

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030210

Running Ion

— 電解質水溶液的導電性質與離子移動的速率

學校名稱：桃園市立楊梅國民中學

作者： 國一 魏劭安 國二 邱瑞浩 國二 陳芷嫻	指導老師： 王界傑
---	------------------

關鍵詞：液態導線、離子移動速率、勞倫茲力

摘要

電解質水溶液組成之「液態導線」的導電性質與金屬導線相同，包括：1.符合歐姆導體，2.相同材質導線，其電阻大小與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比。進而發現液態導線的導電能力（電導大小）與溶液濃度、離子種類（離子在水中的移動能力與帶電量）、解離度……等有關。最後我們發現電解質水溶液內的電流大小與其離子在水中的遷移速率有關，且各種強電解質在相同的濃度與電解電壓的狀態下，導電度的大小關係為強酸>強鹼>鹽類，而正離子在水中的移動速率大小為：氫離子>鉀離子>鈉離子，負離子則是：氫氧根>VII族離子>硝酸根。

壹、研究動機

上課的時候，老師提到將電解質溶於水後通電，可以藉由離子在水中之氧化還原反應（電解反應）產生電流，他舉出電影「三個傻瓜」中，學長被自己的尿電到重要部位而痛苦不堪那一幕時，大家都笑翻了！課堂上，老師也提到一些之後九年級會學到關於金屬導線的導電性質⁽¹⁾，最後，老師只留下一句：「其實，以你們課本中所提到電解質的內容，某些部分是與事實有些出入的！有興趣的人，下課可以來問，但我不保證你聽得懂喔！哈哈！」一想到課本的內容竟然不是真的，我實在不敢相信，當天放學，就找兩位同學陪我(就是現在的三人科展小組)到辦公室找老師，老師馬上說：「紙上談兵不如直接做實驗！要不要來玩一下科學，不過要犧牲假日喔！」就這樣，好奇心竟成了開啟科展旅程的種子。

