

# 臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：化學

作 品 名 稱：磁場中的離子轉速-探討離子遷移速度變因

得 獎 獎 項：佳作

學校 / 作者：新竹縣立仁愛國民中學  
                  新竹縣立仁愛國民中學

辜禹仁  
鄭祐杰

## 作者簡介



我是辜禹仁，生於1991年12月14日，目前就讀新竹縣仁愛國中三年級，在數學、理化方面的表現還不錯，也抱有興趣。我的個性還算溫和，熱心助人，但粗心健忘是我的缺點，在這次實驗的初始階段時，就曾因為粗心而延誤了進度，看來我必須針對這項缺點再做改進。休閒時，我常與朋友們一起踢足球，放鬆心情。這次的實驗讓我學到許多化學的知識，也習得如何規劃一個完整的實驗，希望以後能繼續做相關研究。

## 作者簡介



我叫鄭祐杰，目前就讀新竹縣仁愛國中九年級，因為從小就接觸到許多有關數學和自然的書籍，對此產生了興趣。空閒時我喜歡思索書本裡所提到的理論和現象，上了國中後，也會與一些好友自己設計實驗器材、動手作實驗。

很幸運有機會能夠來參加這次的國際科展，首先特別感謝我的指導老師洪鈺英老師，這一年半來辛苦的教導，還有同學們的幫忙，讓我們學習到做科學的研究精神及運用團隊合作來解決疑問。

My name is Yu-Chieh Cheng, or you can call me Jack. I'm a ninth grade student of Jen-Ai Junior High School in Hsinchu County. During the childhood, I've been contact with many books about math and science and have a great interest on them. At my leisure time, I like to think about the theory and phenomenon on books. At the junior high school, I also designed the experiment instruments and did experiments with my friends.

I'm lucky to have the opportunity to take part in this international science fair. First of all, I especially want to appreciate the guidance of my teacher Mrs. Hong, and my classmates. We learned about the spirit of scientific research, and also learned how to solve problems by team cooperation.

## 摘要

帶電的離子受到垂直的磁場與電場作用，會因為受到洛倫茲力而產生有趣的轉動現象。我們利用上述原理設計簡易的裝置設備，探討電解質溶液不同濃度、不同離子電荷數，受到不同離子間靜電力，產生不同的離子移動速度。經由所測量的時間與圓周運動的距離，可計算電解質的絕對遷移速度。由實驗結果推論在固定電場下，當電解質濃度降低，正、負離子間的相互作用力降低，離子遷移速度(migration velocity)加快，莫耳電導率  $\Lambda$  (mole conductance)也隨之增加。同濃度時，電解質 2-1 價型硝酸銅與 2-2 型硫酸銅離子強度(ionic strength)不同，2-2 型硫酸銅離子強度較大，遷移速度較小，莫耳電導率  $\Lambda$  也較小。

## Abstract

### Ionic Rotation Speed in the Magnetic Field— Investigate the Variables of Ionic Migration Velocity

Because of the effect of Lorentz force, charged ion will have interesting rotation under the vertical magnetic and electric field.

We use the above principle to design a simple instrument or tool, in order to evaluate and study the formation of different ionic migration velocities. The velocity of the charged ion in the instrument is affected by differences in the electrolyte, the charge differences of the ion tested and the differences in electrostatic forces between ions.

From the experiment we can deduct that at a fixed constant electric field, when the concentration of the electrolyte is reduced, the interaction of forces between positive and negative ions will be reduced.

When the migration velocity of ions increase, the mole conductivity  $\Lambda$  (mole conductance ) will also increase.

At the same concentration, the ionic strength between copper nitrate ( 2-1valency type ) and copper sulfate ( 2-2 valency type ) are not identical.

Copper sulfate, a 2-2 valency type has higher ionic strength, the velocity is slower and the mole conductivity  $\Lambda$  is also smaller.

## 壹、前言：

電解質溶於水會形成正、負離子，通入直流電後，正離子流向負極，負離子流正極。有哪些方法可以證明離子的運動?如何測量離子的運動速度?根據所查到歷屆科展的題目，也僅能將電解質溶於洋菜或滴於濾紙上，僅能看到有色的離子的移動，卻不能看到實際的電解質溶液離子運動。

我們利用外線圈提供一個穩定磁場，將電解質溶液置於在圓形電極中，經過所設計的裝置產生電場與磁場交互作用，使得正負離子受切線方向的洛倫茲力作用力，而產生順時或逆時的圓周運動，測量觀察物運動一圈所需的時間，並計算出電解質的絕對遷移速度。並進一步探討影響轉動速度大小變因。

影響離子平均活性係數的主要因素是離子的濃度和價數，而且價數的影響更顯著。1921年，Lewis(路易士)提出離子強度(ionic strength)的概念。當濃度用重量莫耳濃度表示時，離子強度  $I$  等於:

$$I = \frac{1}{2} \sum_B m_B z_B^2$$

Debye-Hückel 建立離子氛模型，把離子間的靜電相互作用歸結為中心離子與離子氛之間作用。當有離子氛的存在，離子間的靜電作用力大，中心離子的定向運動就要受到帶相反電性的離子氛影響，使其遷移速度減慢，導電能力降為  $\Lambda_m$ ，當溶液為無限稀釋時，離子強度趨近於零，此時離子氛半徑趨近於無限大，離子間無靜電引力存在，即離子氛消失。

根據上述電化學的理論基礎，我們做以下研究探討：

- 一、改變電解質濃度大小，探討離子濃度效應造成的離子遷移速度大小關係。
- 二、電解質 2-1 價型硝酸銅與 2-2 價型硫酸銅價數不同，探討離子強度造成的離子遷移速度大小關係。
- 三、以同價型、同濃度的硝酸鉀與硝酸鈉實驗，探討水合離子半徑造成遷移速度差異。



