

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 理化科

第一名

031614

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

學校名稱：新竹縣立仁愛國民中學

作者： 國二 辜禹仁 國二 鄭祐杰 國二 陳守中 國二 蔡允中	指導老師： 洪鈺英
---	--------------

關鍵詞：電導率、遷移速度、洛倫茲力

## 摘要：

帶電的離子受到垂直方向的磁場與電場作用，會因為受到洛倫茲力而產生有趣的轉動現象，由於電解槽中電解質不同濃度，會產生不同的離子遷移速度。經由所測量的時間與圓周運動的距離，可計算電解質的實際遷移速度，我們可利用簡易的裝置設備，推論出當電解質濃度越大，解離後正、負離子的吸引牽制作用也越強，使得離子在固定電場下的遷移速度減小了，莫耳導電率也減小。

## 壹、研究動機：

在自然課上到電解質單元，老師教到電解質溶於水會形成正、負離子，也提到阿瑞尼士的解離說，及正離子往負極移動，負離子往正極移動。因此我們問老師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?老師提到可利用導電性質，觀察燈泡亮的強度，但是這樣的實驗不容易看到離子真正的移動情形，根據所查到歷屆全國科展的題目，也僅能將電解質溶於洋菜或滴於濾紙上，看到有色離子的移動，卻不是真正的電解質水溶液狀態的離子運動速度。

老師另外介紹了這一個有趣的實驗，利用外線圈提供一個穩定磁場，讓離子在圓形電極產生向心力-洛倫茲力，離子就會做圓周運動，藉由測量觀察物運動一圈所需的時間，得到離子運動的速度。

## 貳、研究目的：

電解質的解離產生正負離子，經過設計電場與磁場的交互作用,使得正負離子受切線方向的作用力,而產生順時或逆時針的轉動,並進一步探討電解質濃度影響轉動速度大小變因。

- 一、改變電解質濃度大小，探討離子濃度效應所造成的離子遷移速度大小關係。
- 二、探討莫耳電導率與離子遷移速度的關係。

### 參、研究設備與器材：

#### 一、設備：

電源供應器、鱷魚夾、量筒、玻棒、計時器、溫度計、電子天平、燒杯、滴管、手套、口罩。

#### 二、器材：

壓克力容器（電解槽）、漆包線（電解電極 0.8mm、磁場外線圈 0.5mm）、容器置放平台。

#### 三、藥品：硫酸銅

### 肆、研究過程：

#### 一、實驗裝置設計

（一）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

（二）製作固定架



圖二：實驗器具主體



圖三：加上固定架

(三) 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)

