

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030212

「離」家出走

學校名稱：南投縣立營北國民中學

作者： 國二 許紫嫣 國二 白紹廷 國二 廖子懿	指導老師： 鄭俊楠 陳偉成
---	-----------------------------

關鍵詞：勞倫茲力、電導率、離子移動速率

摘 要

利用通入外線圈的電流造成外磁場，並通上內電極電流。離子受到磁場和電流的影響，會在觀測槽內形成圓周運動，放入標定粒子觀測其移動情形。改變硫酸銅水溶液的電解質濃度、內電極電壓、外線圈電流，觀測並記錄離子移動速率、電導率、莫耳電導率的變化。實驗結果顯示：第一、濃度越高，電導率越高，造成離子移動速率越快，但換算成莫耳電導率時，因為濃度越高，離子間的吸引力越強，莫耳電導率就越低。第二、內電極電壓越高，電導率越高，離子移動速率同樣也越快，而因濃度相同，換算成莫耳電導率時，同樣也越高。第三、外線圈僅提供磁場，使勞倫茲力增加，但幾乎不影響溶液之導電程度，使離子移動速率隨之增加。

壹、研究動機

自然課上到電解質單元時，老師教到電解質溶於水會形成正、負離子。正離子往負極移動，負離子往正極移動。因此我們上網尋找有哪些方法可以證明離子的移動以及如何測量離子移動速率。

我們參考歷屆科展發現類似的實驗，利用外線圈提供一個穩定磁場，讓離子在圓形內電極產生勞倫茲力和靜電力，交互作用下，離子移動速率達到平衡後，會做圓週運動，藉由觀察標定粒子的移動時間，得到離子移動的速率。

貳、研究目的

- 一、 探討不同電解質濃度對離子移動速率的影響
- 二、 探討不同電解質濃度對電導率的影響
- 三、 探討不同電解質濃度對莫耳電導率的影響
- 四、 探討不同內電極電壓對離子移動速率的影響
- 五、 探討不同內電極電壓對電導率的影響
- 六、 探討不同內電極電壓對莫耳電導率的影響
- 七、 探討不同外線圈電流對離子移動速率的影響
- 八、 探討不同外線圈電流對電導率的影響
- 九、 探討不同外線圈電流對莫耳電導率的影響

參、研究設備及器材

一、離子移動之實驗器材與實驗藥品：

(一) 實驗藥品:

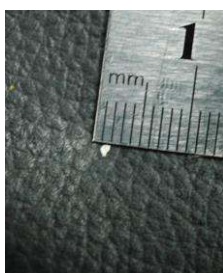
- 1 硫酸銅(CuSO_4)(圖 1)
- 2 蒸餾水(H_2O)
- 3 防水油漆粉末(圖 2)
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

(二) 實驗設備:

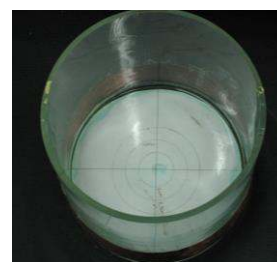
- 1 玻璃槽(圖 3)
- 2 恆溫槽(圖 4)
- 3 電源供應器(圖 5)
- 4 安培檢流計
- 5 電子天平(精度:0.0001g)(圖 6)
- 6 刮勺
- 7 加熱攪拌器(圖 7)
- 8 量瓶(1000ml)
- 9 銅線(直徑 0.2cm)(圖 8)
- 10 銅線(直徑 0.05cm)(圖 9)
- 11 燒杯(150ml)