## 貳、研究方法與過程：

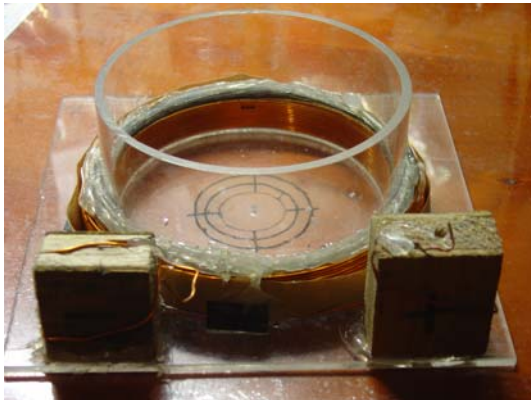
### 一、實驗裝置設計

- 1.外磁場線圈以截面積直徑 0.5mm 的漆包線纏繞壓克力容器 100 匝，以提供穩定的外磁場。

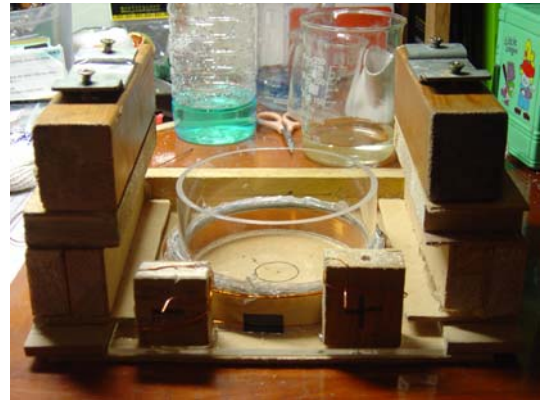


圖一：線圈纏繞施工情形

### 2.製作固定架

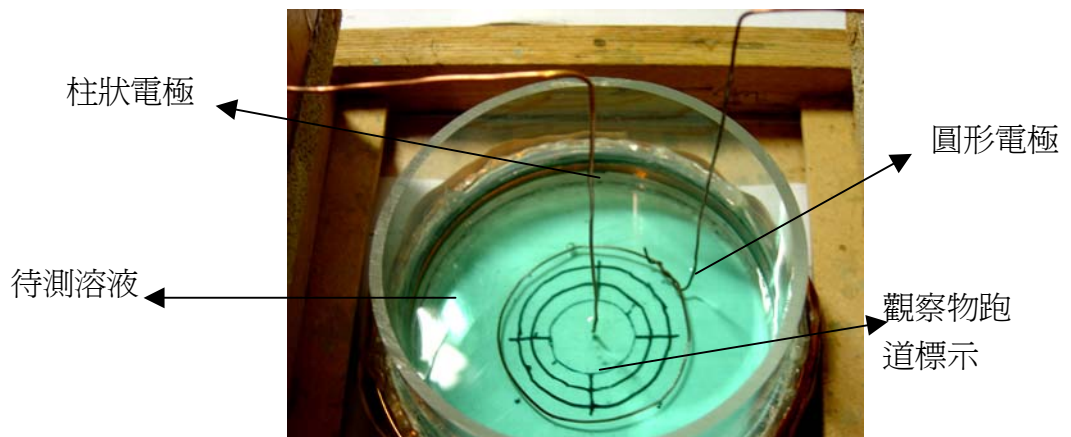


圖二：實驗器具主體



圖三：加上固定架

### 3.電解槽內電極裝置



圖四：圓形電極為正極，柱狀電極為負極，黑色線為觀察物跑道標示(最內圈)

4. 外接磁場電源、內接電解電源

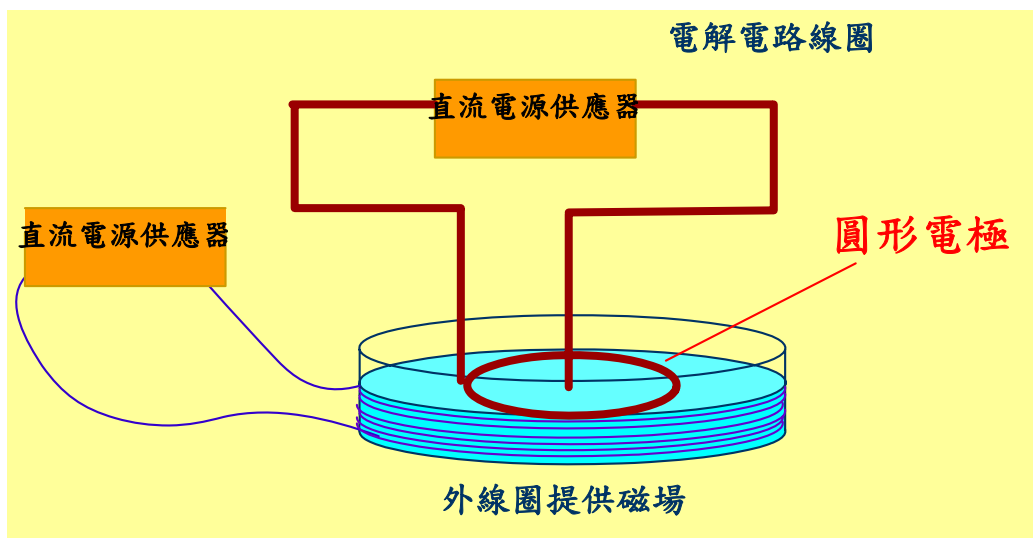


圖五：電源配製圖



圖六：實驗裝置全圖

5. 裝置示意圖



圖七：裝置示意圖



## 6. 觀測情形：



圖八：組員觀察中

二、改變電解質硫酸銅、硝酸銅的濃度，探討不同濃度、離子價數產生離子遷移速度差異。

1. 分別將不同濃度 (0.01M~1M) 的硫酸銅水溶液倒入電解槽至 1cm 高。
2. 插入電極 (兩電極距離：2.5 cm)，並通上外線圈磁場電流 2A，接著通上內線圈電解電壓 4.5V。
3. 置放懸浮物 (觀察物：細沙粉)，觀察其旋轉電解槽一圈 (旋轉距離： $2\pi$  cm，約 6.28 cm)，紀錄內、外偏行的情形。
4. 紀錄內線圈 A (安培)，外線圈 V (伏特) 及旋轉所需時間。
5. 取 0.01~1.0M 不同濃度的硫酸銅水溶液各做出一組數據。  
每測完一種濃度，更換環形電極(正極，因硫酸銅溶液通電後產生電鍍現象)
6. 將電解質換成硝酸銅，重複步驟 1~5，再做出一組數據。
7. 將各組數據互相比較，繪製成曲線圖，探討濃度、離子強度造成的效應。

三、改變中心電極成碳棒電極，探討離子強度相同，水合能力不同的電解質，以探討水合離子半徑造成遷移速度差異。

1. 分別將 0.01M 的硝酸鉀、硝酸鈉水溶液倒入電解槽至 1cm 高。
2. 插入碳棒電極(正極)與圓形銅電極 (兩電極距離：2.5 cm)，並通上外線圈磁場電流 2A，接著通上內線圈電解電壓 4.5V。
3. 置放懸浮物 (觀察物：細沙粉)，觀察其旋轉電解槽一圈 (旋轉距離： $2\pi$  cm，約 6.28 cm)，紀錄內、外偏行的情形。
4. 紀錄內線圈 A (安培)，外線圈 V (伏特) 及旋轉所需時間。
5. 比較硝酸鉀、硝酸鈉離子遷移速度。