貳、研究目的

一、探討電解質水溶液組成的「液態導線」是否與金屬導線有相同的導電性質。

(一)「液態導線」是否符合歐姆導體。

(二)「液態導線」其電阻大小是否與金屬導線相同，與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比。

二、探討外加磁場下，電解質水溶液通電時，影響內部離子受到勞倫茲力大小的因素。

(一) 水溶液內離子受到勞倫茲力的大小與外加磁場的關係。

(二) 水溶液內離子受到勞倫茲力的大小與電解電壓大小的關係。

(三) 水溶液內離子受到勞倫茲力的大小與電解電流大小的關係。

三、探討影響電解質水溶液導電度大小的因素。

(一) 相同濃度下，電解質種類與水溶液導電度的關係。

(二) 電解質濃度與解離度的關係。

參、研究設備與器材

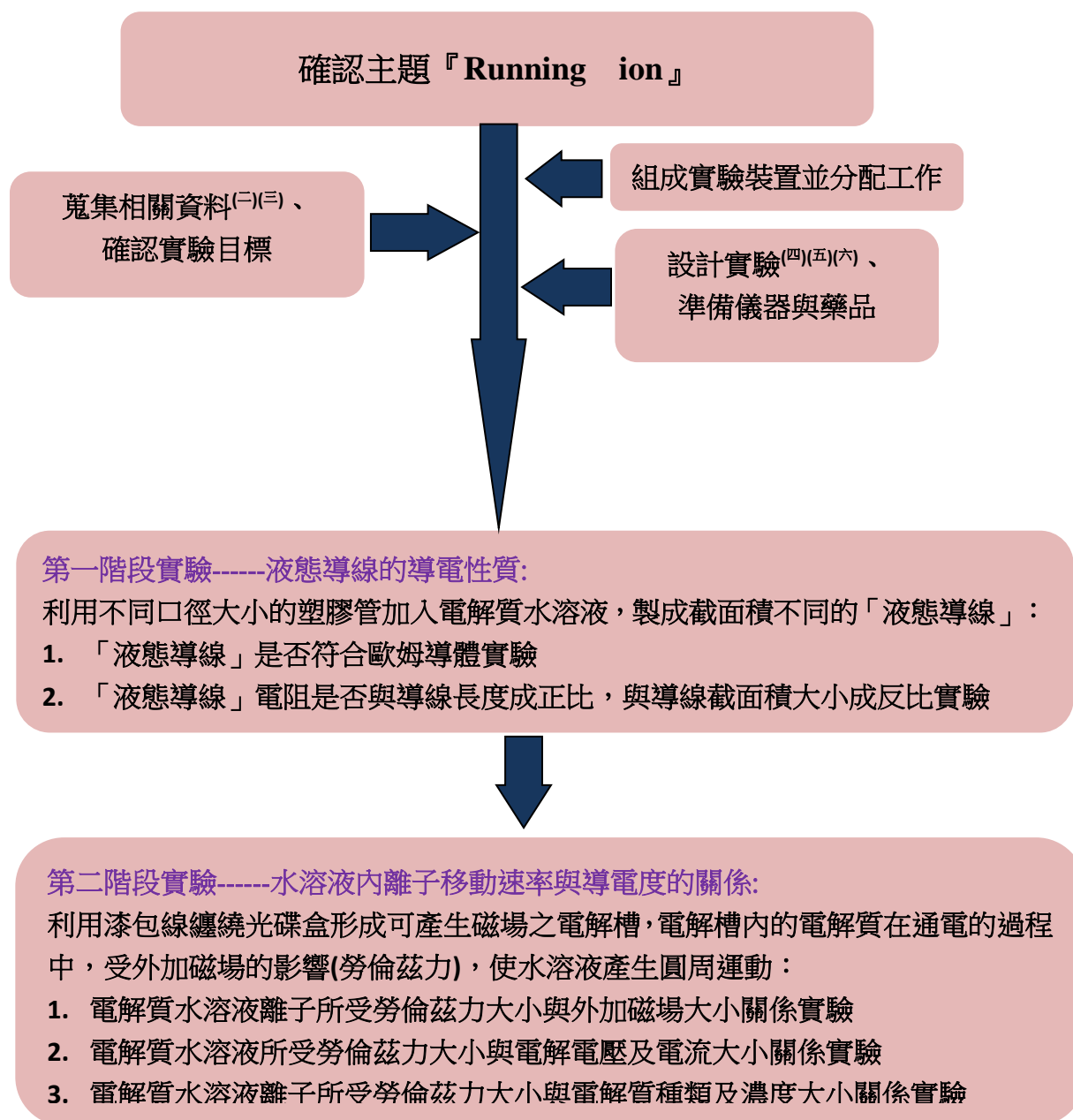
實驗藥品：18M 濃硫酸、12M 濃鹽酸、氯化鈉、溴化鈉、氯化鉀、溴化鉀、碘化鉀、氫氧化鈉、氫氧化鉀、硫酸鋅、硫酸銅、硝酸鉀、硝酸鎂。