CuSO_4
圖 1



防水油漆粉末
圖 2



玻璃槽
圖 3



恆溫槽
圖 4



電源供應器
圖 5



電子天平
圖 6



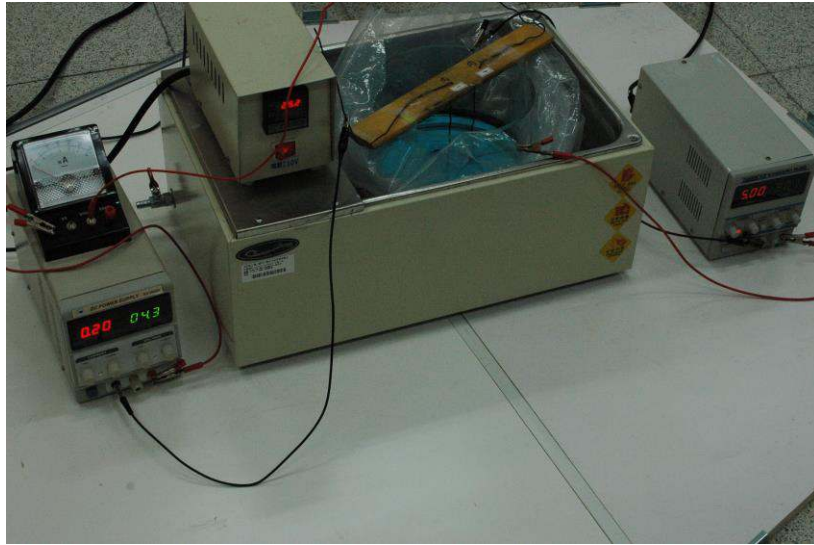
加熱攪拌器
圖 7



銅線(直徑 0.2cm)
圖 8



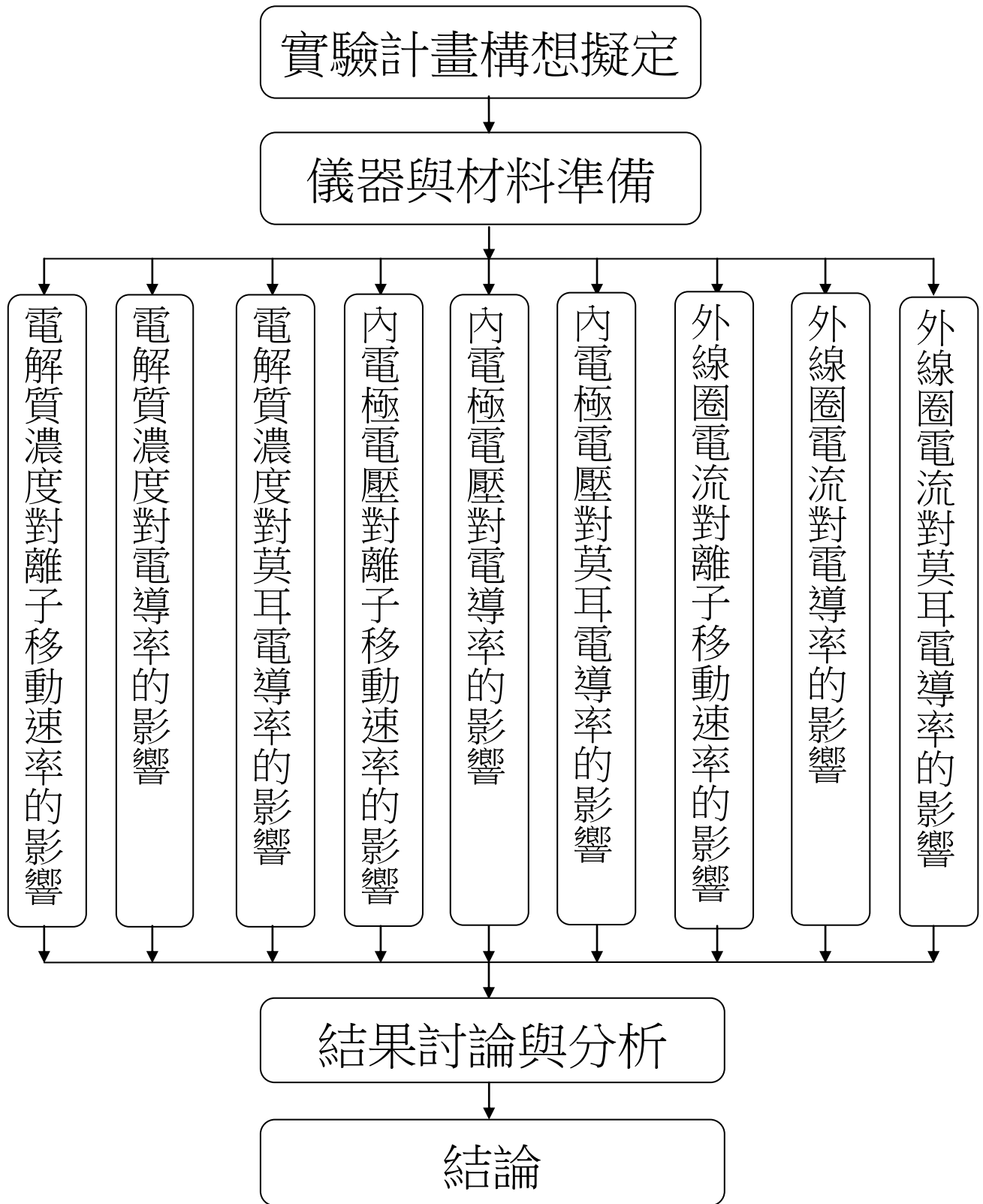
銅線(直徑 0.05cm)
圖 9



恆溫離子遷移觀測槽

圖 10

肆、研究過程及方法



一、硫酸銅溶液製作流程

1. 秤量各克數 CuSO_4 至燒杯中
2. 再加入各克數的水至燒杯中攪拌，並配製至 1000ml

二、測量離子移動速率流程

1. 開啟恆溫槽電源，恆溫 25°C (圖 11)
2. 將硫酸銅水溶液倒入玻璃槽
3. 將標定粒子放入(如圖 12)，利用標定粒子測量離子移動速率。
4. 接上內電極(兩電極相隔 5 公分)(如圖 13)，並通上外線圈磁場電流(1A~5A)(如圖 14)，接著通上內電極電壓 (3v~10v)
5. 觀察標定粒子旋轉五圈(旋轉距離: $4\pi\text{ cm}$ ，約 12.56cm)
6. 紀錄內線圈 A(安培)，外線圈 V(伏特)及旋轉所需時間。

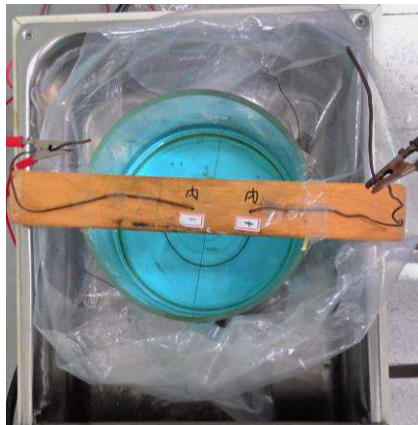


恆溫槽恆溫 25°C

圖 11

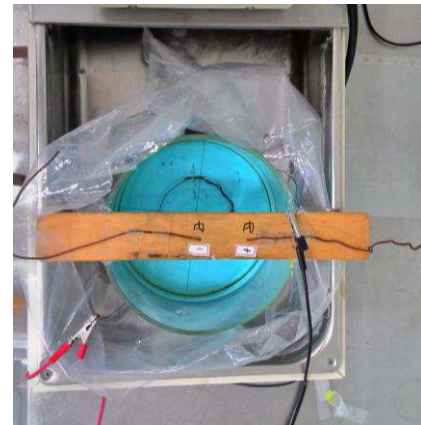


圖 12



連接內電極

圖 13



連接外線圈線路

圖 14

三、數據分析

- 1.紀錄標定粒子在觀測槽中每圈的移動時間，記錄到第五圈結束。
- 2.利用下列公式計算離子的移動速率(公式 1)、電導率(公式 2)、莫耳電導率(公式 3)。
- 3.利用 Excel 的繪圖功能將所得數據繪製成 x(濃度、內電極電壓、外線圈電流)對 y(離子移動速率、電導率、莫耳電導率)折線圖。

$$v = \frac{d}{t}, d = 2r\pi \text{ (公式 1)}$$

d=距離(cm)

t=離子移動時間(s)

v=離子移動速率(cm/s)