## 參、研究結果與討論：

### 一、研究結果

#### 1. 硫酸銅：

溫度：24 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.01M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
93.24	4.5	0.01	2.6	1.97	
93.52	4.5	0.01	2.7	2	
92.45	4.5	0.01	2.7	2	
92.57	4.5	0.01	2.7	2	
91.60	4.5	0.01	2.8	2	
平均週期 =92.676 (秒)					

表一 CuSO<sub>4</sub> 0.01M

溫度：27 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.025M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
50.34	4.5	0.02	2.7	1.99	
49.59	4.5	0.02	2.7	2.04	
47.75	4.5	0.02	2.6	1.96	
48.81	4.5	0.02	2.6	2	
48.78	4.5	0.02	2.8	2.01	
平均週期 =49.054 (秒)					

表二 CuSO<sub>4</sub> 0.025M

溫度：27 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.05M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
32.72	4.5	0.03	3.4	2	
33.65	4.5	0.02	3.4	1.99	
32.81	4.5	0.03	3.5	2	
32.53	4.5	0.03	3.4	2	
31.59	4.5	0.03	3.5	2	
平均週期 =32.66 (秒)					

表三 CuSO<sub>4</sub> 0.05M

溫度：28 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.075M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
29.90	4.5	0.04	3.1	1.99	
28.13	4.5	0.04	3.2	2.04	
28.78	4.5	0.05	3.1	1.99	
29.56	4.5	0.04	3.1	2	
28.00	4.5.	0.05	3.2	2	
平均週期 =28.874 (秒)					

表四 CuSO<sub>4</sub> 0.075M

溫度：22.5 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.1M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
22.53	4.5	0.05	3.2	2	
21.72	4.5	0.05	3.2	2	
22.47	4.5	0.06	3.2	2	
22.15	4.5	0.06	3.2	2	
21.22	4.5	0.06	3.2	2	
平均週期 =22.02 (秒)					

表五 CuSO<sub>4</sub> 0.1M

溫度：24 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.2M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
18.21	4.5	0.08	3.3	2	
18.70	4.5	0.09	3.4	2	
17.60	4.5	0.09	3.2	2	
18.34	4.5	0.09	3.4	2	
18.65	4.5	0.08	3.3	2	
平均週期 =18.30 (秒)					

表六 CuSO<sub>4</sub> 0.2M

溫度：21.5 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.3M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
15.59	4.5	0.11	3.3	2	
15.93	4.5	0.13	3.4	2.03	
15.06	4.5	0.12	3.4	2.02	
15.34	4.5	0.13	3.3	2.01	
14.06	4.5	0.12	3.2	2.01	
平均週期 =15.20 (秒)					

表七 CuSO<sub>4</sub> 0.3M

溫度：21 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.4M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
13.19	4.5	0.17	3.1	2.01	
13.22	4.5	0.16	3.1	1.98	
13.41	4.5	0.17	3.1	2.01	
13.25	4.5	0.17	3.1	1.98	
13.25	4.5	0.16	3.2	2.01	
平均週期 =13.26 (秒)					

表八 CuSO<sub>4</sub> 0.4M

溫度：20 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.5M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
12.59	4.5	0.17	3.3	2	
12.31	4.5	0.19	3.5	2.01	
12.57	4.5	0.23	3.2	1.99	
12.22	4.5	0.24	3.2	2	
12.16	4.5	0.24	3.2	2	
平均週期 =12.37 (秒)					

表九 CuSO<sub>4</sub> 0.5M

溫度：20 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.6M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
11.53	4.5	0.19	3.1	2.01	
11.57	4.5	0.2	3.1	2	
11.03	4.5	0.2	3.1	2	
11.37	4.5	0.19	3.1	2	
10.78	4.5	0.22	3.1	2	
平均週期 =11.26 (秒)					

表十 CuSO<sub>4</sub> 0.6M

溫度：23 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.7M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
10.57	4.5	0.27	3.5	2	
10.85	4.5	0.25	3.5	2	
10.69	4.5	0.25	3.5	2	
11.16	4.5	0.27	3.5	2	
12.13	4.5	0.29	3.5	2	
平均週期 =11.08 (秒)					

表十一 CuSO<sub>4</sub> 0.7M

溫度：23 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.8M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
10.75	4.5	0.29	3.5	2	
11.31	4.5	0.28	3.5	2	
11.41	4.5	0.3	3.4	2	
11.22	4.5	0.31	3.5	2	
11.25	4.5	0.32	3.6	2	
平均週期 =11.19 (秒)					

表十二 CuSO<sub>4</sub> 0.8M

溫度：24 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 0.9M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
10.66	4.5	0.27	3.4	2	
10.71	4.5	0.28	3.4	2	
11.25	4.5	0.3	3.4	2	
10.31	4.5	0.33	3.4	2	
10.28	4.5	0.32	3.4	2	
平均週期 =10.64 (秒)					

表十三 CuSO<sub>4</sub> 0.9M

溫度：24 度

溶液種類：CuSO<sub>4</sub> 1M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
10.22	4.5	0.33	3.4	2.01	
10.09	4.5	0.32	3.4	1.99	
9.69	4.5	0.35	3.4	2.01	
10.15	4.5	0.34	3.6	2	
10.28	4.5	0.37	3.4	2	
平均週期 =10.09 (秒)					

表十四 CuSO<sub>4</sub> 1M

## 2. 硝酸銅

溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.01 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
47.24	4.5	0.02	3.2	1.98	
46.99	4.5	0.02	3.2	1.98	
46.70	4.5	0.01	3.2	2.01	
46.21	4.5	0.01	3.2	2.01	
47.80	4.5	0.02	3.3	1.98	
平均週期 =46.988 (秒)					

表十五 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.01 M



溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.025 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
32.28	4.5	0.03	3.3	2	
31.13	4.5	0.03	3.2	2.01	
31.87	4.5	0.03	3.1	2	
31.13	4.5	0.03	3.1	2	
32.72	4.5	0.03	3.1	2	
平均週期 =31.826 (秒)					