(四) 外接磁場電源、內接電解電源

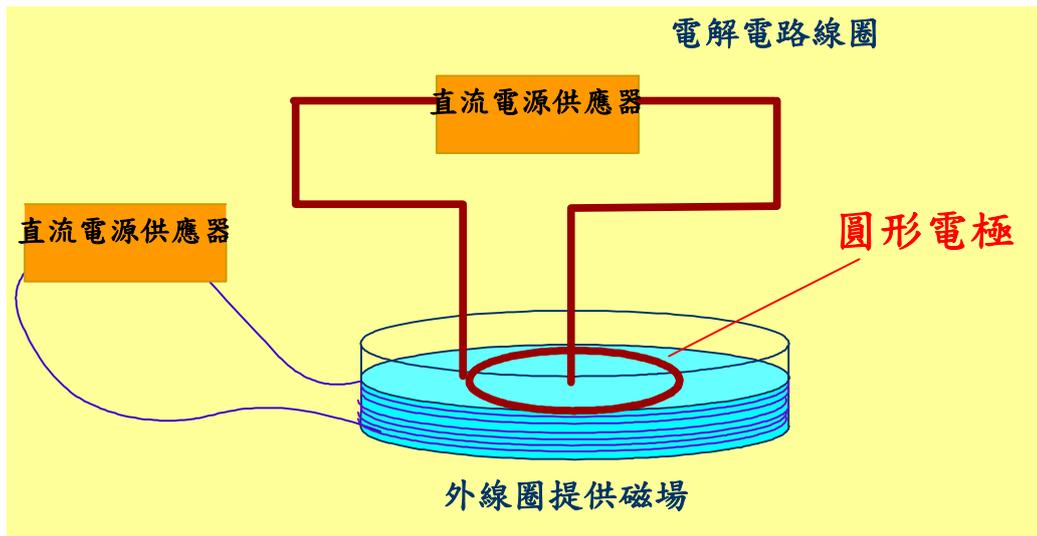


圖五：電源配製圖



圖六：實驗裝置全圖

(五) 裝置示意圖



圖七

(六) 觀測情形：



圖八：組員觀察中

二、改變電解質硫酸銅的濃度，探討不同濃度產生離子運動速度差異。

- (一) 分別將不同濃度 (0.1M~1M) 的硫酸銅水溶液倒入電解槽至 1cm 高。
- (二) 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。
- (三) 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。
- (四) 紀錄內線圈 A (安培)，外線圈 V (伏特) 及旋轉所需時間。
- (五) 將十種不同濃度的硫酸銅水溶液各做出一組數據。
- (六) 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)
- (七) 將此十組數據互相比較，探討濃度造成的效應

伍、研究結果：

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)					

表一

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)					

表二

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)					

表三

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)					

表四

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)					

表五

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)					

表六

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)					

表七

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)					

表八

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)					

表九

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

## 陸、討論：

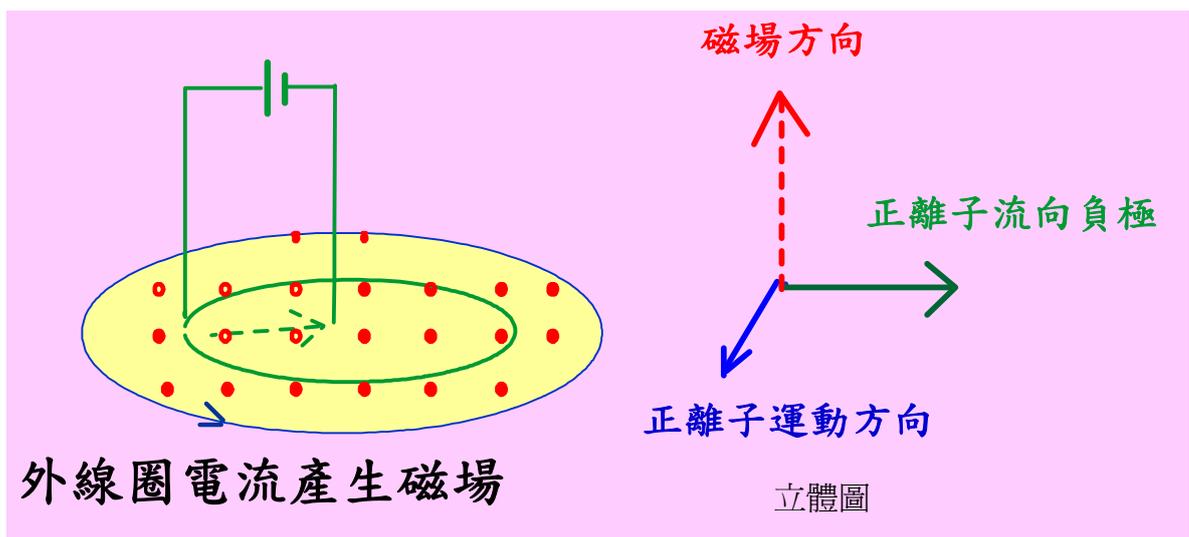
### 一、實驗原理：

利用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)之電流，造成正離子由環形電極往負極移動。此時再通以外線圈的電流造成外磁場，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  $F = mv^2 / r$ 。