$\pi \doteq 3.14$ (cm)

r=半徑(2cm)

$$\sigma = \frac{I}{V} \text{ (公式 2)}$$

I=電流(A)

V=電壓(V)

σ =電導率(S)

$$\Lambda m = \frac{\sigma}{C} \text{ (公式 3)}$$

σ =電導率(S)

C=莫耳濃度(M)

Λm =莫耳電導率

伍、研究結果

一、本實驗的條件控制

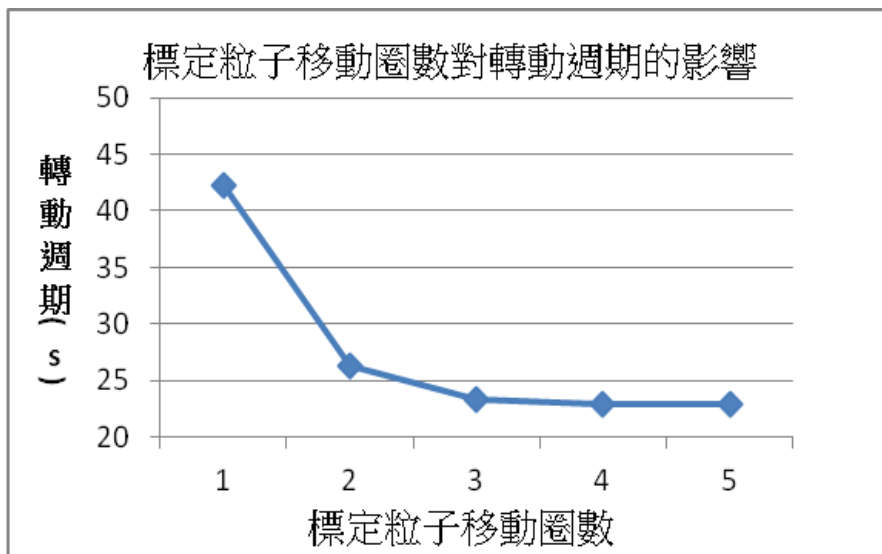
1. 標定粒子形狀、大小固定
2. 標定粒子放入固定位置（圖 15）
3. 刮除電極沈澱物（圖 16）
4. 由圖 17 的實驗結果得知，離子在第 4 圈到第 5 圈時轉動週期較穩定，因此計算離子移動速率時，只記錄第四圈及第五圈，不計錄前三圈。



圖 15



圖 16



n=10

圖 17

二、電解質濃度對離子移動速率的影響

我們控制內電壓為 5V，外電流為 3A，改變硫酸銅電解質濃度 0.025M~0.125M，探討不同濃度對離子移動速率的影響並量測離子移動速率與內電流大小，實驗結果發現，當電解質濃度越高，離子移動速率也越快。

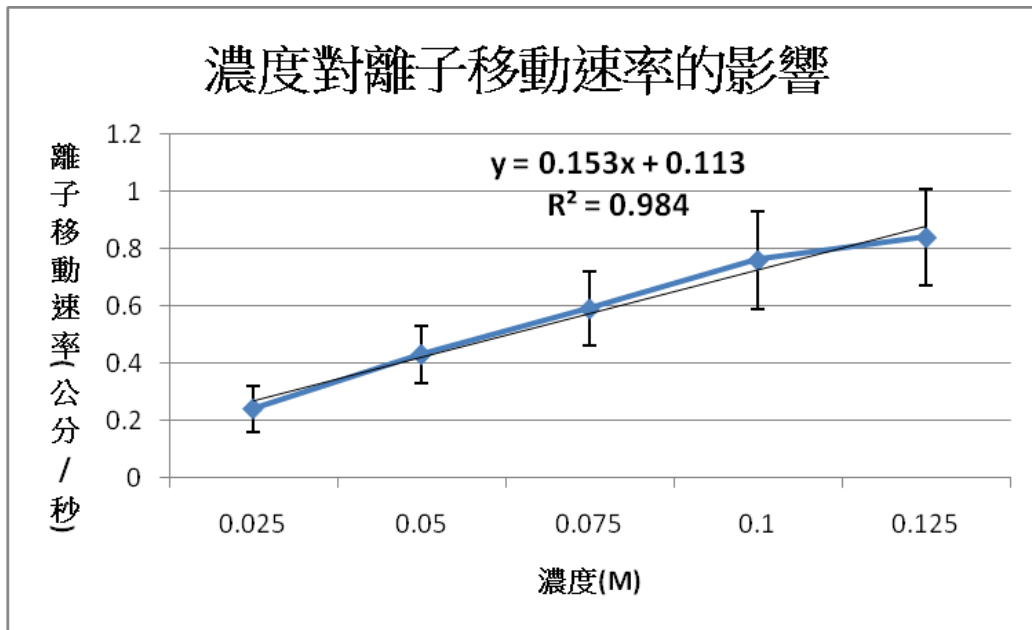


圖 18

表 1

電解質濃度對離子移動速率的影響					
濃度(M)	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125
內電極電壓(V)	5	5	5	5	5
外線圈電流(A)	3	3	3	3	3
I(A)	0.112	0.174	0.305	0.370	0.442
離子移動速率(cm/sec)	0.24	0.43	0.59	0.76	0.84
離子移動速率標準差	0.08	0.1	0.13	0.17	0.17