表十六 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.025 M

溫度：28°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.05 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
22.03	4.5	0.07	3	1.99	
22.50	4.5	0.06	3.3	2.02	
21.96	4.5	0.06	3.2	1.98	
23.94	4.5	0.07	3.2	1.99	
22.25	4.5	0.06	3.3	2	
平均週期 =22.536 (秒)					

表十七 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.05 M

溫度：28°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.075 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
17.34	4.5	0.09	3.3	1.98	
16.90	4.5	0.09	3.2	2	
16.69	4.5	0.09	3.4	1.97	
17.06	4.5	0.09	3.3	2.02	
17.28	4.5	0.09	3.1	1.99	
平均週期 =17.054 (秒)					

表十八 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.075 M

溫度：30℃

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.1M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
13.37	4.5	0.14	2.1	2.02	
13.32	4.5	0.13	3.2	2.01	
13.06	4.5	0.13	3.1	2	
12.94	4.5	0.14	3.1	2	
13.32	4.5	0.14	3.1	2	
平均週期 =13.202 (秒)					

表十九 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.1M

溫度：30℃

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.2M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
8.31	4.5	0.25	3.4	2	
8.18	4.5	0.25	3.4	2.01	
8.59	4.5	0.25	3.4	2	
8.53	4.5	0.25	3.4	2	
8.47	4.5	0.25	3.4	2.04	
平均週期 =8.416 (秒)					

表二十 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.2M

溫度：29℃

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.3M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
7.12	4.5	0.34	3.3	2	
7.25	4.5	0.33	3.3	2	
7.41	4.5	0.35	3.2	2	
7.40	4.5	0.35	3.2	2	
7.31	4.5	0.35	3.3	2	
平均週期 =7.298 (秒)					

表二十一 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.3M

溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.4 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
6.28	4.5	0.4	3.4	2.03	
6.53	4.5	0.4	3.4	2.01	
6.34	4.5	0.41	3.4	2.03	
6.28	4.5	0.43	3.4	1.99	
6.29	4.5	0.44	3.4	2	
平均週期 =6.344 (秒)					

表二十二 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.4 M

溫度： 29°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.5 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
5.28	4.5	0.54	3.1	2	
5.72	4.5	0.53	3.3	2	
5.87	4.5	0.53	3.2	2	
5.25	4.5	0.56	3.1	1.99	
5.47	4.5	0.56	3.1	2	
平均週期 =5.518 (秒)					

表二十三 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.5 M

溫度：29°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.6 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
4.93	4.5	0.65	3.2	2	
5.13	4.5	0.66	3.2	2	
4.97	4.5	0.61	3.3	2	
5.12	4.5	0.61	3.3	2	
5.06	4.5	0.61	3.2	2	
平均週期 =5.042 (秒)					

表二十四 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.6 M

溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.7 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
4.97	4.5	0.66	3.3	2.01	
4.68	4.5	0.67	3.5	1.95	
4.78	4.5	0.69	3.5	2.01	
4.81	4.5	0.7	3.5	2	
4.75	4.5	0.74	3.3	2	
平均週期 =4.798 (秒)					

表二十五 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.7 M

溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.8 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
4.62	4.5	0.73	3.3	2	
4.72	4.5	0.75	3.3	2	
4.75	4.5	0.74	3.3	2	
4.72	4.5	0.76	3.3	2	
4.62	4.5	0.76	3.2	2	
平均週期 =4.686 (秒)					

表二十六 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.8 M

溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.9 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
4.40	4.5	0.83	3.3	2	
4.56	4.5	0.79	3.4	2.02	
4.62	4.5	0.83	3.4	2	
4.53	4.5	0.83	3.4	1.99	
4.62	4.5	0.85	3.4	1.99	
平均週期 =4.546 (秒)					

表二十七 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0.9 M

溫度：30°C

溶液種類：Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1 M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
4.25	4.5	0.9	3.3	2	
4.38	4.5	0.88	3.3	2	
4.5	4.5	0.94	3.4	2	
4.6	4.5	0.88	3.3	2	
4.62	4.5	0.89	3.4	2	
平均週期 =4.47 (秒)					

表二十八 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1 M

### 3.硝酸鉀

溫度：28°C

溶液種類：KNO<sub>3</sub> 0.01M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
23.78	10	0.05	2.5	1.99	
22.57	10.1	0.04	2.5	2	
23.75	10.1	0.04	2.5	2.01	
25.78	10.1	0.04	2.5	2.01	
25.06	10	0.04	2.5	1.98	
平均週期 =24.188 (秒)					

表二十九 KNO<sub>3</sub> 0.01M

### 4.硝酸鈉

溫度：26°C

溶液種類：NaNO<sub>3</sub> 0.01M

時間 (秒)	內電極		外線圈		備 註
	伏特數 (V)	安培數 (A)	伏特數 (V)	安培數 (A)	
26.56	10.1	0.04	2.4	2	
26.28	10.1	0.03	2.4	1.99	
28.62	9.9	0.04	2.4	1.99	
28.66	10	0.04	2.4	1.99	
27.50	10	0.04	2.4	1.98	
平均週期 =27.524 (秒)					

表三十 NaNO<sub>3</sub> 0.01M

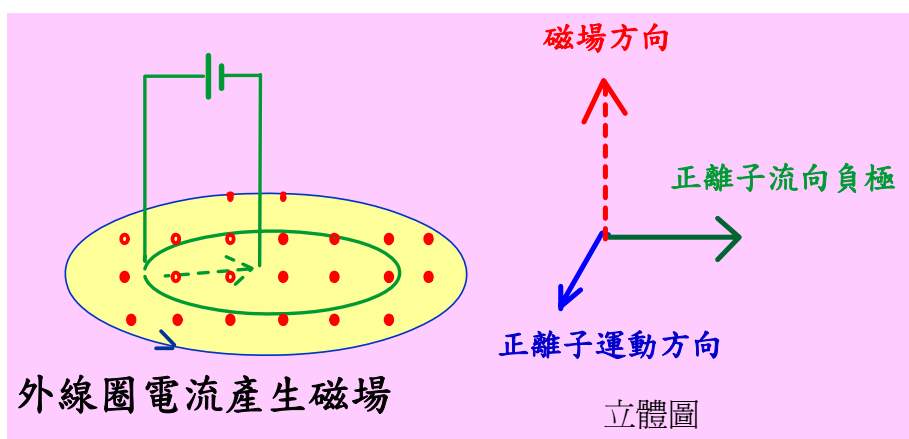
## 二、研究討論

### 1. 實驗原理：

利用在電解液中通入電極(負極：以一根漆包線做為負極，正極：以一根漆包線纏繞成一環形電極之電流，造成正離子由環形電極往負極移動。此時在通以外線圈的電流造成一外磁場，根據安培右手定則，此磁場對正在移動的離子產生一固定方向的推力，使離子運動方向發生偏轉，開始作以負極電極棒為圓心的圓周運動。提供圓周運動的向心力即為洛倫茲力，洛倫茲力  $F = qvB$ ，向心力  $F = mv^2 / r$ 。