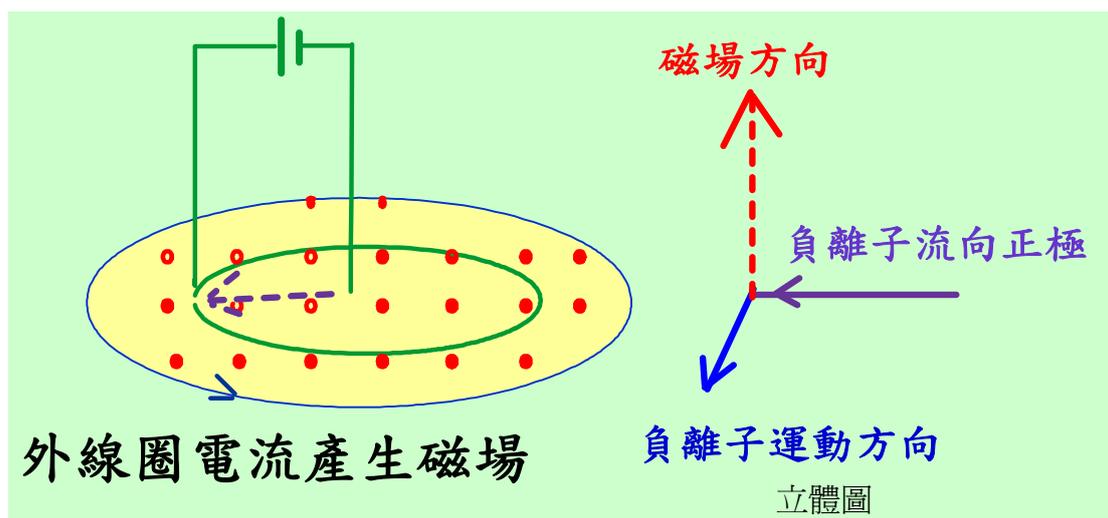
洛倫茲力僅提供向心力，使電解槽中移動的正負離子產生圓周運動，並不會對正負離子做功，也不能改變其速度，但是我們可以藉由離子單純的方位運動軌跡，可測得離子圓周運動一圈的距離與時間，進而推算出離子的相對速度，所測得的  $v$  值，即為因電解槽內的電解質濃度差異所造成，而換算出來的離子遷移速度。

#### (一)正離子的運動方向：



圖九：正離子的運動方向

(二)負離子的運動方向：



圖十：負離子的運動方向

(三) 由於正、負離子的轉向都相同，我們所測得的離子轉速是溶液內所有離子遷移造成的總效果，因此在不同濃度時必須換算為莫耳離子遷移速度，這樣比較合理。

二、內外線圈的電壓與電流控制：

(一) 外線圈：為了提供穩定磁場，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，所以必須在實驗過程中不斷調整使外電流維持在 2A。

(二) 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所產生不同的電流，進一步可知電解質的電導率。

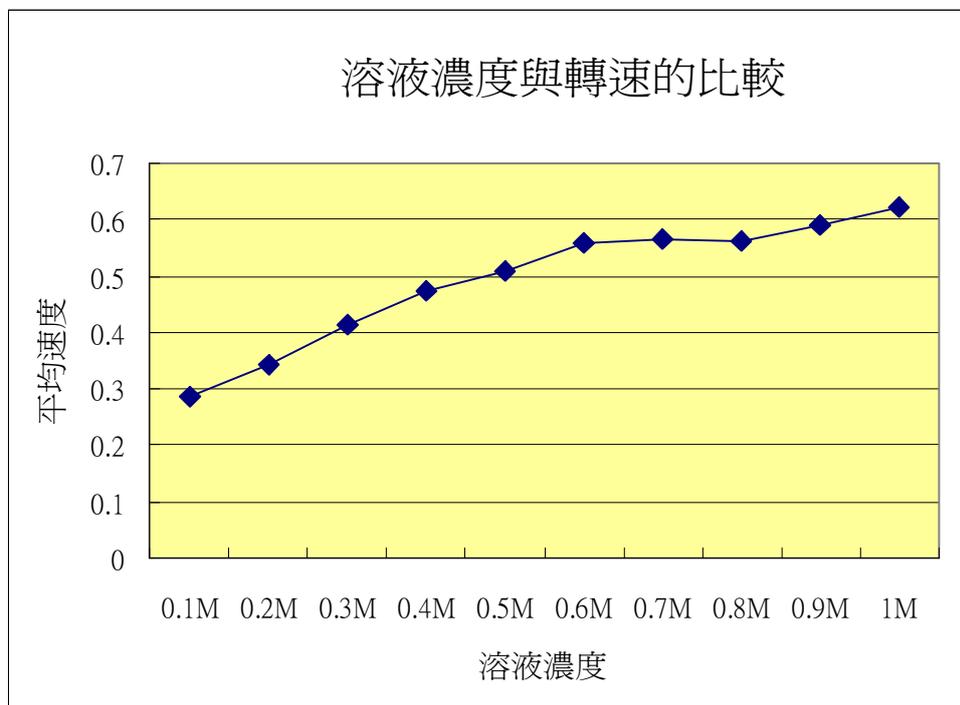
三、硫酸銅濃度為 0.1M~1.0M 的範圍內，濃度變化所造成的離子運動探討：

(一) 硫酸銅水溶液濃度越高，轉速越快。

	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1M
平均週期 (s)	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)	0.285	0.343	0.413	0.474	0.508	0.558	0.567	0.562	0.590	0.623