三、電解質濃度對電導率的影響

依據公式 2，我們將上述實驗的電流值與內電極電壓相除得到不同電解質濃度的電導率，結果發現，當電解質濃度越高時，量測到的內電流越高(如表 2)，因為內電極電壓固定，因此電導率越高。

$$\sigma = \frac{I}{V} \text{ (公式 2)}$$

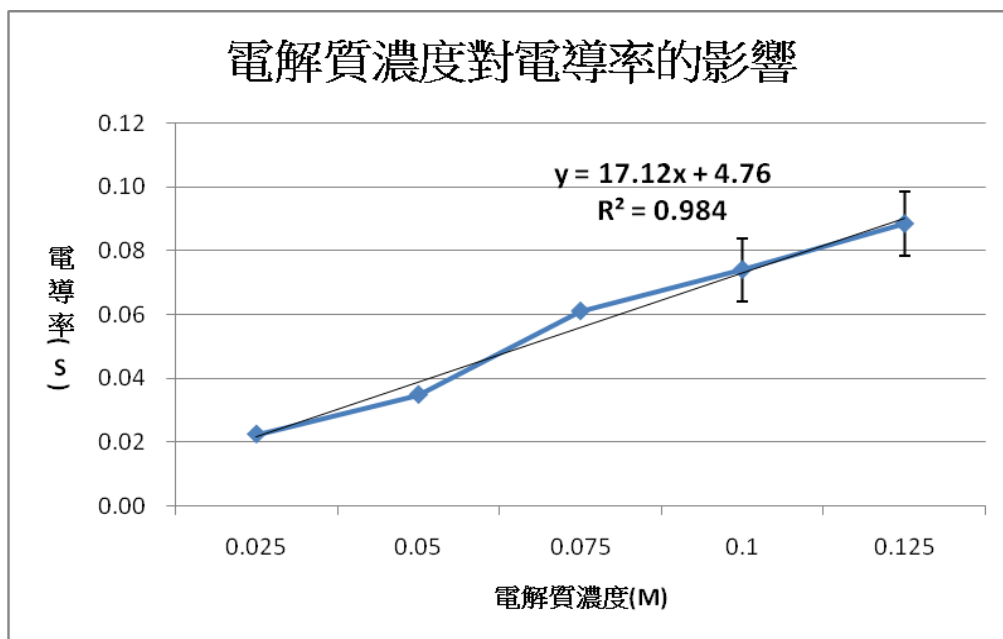


圖 19

表 2

電解質濃度對電導率的影響					
濃度(M)	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125
電導率(S)	0.02	0.03	0.06	0.07	0.09
電導率標準差	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01

四、電解質濃度對莫耳電導率的影響

依據公式 3，我們將量測到的電導率除以不同硫酸銅水溶液電解質濃度，所得結果發現，當濃度越高時，莫耳電導率越低。

$$\Lambda_m = \frac{\sigma}{C} \text{ (公式 3)}$$

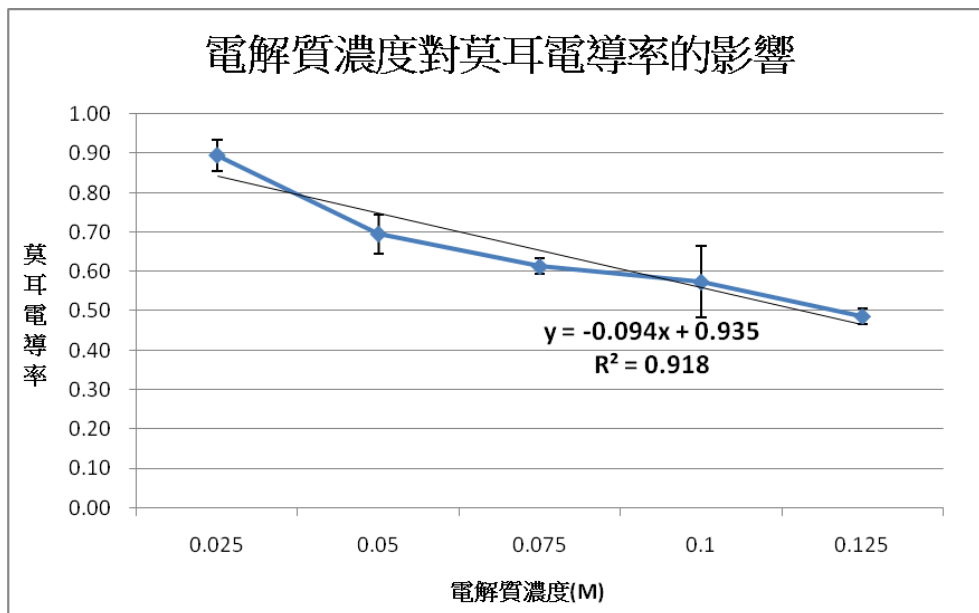


圖 20

表 3

電解質濃度對莫耳電導率的影響					
濃度(M)	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125
莫耳電導率	0.90	0.70	0.61	0.57	0.49
莫耳電導率標準差	0.04	0.05	0.02	0.09	0.02

五、內電極電壓對離子移動速率的影響

我們控制硫酸銅電解質濃度 0.1M，外電流為 3A，改變內電極電壓 3V~10V，探討不同內電極電壓對離子移動速率的影響，所得結果發現，當內電極電壓越高，離子移動速率越快。