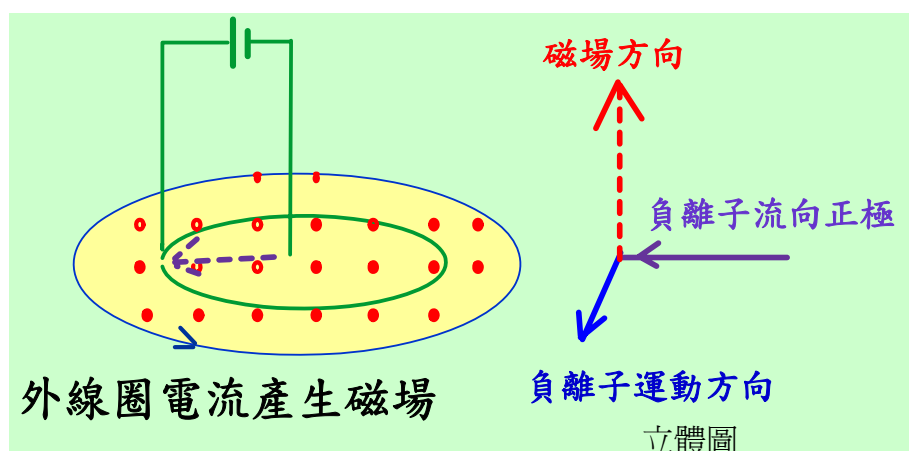
洛倫茲力僅提供向心力，使電解槽中移動的正負離子產生圓周運動，並不會對正負離子做功，也不能改變其速度，但是我們可以藉由離子單純的方位運動軌跡，可測得離子圓周運動一圈的距離與時間，進而推算出離子的絕對遷移速度。

#### (1) 正離子的運動方向：



圖九:正離子的運動方向

#### (2) 負離子的運動方向：



圖十:負離子的運動方向



(3) 由於正、負離子的轉向都相同，因此我們所測到的離子轉速是溶液內的所有正負離子遷移造成的總效果。

## 2.內外線圈的電壓與電流控制：

(1) 外線圈：為了提功穩定磁場，必須提供穩定的外線圈電流，但是由於外線圈因溫度升高，電阻變大，電流會逐漸變小，必需在實驗過程中不斷調整使外電流維持在 2A。

(2) 內線圈：為了探討電解質溶於水的解離情形，我們必須提供穩定的內線圈電壓，藉由電解質離子的效應會有不同的電流，進一步可知電解質的電導率。

## 3.硫酸銅、硝酸銅濃度 0.01M~1.0M 的範圍內，濃度變化所造成的離子遷移速度探討：

濃度 (M)	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
平均週期 (s)	92.68	49.05	32.66	28.87	22.02	18.30	15.20	13.27	12.37	11.26	11.08	11.19	10.64	10.09
平均速度 (cm/s)	0.068	0.128	0.192	0.218	0.285	0.343	0.413	0.474	0.508	0.558	0.567	0.562	0.590	0.623
莫耳遷移速度 (cm/s · M)	6.80	5.12	3.84	2.91	2.85	1.72	1.38	1.19	1.02	0.93	0.81	0.70	0.66	0.62

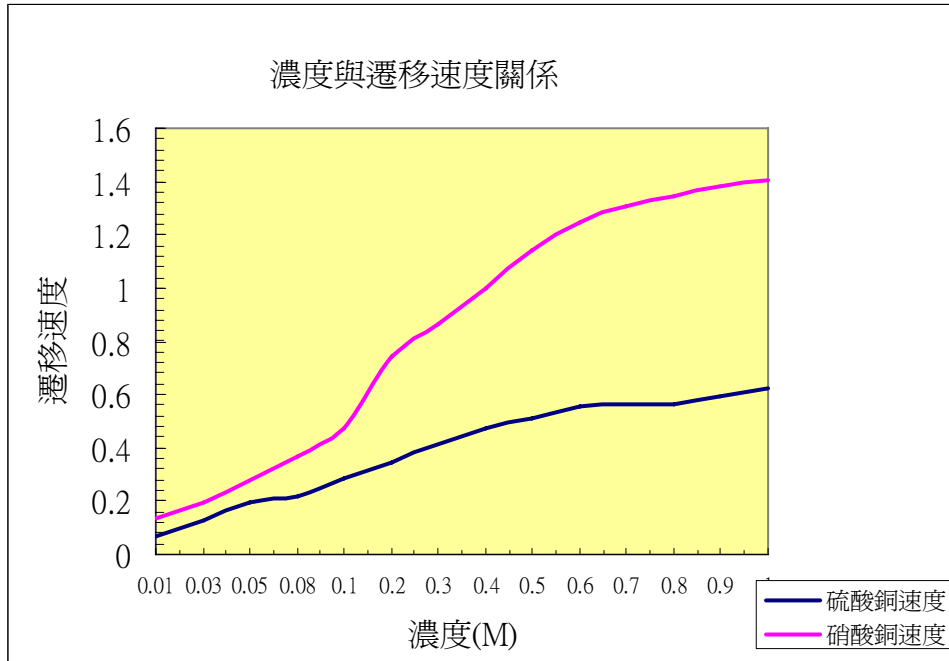
表三十一硫酸銅濃度變化與離子遷移速度關係探討

濃度 (M)	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
平均週期 (s)	46.99	31.83	22.54	17.05	13.20	8.42	7.30	6.34	5.52	5.04	4.80	4.69	4.55	4.47
平均速度 (cm/s)	0.134	0.197	0.279	0.368	0.476	0.747	0.861	0.990	1.139	1.246	1.310	1.341	1.382	1.406
莫耳遷移速度 (cm/s · M)	13.40	7.88	5.58	4.91	4.76	3.74	2.87	2.48	2.28	2.08	1.87	1.68	1.54	1.41