表十一

根據阿瑞尼士提出的假說，溶液能導通電流的程度與溶液中的離子數目成正比。



圖十一：溶液濃度與轉速的比較

(二) 將內線圈的電壓、電流數值代入可求電導率。

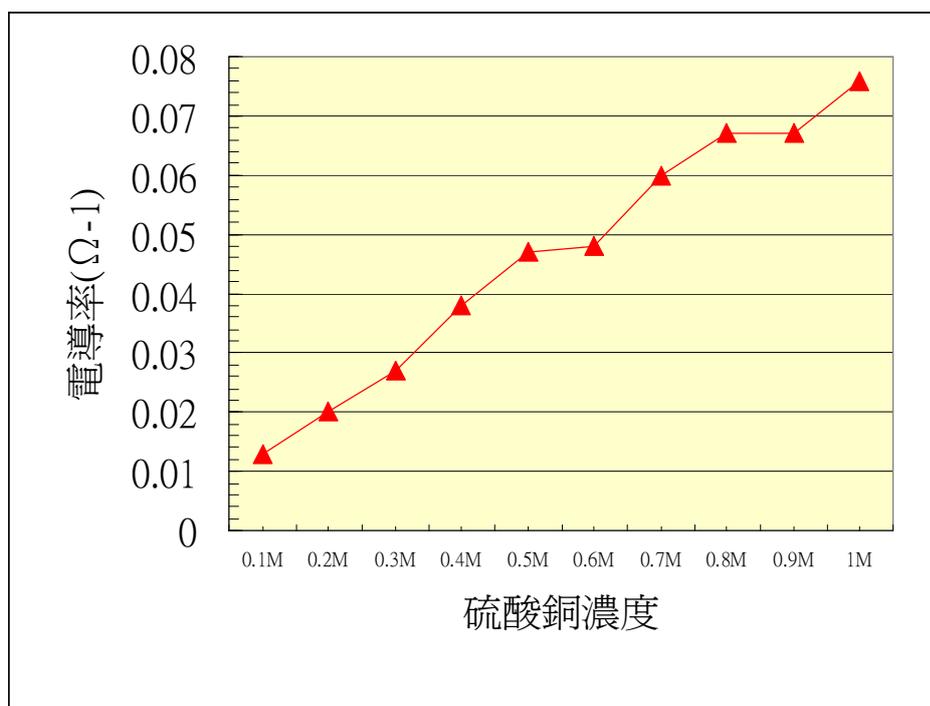
電解質溶液的電導是由離子引起的，所以不同溶液的導電能力直接決定於單位體積中離子的數目、每個離子所帶的電荷以及離子移動的快慢，因此溶液的電導率 $\kappa$ 與溶液中各種離子的濃度 $c_i$ (莫耳/升)，離子的價數 $Z_i$ ，離子遷移速度有關。對於離子 $i$ 來說，可以證明它對總電導率 $\kappa_i$ 的貢獻為：

$$\kappa_i = c_i |Z_i| U_i F / 1000 \quad \text{式中 } F \text{ 為法拉第常數。}$$

雖然硫酸銅水溶液濃度越大，電導率越大，但是換算成相同離子莫耳，莫耳導電率卻是越小。

	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1M
V (V)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
I (A)	0.06	0.09	0.12	0.17	0.21	0.22	0.27	0.3	0.3	0.34
電導率( $\Omega^{-1}$ )	0.013	0.02	0.027	0.038	0.047	0.048	0.06	0.067	0.067	0.076
莫耳電導率	0.13	0.1	0.09	0.095	0.094	0.08	0.085	0.084	0.074	0.076