實驗設備與器材：

				
電源供應器	三用電錶	電子天平	碼表	量筒與漏斗
				
不同口徑塑膠管	試管架	有側管的試管	漆包線與光碟盒	碳棒與銅片

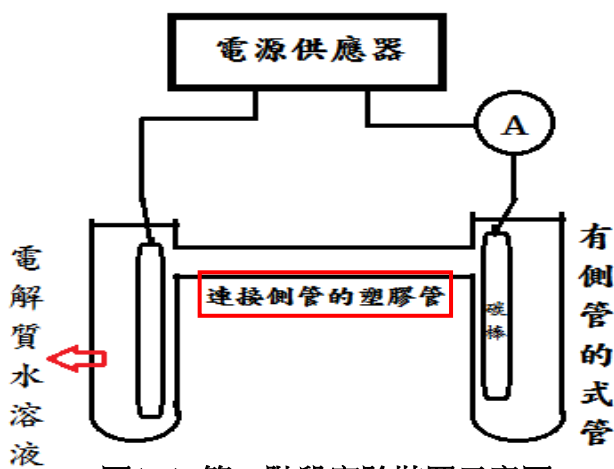
				
電線	30cm 鐵尺與鐵架	塑膠滴管與刮勺	燒杯	

肆、研究過程與方法



第一階段實驗-----液態導線的導電性質：

圖(一) 為第一階段實驗裝置示意圖：



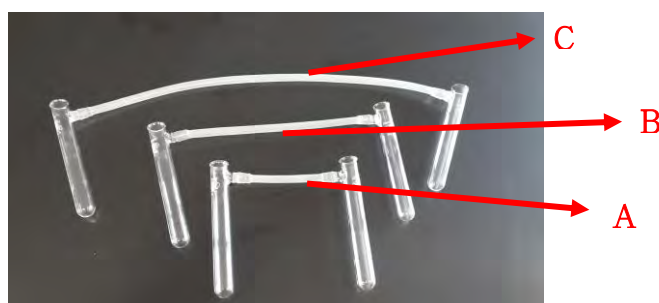
圖(一) 第一階段實驗裝置示意圖

我們將連接側管的塑膠管作編號：

- A：口徑大小 0.196 cm^2 長度 10 cm
- B：口徑大小 0.196 cm^2 長度 20 cm
- C：口徑大小 0.196 cm^2 長度 40 cm
- D：口徑大小 1.54 cm^2 長度 10 cm
- E：口徑大小 1.54 cm^2 長度 20 cm
- F：口徑大小 1.54 cm^2 長度 40 cm
- G：口徑大小 3.14 cm^2 長度 10 cm
- H：口徑大小 3.14 cm^2 長度 20 cm
- I：口徑大小 3.14 cm^2 長度 40 cm