表三十二硝酸銅濃度變化與離子遷移速度關係探討

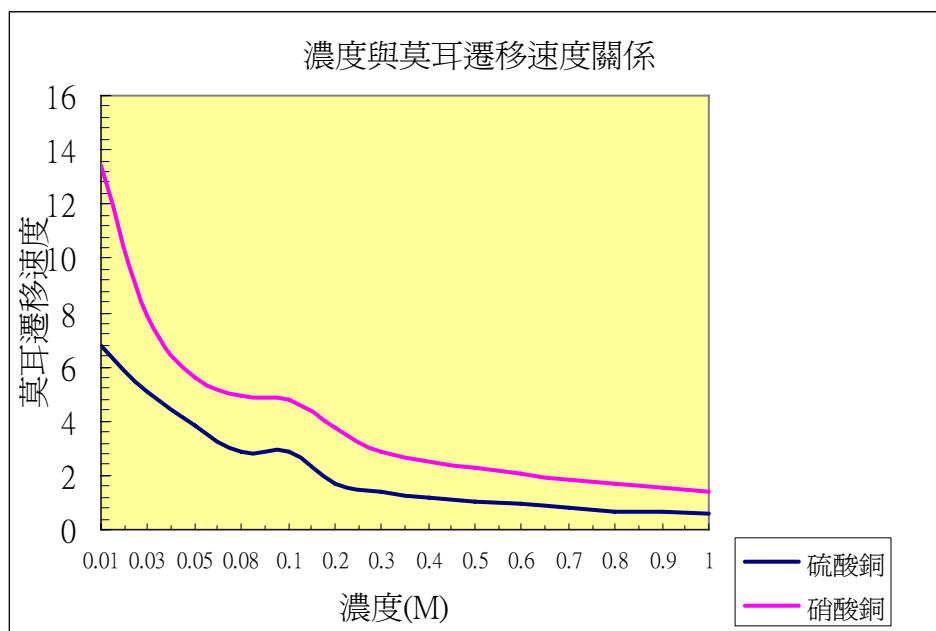
(1) 濃度因素：溶液濃度愈大，離子彼此靠得愈近，離子間的作用力也愈強，使得正負離子遷移速度均減慢。

外加相同的電場（電壓 4.5V，兩極距離 2.5cm，偵測固定距中心電極半徑 1cm 處），離子遷移速度，也代表導電能力的差異，將不同硫酸銅與硫酸銅濃度所測得的離子遷移速度作圖，關係如下：



圖十一：硫酸銅、硝酸銅濃度與離子遷移速度關係圖

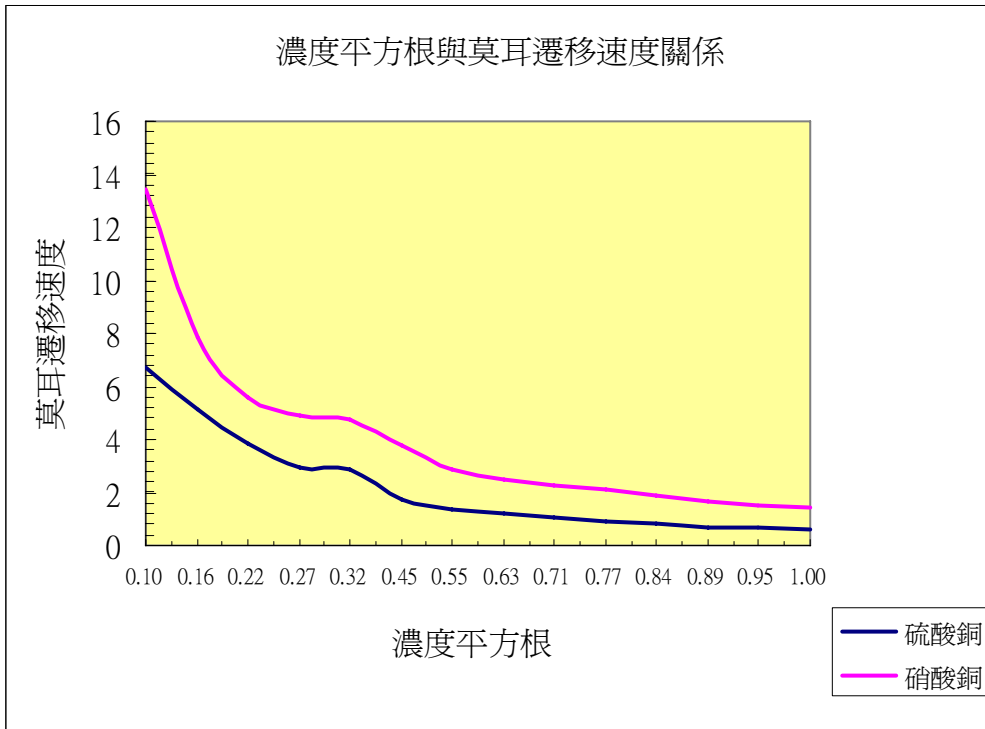
引入莫耳電導率 ( $\Lambda$ ) 的概念，現在所考慮的溶液體系在任何濃度下都含有一莫耳的物質，進而可以比較不同電解質或不同價型的導電能力。以遷移速度正比於電導率的條件，將遷移速度除以莫耳濃度  $C$ ，求出等量條件下的莫耳遷移速度，將不同硝酸銅與硫酸銅濃度所測得的莫耳離子遷移速度作圖，關係如下：