表十二



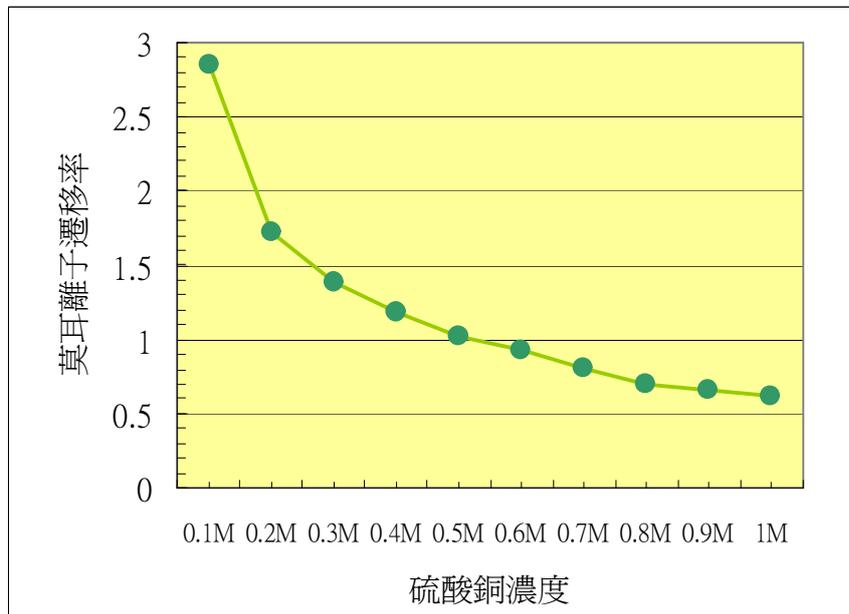
圖十二：濃度對電導率造成的效應

(三) 當硫酸銅水溶液濃度增大時，正、負離子相互吸引對離子運動的牽制作用增強，因而使離子遷移率降低，所以莫耳電導隨溶液莫耳濃度的增大而降低。

	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M	0.7M	0.8M	0.9M	1M
總離子遷移速度 (cm/s)	0.285	0.343	0.413	0.474	0.508	0.558	0.567	0.562	0.590	0.623
莫耳離子遷移速度 (cm/s)	2.85	1.72	1.38	1.19	1.02	0.93	0.81	0.70	0.66	0.623
莫耳電導率	0.13	0.1	0.09	0.095	0.094	0.08	0.085	0.084	0.074	0.076

表十三

比較莫耳離子遷移速度曲線與莫耳電導率曲線，當硫酸銅水溶液濃度越大時，莫耳離子遷移率降低，所以莫耳電導率也會隨濃度的增大而降低，所得曲線與理論推導是相符合的，我們可以利用這個簡單裝置，再進一步做不同離子電解質的解離探討。



圖十三：濃度對莫耳離子遷移率造成的效應



圖十四：濃度對莫耳電導率造成的效應

### 柒、結論：

我們利用簡單的實驗裝置，親眼看到了離子的轉動，也明白雖然電解質解離了，但是內部的正、負離子卻會因為硫酸銅溶液濃度增大，正、負離子相互吸引對離子運動的牽制作用增強，使得離子遷移率降低。所以對強電解質而言，隨著溶液濃度的降低，離子間的引力減小，離子運動速度增大，使得莫耳電導率增大。

## 捌、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。

二、潘澤富（1972年12月）閒話離子。科學月刊全文資料庫 36期

三、康軒版 自然與科學 國中二下第二章電解質

四、吳育恒、李宜泓、陳哲生、曹登富。兩極乾坤--探討離子在電場磁場中的走向。

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

五、林文中。離子的游動。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

六、李浩任。電解與磁場的密秘。台灣2003年國際科學展覽會化學科第二名

七、盛靈惠。洛倫茲力。取自：中國大百科智慧藏

<http://210.240.193.70/xency/Content.asp?ID=44710>

八、余守憲。電解液導電。取自：中國大百科智慧藏：

<http://wordpedia.pidc.org.tw/Content.asp?ID=43991>

九、楊文治。離子淌度。取自：中國大百科智慧藏：

<http://wordpedia.pidc.org.tw/Content.asp?ID=46662>

評 語

031614 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

研究很有創意，數據的解釋也相當完整。可增加和已知實驗

數據一致性之探討。