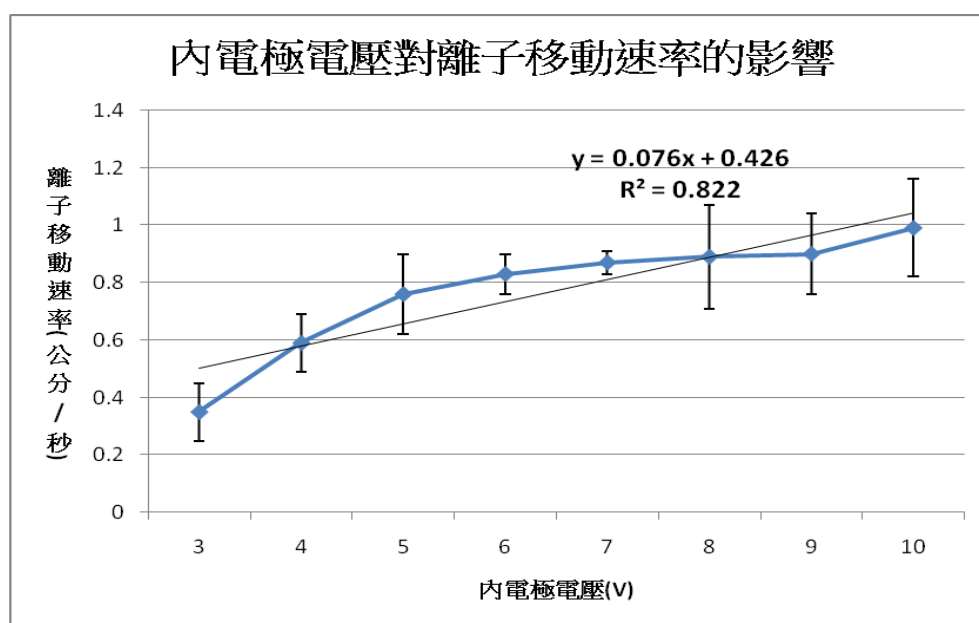


圖 21

表 4

內電極電壓對離子移動速率的影響								
內電極電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
濃度(M)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
I(A)	0.130	0.200	0.287	0.365	0.440	0.521	0.695	0.965
外線圈電流(A)	3	3	3	3	3	3	3	3
離子移動速率(cm/sec)	0.35	0.59	0.76	0.83	0.87	0.89	0.9	0.99
離子移動速率標準差	0.1	0.1	0.14	0.07	0.04	0.18	0.14	0.17

六、內電極電壓對電導率的影響

我們控制硫酸銅電解質濃度為 0.1M，外線圈電流為 3A，並改變內電極電壓(操縱變因)3~10V，由此探討內電極電壓對電導率的影響，所得結果發現，內電極電壓越高，電導率持續上升。

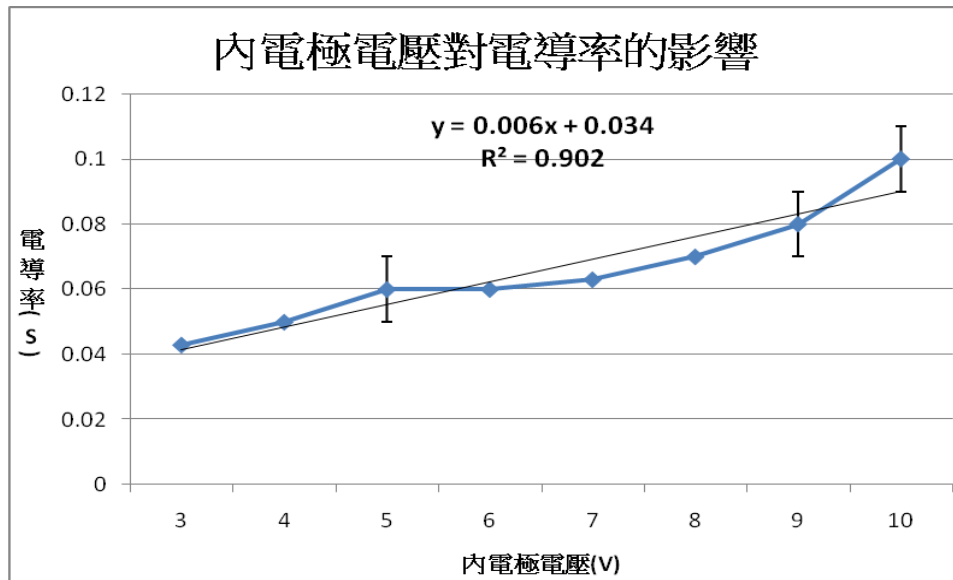


圖 22

表 5

內電極電壓對電導率的影響								
內電極電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
電導率(S)	0.043	0.050	0.057	0.060	0.063	0.070	0.080	0.100
電導率標準差	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01

七、內電極電壓對莫耳電導率的影響

根據公式 3 計算不同內電極電壓對應之莫耳電導率，結果顯示，內電極電壓越高，莫耳電導率越高。

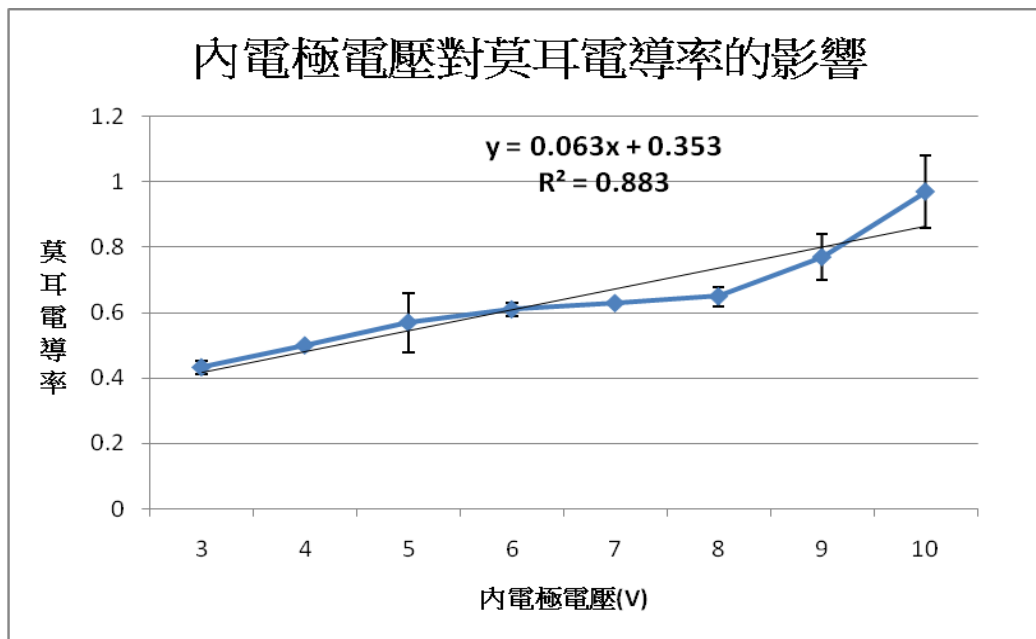


圖 23

表 6

內電極電壓對莫耳電導率的影響								
內電極電壓(V)	3	4	5	6	7	8	9	10
莫耳電導率	0.43	0.50	0.57	0.61	0.63	0.65	0.77	0.97
莫耳電導率標準差	0.02	0.00	0.09	0.02	0.00	0.03	0.07	0.11

