。可以質子跳動 (proton jump) 或質子傳遞 (proton transfer) 的構想來解釋，即是 H^+ 或 OH^- 並未實際的移動，只是質子利用水分子做了傳遞工作。

下邊的圖解可以做補充說明：



七、探討離子溶液的溫度對其電導度的影響。

- 1、溫度上升導致溶液內離子的移動性增強，因此導電性變佳，可由 $KCl_{(aq)}$ 及 $KNO_{3(aq)}$ 的實驗觀察到。
- 2、 $Ca(OH)_{2(aq)}$ 的電導度不隨溫度上升而增加，我們認為調配的 $Ca(OH)_{2(aq)}$ 為飽和溶液，因此隨著溫度上升，溶解度下降，而造成帶電離子減少，故電導度有先升後降之情形。
- 3、 $CH_3COOH_{(aq)}$ 與 $H_2SO_{4(aq)}$ 電導度與溫度的關係也適用上述之說法。酸類溶於水為放熱反應，若溫度上升將不利於解離的反應進行，因此電導度才會因溫度上升而下降。

八、以溶液電導度的變化來分析化學反應速率的實驗，以皂化反應為例。

以 $0.01\text{M NaCl}_{(\text{aq})}$ 與 $0.01\text{M C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 依體積比混合，並觀察其電導度之變化。

1、由圖 37 發現到 $0.01\text{M NaCl}_{(\text{aq})}$ 與 $0.01\text{M C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 按體積比混合時，電導度與其混合比例呈線性關係。得到一個很重要的結果： $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ 對 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 的溶解度很差，也就是 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 不會影響到 Na^+ 及 Cl^- 的水合作用，因此整個過程可以視為單純的稀釋作用，電導度可依單純的用體積比推算得知。此將有助於利用電導度來觀察皂化反應的反應速率。

利用電導度計來觀察皂化反應發生時其電導度的變化。

1、由圖 38 來看，溫度升高可以明確的看出反應有變快的情形。

2、利用電導度來測量反應速率會面臨到幾個問題：

(1) 初始電導度不易決定，但可以前項實驗推出初始電導度。

(2) 混合時的動作會影響一開始的反應，因此先假定一電導度值，等達到此電導度值後才開始記錄，此法只適用於觀察溫度對反應速率的影響，而濃度對反應速率的影響就不能用此方法。

3、如要觀察濃度對反應速度的影響，可先建立 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 的濃度和電導度的關係表，便可研究濃度對反應速度的影響。

柒、結論

1、對 LED 的亮度變化與電解質濃度關係的瞭解：

(1) 用 LED 取代「電解質實驗」的鎢絲燈，更容易分辨水溶液為弱電解質或非電解質，尤其是礦泉水、自來水的實驗很容易讓同學留下深刻印象。但有其限制待測液濃度不可太高，在 0.01M 以下較適合；直流電源的電壓降低(約 3.0V)時，待測液的濃度可適度調高。

(2) 利用 LED 低電流值就能發亮的特性，在「減量實驗」中，只要溶液的電導度達 $1\sim 3(10^*\mu/\Omega*\text{cm})$ 間，LED 亮度就會呈「明亮」狀態，可大量減少實驗藥品的浪費，比較合乎環保原則。

2、離子溶液濃度越大電導度越佳，這是因為單位體積的帶電量較高所致。

3、因為離子溶液濃度越低解離度越大，由 $(\sigma/n)=\alpha*\mu$ 可以得知離子遷移率 (σ/n) 隨濃度減少而變大。

4、離子在水中的運動快慢，和離子與水分子相吸引所形成的水合離子之半徑有關。半徑越大在水中受到阻力越大，電導度越差。

5、 H^+ 及 OH^- 的電導度較大的原因是離子並未實際的移動，只是質子利用水分子做了傳遞工作。

6、測量溶液電導度的變化，確實可以來觀察酸鹼滴定的變化，若再輔以 pH 值，便可以更清楚瞭解酸鹼中和反應的過程。

7、電導度的測量除了可以應用到酸鹼滴定實驗外，也可以應用到測量反應速率的實驗，並且設計的運算放大器電路，可以協助教學上的觀察。

捌、參考資料

- 一、中華民國第 19 屆中小學科展國中組化學科－酸鹼中和反應中和點之研究。
- 二、中華民國第 22 屆中小學科展國中組化學科－利用溶液的導電性觀察溫度如何影響反應速率。
- 三、中華民國第 23 屆中小學科展國中組化學科－電解質水溶液導電度變因之探討暨亞佛加厥常數之測定。
- 四、中華民國第 48 屆中小學科展國高中組化學科－電電看就知道。
- 五、康軒版第四冊自然與生活科技備課用書。
- 六、「LED 原理」資料來源：[http://w3.cyu.edu.tw/swchu/led 原理.htm](http://w3.cyu.edu.tw/swchu/led原理.htm)
- 七、「電解質水溶液會導電?」，http://www.nsc.gov.tw/files/popsc/2005_107/66-71.pdf

【評語】 030207

本作品係以 LED 取代原來國中實驗的”電解質實驗”的鎢絲燈，有其創意性，並可應用於酸鹼滴定有其實用性，若能再加以 LED 燈亮的數目，來評估檢測狀況將更佳。