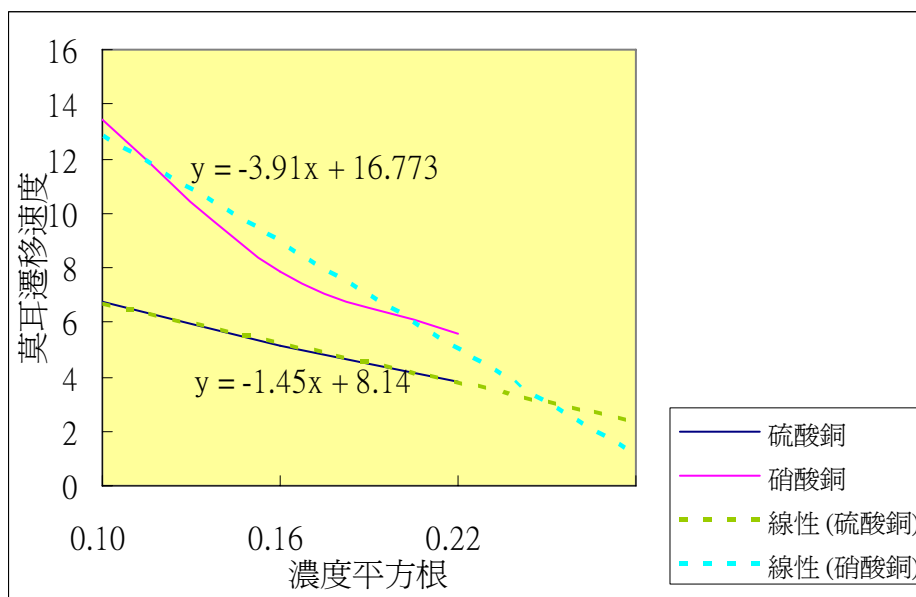
圖十二：硫酸銅、硝酸銅濃度與莫耳離子遷移速度關係圖

(2) 離子強度：相同的溶液濃度之下，硝酸銅 2-1 價型鹽與硫酸銅 2-2 價型鹽，硫酸銅有較大的離子強度，因此硫酸銅相對離子活性也愈小，使得硫酸銅遷移速度比硝酸銅 2-1 價型鹽慢。

(3) 根據 Kohirausch 平方根律公式： $\Lambda = \Lambda_{\infty} - k\sqrt{C}$ ，在濃度不大的領域，對 $\sqrt{C}$ 呈線性減少。可推出 $\sqrt{C} \rightarrow 0$ 時，無限稀釋時的莫耳遷移速度，取濃度較低的資料作圖由線性歸納，硫酸銅稀釋溶液可找出非常理想的直線關係。



圖十三：硫酸銅、硝酸銅濃度平方根與莫耳離子遷移速度關係圖



圖十四：硫酸銅、硝酸銅稀釋濃度平方根與莫耳離子遷移速度線性關係圖

4.測量 0.01M 硝酸鉀、硝酸鈉水溶液遷移速度，探討水合離子半徑造成遷移速度差異。

	KNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>
平均週期 (s)	24.188	27.524
平均速度(cm/s)	0.260	0.228

表三十三

比較 0.01M 硝酸鉀 KNO<sub>3</sub>、硝酸鈉 Na NO<sub>3</sub> 溶液的離子轉速，KNO<sub>3</sub> 離子遷移速度比 Na NO<sub>3</sub> 快，兩者有相同的陰離子，也有相同的離子強度，因此遷移速度差異決定於 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 離子，因為在水溶液中離子都是水合狀態，Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 離子兩者有相同電荷，Na<sup>+</sup> 離子半徑小，水合程度（離子的水合數）大，水合後的離子半徑較大，因此 NaNO<sub>3</sub> 在溶液中的運動阻力也增大，與我們所測量到結果相符。如\*參考資料（十四）表 4.4.2 常見離子之水合直徑 *d*

<i>d</i> (Å)	1 價離子	2 價離子	3 價離子
3	K <sup>+</sup> Br <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , HS <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> , MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>		
4	Na <sup>+</sup> CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CrO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
5		Ba <sup>+2</sup> , Cd <sup>+2</sup> , Hg <sup>+2</sup> , Pb <sup>+2</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , S <sup>-2</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	
6	Li <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup> , Cu <sup>+2</sup> , Fe <sup>+2</sup> , Zn <sup>+2</sup>	
7			
8		Mg <sup>+2</sup>	
9	H <sup>+</sup>		Al <sup>+3</sup> , Cr <sup>+3</sup> , Fe <sup>+3</sup>

1Å=10<sup>-8</sup> cm

表三十四 常見離子之水合直徑 *d* \*參考資料（十四）

5. 實驗值與理論數據比較：

如\*參考資料（七）表 2-5 中，無限稀釋時的離子移動度( $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )：

表 2-5 無限稀釋時的離子移動度 ( $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $18^\circ\text{C}$ )

陽離子	$u_{+,0} \times 10^4$	陰離子	$u_{-,0} \times 10^4$
H <sup>+</sup>	32.6	OH <sup>-</sup>	17.7
Ag <sup>+</sup>	5.5	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	3.4
Al <sup>3+</sup>	4.1	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COO <sup>-</sup>	2.7
Ba <sup>2+</sup>	5.7	Br <sup>-</sup>	7.0
Be <sup>2+</sup>	2.9	BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.0
Ca <sup>2+</sup>	5.3	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6.3
Cd <sup>2+</sup>	4.6	Cl <sup>-</sup>	6.8
Co <sup>2+</sup>	4.7	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.7
Cr <sup>3+</sup>	4.7	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	6.1
Cs <sup>+</sup>	6.9	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.4
Cu <sup>2+</sup>	4.7	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	4.7
Fe <sup>2+</sup>	4.6	F <sup>-</sup>	4.9
Fe <sup>3+</sup>	6.3	HCOO <sup>-</sup>	4.9
K <sup>+</sup>	6.6	I <sup>-</sup>	6.9
Li <sup>+</sup>	3.4	IO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.5
Mg <sup>2+</sup>	4.7	IO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5.1
Mn <sup>2+</sup>	4.6	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6.6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.5
Na <sup>+</sup>	4.4	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	4.9
Ni <sup>2+</sup>	4.7	SCN <sup>-</sup>	5.9
Pb <sup>2+</sup>	6.3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.1
Ra <sup>2+</sup>	6.0	S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.2
Rb <sup>+</sup>	6.9		
Sr <sup>2+</sup>	5.3		
Tl <sup>+</sup>	6.8		
Zn <sup>2+</sup>	4.7		

$\lambda_{+,0} + \lambda_{-,0} = F(u_{+,0} + u_{-,0})$

表三十五無限稀釋時的離子移動度 \*參考資料（七）

$$\text{Cu}^{+2}=4.7 \times 10^{-4}, \text{K}^+=6.6 \times 10^{-4}, \text{Na}^+=4.4 \times 10^{-4}, \text{SO}_4^{2-}=7.1 \times 10^{-4}, \text{NO}_3^- =6.5 \times 10^{-4}$$

(1) 硝酸鈉、硝酸鉀離子移動度比較

$$\text{硝酸鈉移動度} = \text{Na}^+ + \text{NO}_3^- = 10.9 \times 10^{-4},$$

$$\text{硝酸鉀移動度} = \text{K}^+ + \text{NO}_3^- = 13.1 \times 10^{-4}$$

$$\text{實驗值 } \text{NaNO}_3 / \text{KNO}_3 = 0.228 / 0.260 = 0.8769 \quad (0.01\text{M})$$

$$\text{理論值 } \text{NaNO}_3 / \text{KNO}_3 = 10.9 \times 10^{-4} / 13.1 \times 10^{-4} = 0.8321 \quad (\text{無限稀釋})$$