八、外線圈電流對離子移動速率的影響：

我們測定外線圈電流對離子移動速率的影響，控制硫酸銅電解質濃度為 0.1M，內電極電壓為 5V，所得結果發現，當外線圈電流越高時，離子移動速率越快。

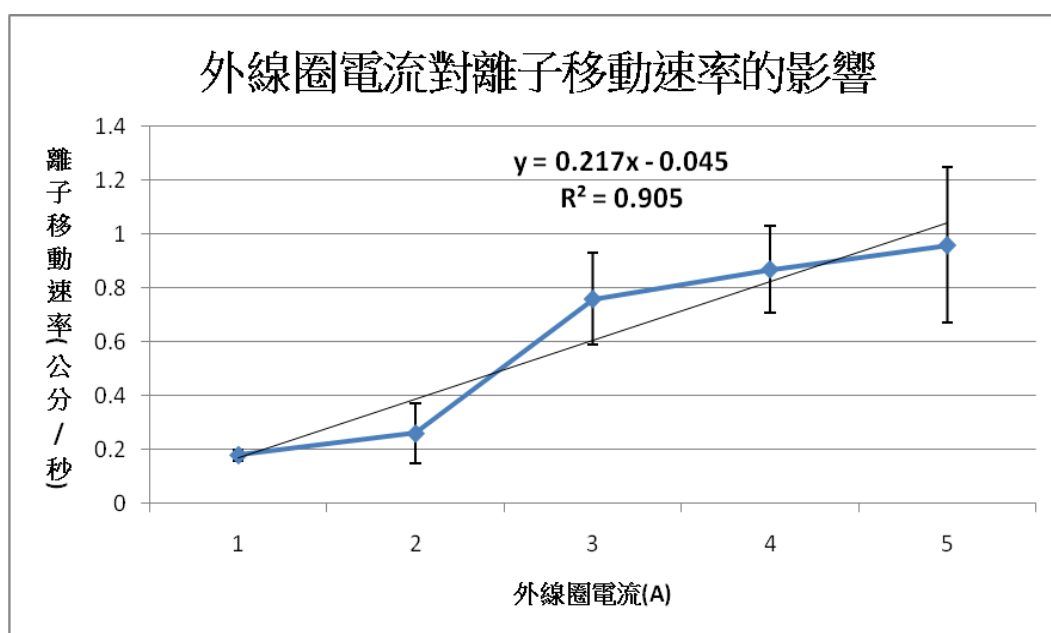


圖 24

表 7

外線圈電流對離子移動速率的影響					
外線圈電流(A)	1	2	3	4	5
內電極電壓(v)	5	5	5	5	5
I(A)	0.298	0.306	0.370	0.305	0.304
離子移動速率(cm/sec)	0.18	0.26	0.56	0.87	0.96
離子移動速率標準差	0.02	0.11	0.17	0.16	0.29

九、外線圈電流對電導率的影響

我們測定外線圈電流對電導率的影響，所得結果發現，外線圈電流對電導率無明顯影響。

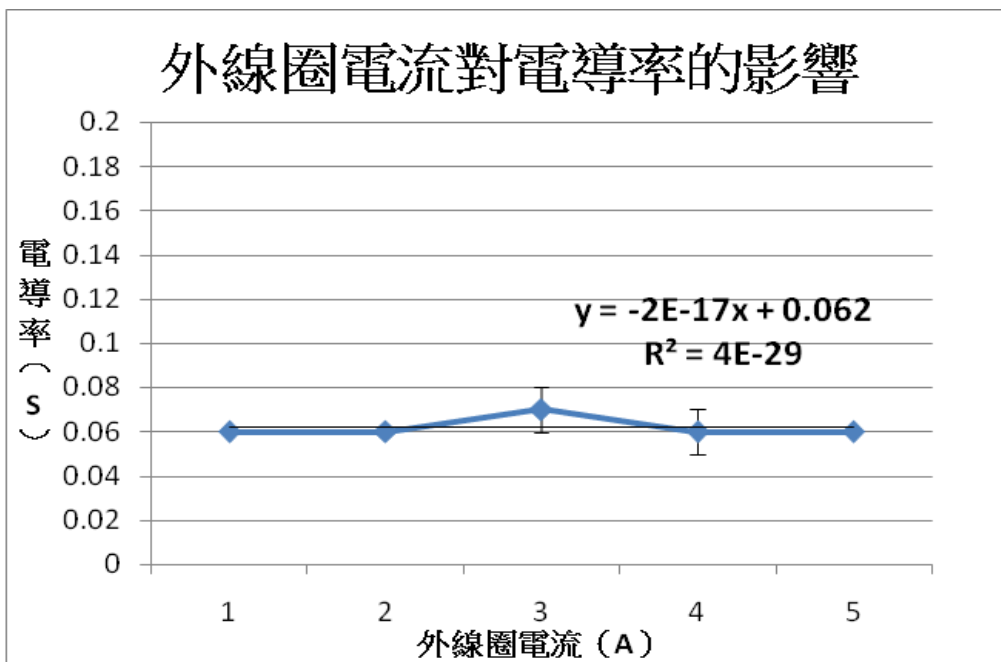


圖 25

表 8

外線圈電流對電導率的影響					
外線圈電流(A)	1	2	3	4	5
電導率(S)	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06
電導率標準差	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00