由於正負極無析出金屬，對於電極影響較小，與理論值較吻合。

(2) 硫酸銅、硝酸銅離子移動度比較

$$\text{硫酸銅移動度} = \text{Cu}^{+2} + \text{SO}_4^{2-} = 11.8 \times 10^{-4},$$

$$\text{硝酸銅移動度} = \text{Cu}^{+2} + 2\text{NO}_3^- = 17.7 \times 10^{-4}$$

$$\text{實驗值 } \text{CuSO}_4 / \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 6.8 / 13.4 = 0.51 \quad (0.01\text{M})$$

$$\text{理論值 } \text{CuSO}_4 / \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 11.8 \times 10^{-4} / 17.7 \times 10^{-4} = 0.66 \quad (\text{無限稀釋})$$

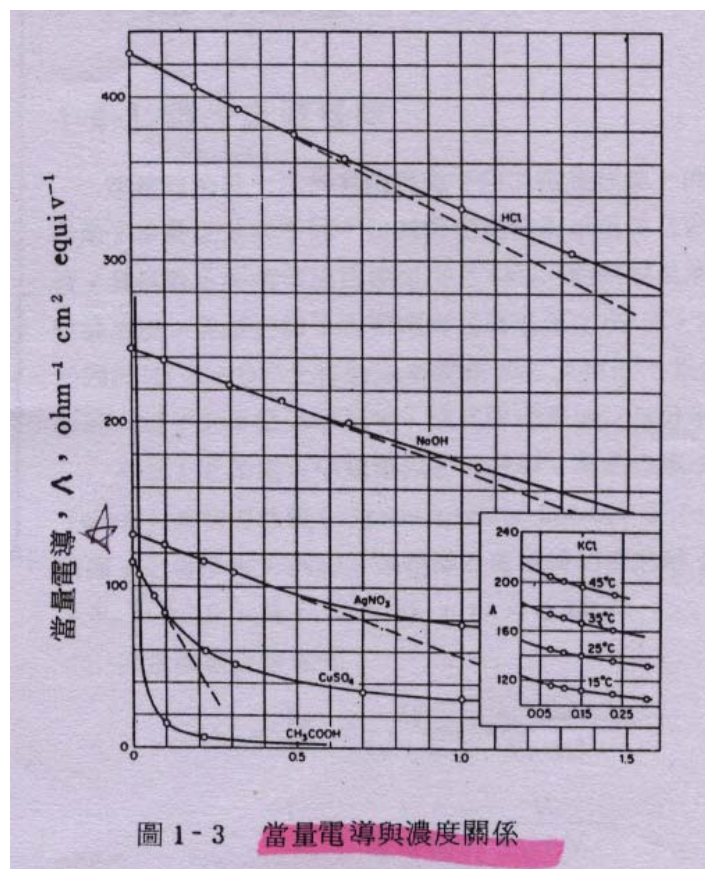
由於負極析出金屬，對於電極影響較大，與理論值相差較大，但仍可以看出離子強度對遷移速度產生的差異性。

## 肆、結論與應用：

影響電解質溶液導電原因很多，包括濃度、離子價數、水合半徑大小、兩極間電場大小，本研究將電場大小為控制變因，依序探討濃度、離子強度、水合半徑大小等變因。

- 一、電解質溶液濃度愈大，離子彼此靠得愈近，離子間的作用力也愈強，使得離子遷移速度減慢。
- 二、離子強度愈大，相對離子活性也愈小，遷移速度愈慢。故同濃度之下，離子價數愈大，遷移速度愈慢。
- 三、水合後的離子半徑較大者，遷移速度較慢。

本研究設計因洛倫茲力而產生離子轉動的實驗裝置，可以親眼看到因離子移動而造成標的物轉動現象，不同一般常見的電導計測量方法，與理論值比較亦能有相當接近的結論，硫酸銅莫耳遷移速度與濃度關係圖，與\*參考資料（六）第 19 頁圖 1-3 當量電導與濃度關係曲線吻合，表示此方法有其利用價值與發展的潛力，以此新的方法進一步探討電化學相關的變因，未來可以再精良改進，做更多電化學實驗創新。



表三十六當量電導與濃度關係 \*參考資料（六）



## 伍、參考資料：

- 一、邱紀良 2005 年 9 月 電解質水溶液會導電？科學發展 393 期 66~71 頁
- 二、吳育恒、李宜泓、陳哲生、曹登富 中華民國第三十一屆中小學科學展覽國中組化學科第三名 兩極乾坤--探討離子 在電場磁場中的走向
- 三、林文中 中華民國第二十七屆中小學科學展覽國中組化學科第三名 離子的游動
- 四、李浩任 台灣 2003 年國際科學展覽會 化學科第二名 電解與磁場的秘密
- 五、潘澤富 1972 閒話離子 科學月刊全文資料庫 36 期
- 六、田福助 電化學 台北市 五洲出版社 16~24 頁 1988
- 七、魚崎浩平 喜多英明著 黃忠良譯 台南市 復漢出版社 10~18 頁 1984
- 八、田中正三郎著 賴耿陽譯 應用電化學 台南市 復漢出版社 11~23 頁 1985
- 九、卓靜哲 黃守仁 施良垣 何瑞文 蘇世剛 物理化學 台北市 三民書局 1996
- 十、Ernest H.Lyons,JR 吳政賢譯 電化學入門 新竹市 國興書局 9~20 頁 1977
- 十一、<http://wordpedia.pidc.org.tw/Content.asp?ID=43991> 中國大百科智慧藏  
電解液導電 作者：余守憲
- 十二、<http://wordpedia.pidc.org.tw/Content.asp?ID=46662> 中國大百科智慧藏  
離子淌度 作者：楊文治
- 十三、<http://210.240.193.70/xency/Content.asp?ID=44710> 中國大百科智慧藏  
洛倫茲力 作者：盛靈惠
- 十四、<http://wwwdata.fy.edu.tw/env/html/08link/handout/pl015/default.htm> 趙慶光老師環境化學課程相關資料

## 評語

作品具有創意利用磁力促使陰陽離子的運動方向一致，減少擾動。缺點為使用細沙量測離子運動速度，其不準度很大，因細沙可能受到離心速度而運動，同時細沙可能吸附不同等量的電荷，造成運動速度的分布很廣，若能另想一方法替代細沙，則本作品會更佳。