十、外線圈電流對莫耳電導率的影響

依據公式 3 計算外線圈電流對應之莫耳電導率，所得結果發現，當外線圈電流越高時，對莫耳電導率無明顯影響。

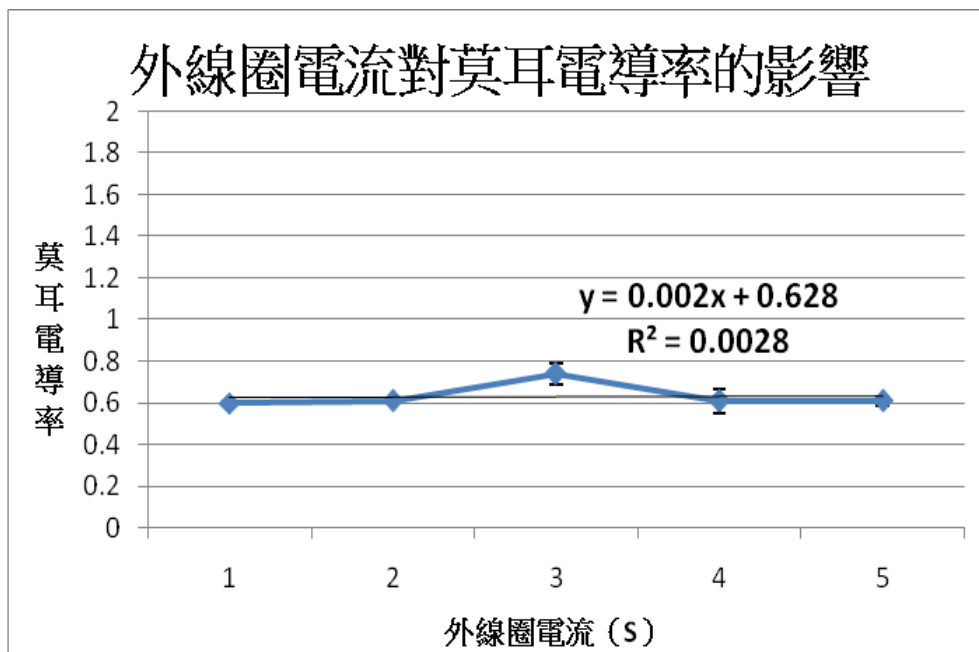


圖 26

表 9

外線圈電流對莫耳電導率的影響					
外部電流(A)	1	2	3	4	5
莫耳電導率	0.6	0.61	0.74	0.61	0.61
莫耳電導率標準差	0.01	0.01	0.05	0.06	0.02

陸、討論

一、本實驗原理推斷：

利用通入外線圈的電流造成外磁場，在電解液中通入電極(負極：以一根銅線做為負極，正極：以一根銅線纏繞成一個圓形電極)(如圖27)之電流，造成正離子往負極移動。根據安培右手開掌定則，磁場會對正在移動的離子產生一固定方向的推力，為勞倫茲力(如公式4)，並使離子原本的運動方向發生偏轉，以此實驗裝置圖來看，離子會受到兩種作用力影響，其一為電場所產生的靜電力 F_2 (如圖28)，方向向圓心(負極)；第二為磁場對正在移動的離子所產生的勞倫茲力 F_1 ，方向與靜電力垂直，當離子開始以內電極為圓心做圓周運動時，勞倫茲力提供離子往切線方向運動，使電解槽中移動的正負離子產生圓周運動，我們可以藉由離子的運動軌跡，可測得離子圓周運動一圈的距離與時間，進而推算出離子的相對速度，並且量測內電極電流，計算離子莫耳電導率。

$$F = q(E+vB)(\text{公式4})$$

F =勞倫茲力

q =離子的電荷量(C)

E =電場(V/m)

v =離子的移動速度(m/s)

B =磁場(T)

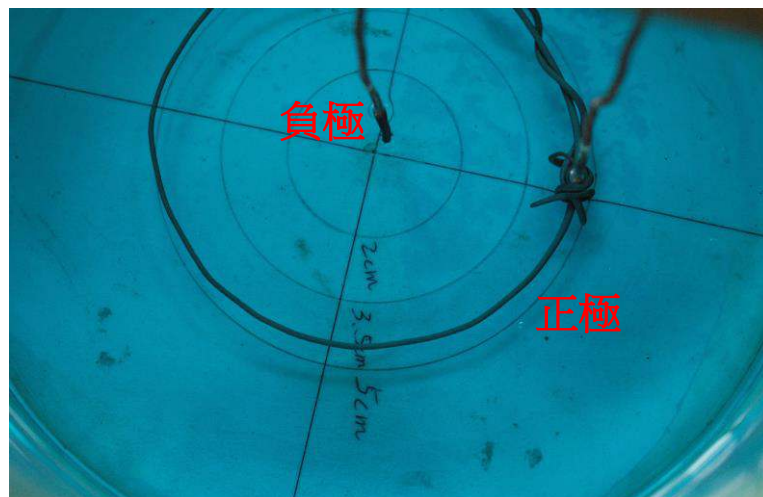
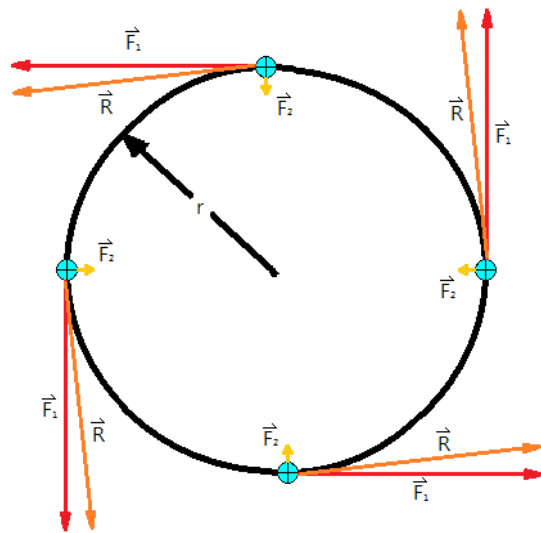


圖27



\vec{F}_1 =勞倫茲力
 \vec{F}_2 =靜電力
 \vec{R} =勞倫茲力與靜電力的合力方向

正離子受到勞倫茲力和靜電力的移動方向

圖28

二、探討電解質濃度對離子

16

測定電解質濃度對離子移動速率的影響，所得結果發現，電解質濃度越高，離子移動的速率越快。這是因為溶液可導電的離子數目變多，能導通電流的程度與溶液中的離子數目成正比，電流越大造成正離子向負電極移動的靜電力和勞倫茲力的合力越大，離子移動速率就越快。

三、探討電解質濃度對電導率的影響:

電解質濃度對電導率的影響，結果顯示，濃度越高，離子數目就越多，造成單位時間內通過的離子數目就越多，內電流就越大，因此計算後電導率越高。因此較多的離子，有較高的電導率。

四、探討電解質濃度對莫耳電導率的影響:

電解質濃度對莫耳電導率的影響，我們發現濃度越高，莫耳電導率卻越低。推論是較高的離子濃度使得離子間的距離拉近，造成離子互相牽引的程度變高，才會使得每莫耳的電流量下降，導致莫耳電導率隨電解質濃度升高而降低。

五、探討內電極電壓對離子移動速率的影響:

內電極電壓對離子移動速率的影響，所得結果發現，內電極電壓越高，電場就越強，因此離子往電極移動速率越快。依據勞倫茲力 $F=q(E+vB)$ 公式可知，當電場變大時，勞倫茲力也會變大，因為勞倫茲力是提供離子做圓周運動切線方向的力，因此勞倫茲力越大，離子移動速率就越快。

六、探討內電極電壓對電導率的影響：

因為內電極電壓越高，離子往電極移動的速率就越快，因此當單位時間內流過的電荷量越多時，電流就越大。依照公式 2 計算，內電極電壓提高，電流亦升高，造成電導率整體提升。

$$\sigma = \frac{I}{V} \text{ (公式 2)}$$

σ = 電導率(S)

I = 電流(A)

V = 電壓(V)

七、探討內電極電壓對莫耳電導率的影響：

在相同的電解質濃度為 0.1M 時，離子間的距離相同，因此離子間的吸引力視為相同，所以當離子因電壓增加而移動速率增快時，換算成每莫耳電導率亦同步增加。

八、探討外線圈電流對離子移動速率的影響：

依據勞倫茲力公式 $F=q(E+vB)$ 可知，當提高外線圈電流時，磁場就越強，勞倫茲力也就越大，且勞倫茲力為提供離子做圓周運動往切線方向之力，因此當勞倫茲力越大，離子移動速率也越快。

九、探討外線圈電流對電導率的影響：

當外線圈電流提高時，磁場大小也隨之增加，雖然勞倫茲力變大使溶液中離子之圓周運動速率增快，但勞倫茲力的方向與離子往電極移動的方向是垂直的(如圖 28)，所以勞倫茲力的大小並不會對離子往電極移動速率有所改變。所以我們改變外線圈電流時，雖然磁場增加，但內電流並無增加，所以換算成電導率亦不會增加。因此改變外線圈電流大小對電導率無明顯影響，因為外線圈僅提供磁場，不影響內電極的電導率。

十、探討外線圈電流對莫耳電導率的影響：

外線圈電流對莫耳電導率的影響，所得結果發現，外線圈電流越高對莫耳電導率無明顯影響，乃因外線圈提供的磁場不影響電導率，換算成莫耳電導率時也沒有影響。

柒、結論

- 一、控制內電極電壓為 5V、外線圈電流 3A、硫酸銅電解質溶液在 0.025M~0.125M 時，濃度越高，離子移動速率越快。
- 二、電解質濃度越高，離子往電極方向移動的數目越多，因此電流就越大，電導率越高。但高電解質濃度易造成離子間相互牽引力提升，使得每莫耳離子的電導率下降。
- 三、內電極電壓越高，電場越強，離子往電極方向移動速率越快，電流就越大，勞倫茲力也就越大，造成離子圓周運動較快。
- 四、內電極電壓增加，內電流亦增加，離子電導率也變大，莫耳電導率亦上升。
- 五、外線圈電流越高，提供磁場越強，勞倫茲力越大，離子移動速率越快。但對電導率及莫耳電導率不影響。

綜上所述，增加硫酸銅水溶液電解質濃度、提高內電極電壓、加大外線圈電流之磁場均可提高離子移動速率。電導率隨著電解質濃度提高，但每莫耳離子電導率則隨之下降，內電極電壓上升可提高電導率與莫耳電導率。加大外線圈電流只提高離子圓周運動速率但不影響離子之電導率。

捌、參考資料

- 一、辜禹仁、鄭祐杰、陳守中、蔡允中(2006)。磁場中的離子轉速—探討硫酸銅水溶液濃度與離子遷移速度關係。
- 二、維基百科。<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B4%9B%E4%BC%A6%E5%85%B9%E5%8A%9>
- 三、勞倫茲力。Google Sites。 <https://sites.google.com/site/laolunzili/lao-lun-zi-li>
- 四、南一主編(2013)。自然與生活科技 2 下。
- 五、蕭竣仁、孫培文(2013)。實驗探討離子在磁場中的受力。

【評語】 030212

本作品實驗設計與材料和歷屆作品相似度頗高，創新性較為不足，其中正離子銅離子為重金屬離子，若能改為較無毒性的正離子或負離子亦改為不同種類的負離子，甚至考慮不同價性或有無磁性的離子深入探究，推廣之應用性更佳。