一、實驗一 液態導線是否符合歐姆導體

(一)、將A 連接管接於兩帶有側管的試管，如圖(二)所示：



圖(二) 將有側管的兩試管接上塑膠連接管

(二)、將碳棒放入試管中，並接上直流電電源供應器與安培計。

(三)、配置濃度為 3M 之氫氧化鈉並緩緩加入試管中。

(四)、將電源供應器電壓調整至 2V 、 4V 、 6V 、 8V 、 10V 、 15V 、 20V 、 30V ，記錄下各電壓時的電流大小。

(五)、將連接的塑膠管分別換成 B、C、D、E、F、G、H、I，重複步驟(一)～(四)。

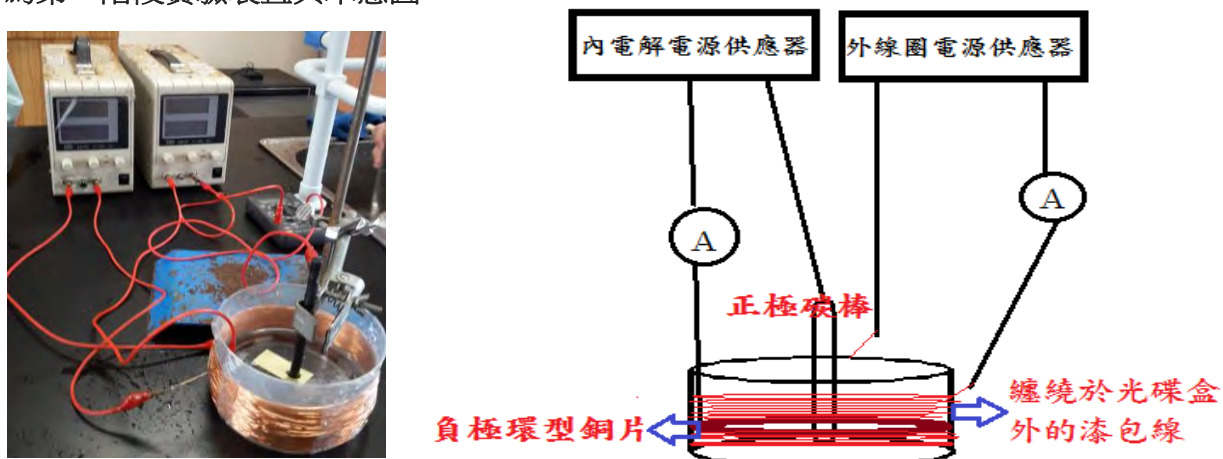
(六)、將藥品換為氫氧化鉀與鹽酸，重複步驟(一)～(五)。

二、實驗二 液態導線電阻是否與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比

- (一)、將A 連接管接於兩帶有側管的試管，如下圖所示：
- (二)、將碳棒放入試管中，並接上直流電電源供應器與安培計。
- (三)、配置濃度為 3M 之氫氧化鈉並緩緩加入試管中。
- (四)、將電源供應器電壓調整至 30V，記錄下電流大小。
- (五)、將連接的塑膠管分別換成 B、C、D、E、F、G、H、I，重複步驟 (二) ~ (四)。
- (六)、將步驟 (三) 氫氧化鈉濃度稀釋為 1M、0.5M、0.25M、0.1M，重複步驟 (一) ~ (五)。
- (七)、將藥品換為鹽酸，重複步驟 (一) ~ (六)。

第二階段實驗-----水溶液內離子移動速率與導電度的關係

圖三 為第二階段實驗裝置與示意圖：



圖(三) 第二階段實驗裝置圖與示意圖

三、實驗三 電解質水溶液離子移動速率與外加磁場的關係

- (一)、將外線圈電源供應器接上安培計與光碟盒外的漆包線。
- (二)、將內電解電源供應器接上安培計，且正極接碳棒，**負極接環型銅片**，如圖(四)所示。
- (三)、將碳棒與環型銅片放入光碟盒內，並用鐵架固定碳棒於光碟盒中心。
- (四)、配製濃度為 1M 的硝酸鉀水溶液 250mL，並倒入光碟盒中。
- (五)、將貼紙簿內頁剪成長 2.5cm 寬 0.5 公分之長方形並在末端打洞，作為水

溶液受勞倫茲力後轉動的指標（以下簡稱為**浮標**），如圖(五)所示。



圖(四)環型銅片



圖(五)剪裁並打洞過的貼紙簿內頁

- (六)、將**浮標**放入光碟盒內使其漂浮於水溶液上，並以碳棒穿過打洞處。
- (七)、打開外線圈電源供應器，調整電流使其穩定維持於 0.5 A 至少 30 秒。
- (八)、打開內電解電源供應器，將電壓調整為 10V，並記錄電流大小。10 秒後，開始記錄液面上**浮標**轉動一圈的時間，記錄六次計算出平均值。
- (九)、將外線圈電源供應器電流大小調整為 1 A、1.5 A、2 A、2.5 A、3 A，重複步驟（八）。
- (十)、將藥品換為硫酸鋅，重複步驟（一）～（九）。

四、實驗四 電解質水溶液離子移動速率與電解電壓的關係

- (一)、將外線圈電源供應器接上安培計與光碟盒外的漆包線。
- (二)、將內電解電源供應器接上安培計，且正極接碳棒，負極接環型銅片。
- (三)、將碳棒與環型銅片放入光碟盒內，並用鐵架固定碳棒於光碟盒中心。
- (四)、配製濃度為 1M 的硝酸鉀水溶液 250mL，並倒入光碟盒中。
- (五)、將**浮標**放入光碟盒內使其漂浮於水溶液上，並以碳棒穿過打洞處。
- (六)、打開外線圈電源供應器，調整電流使其穩定維持於 2 A 至少 30 秒。
- (七)、打開內電解電源供應器，將電壓調整為 2V，並記錄電流大小。10 秒後，開始記錄液面上**浮標**轉動一圈的時間，記錄六次計算出平均值。
- (八)、將內電解電源供應器電壓每次增加 2V，重複步驟（七），直至其電流量超過 3 A 為止。
- (九)、將藥品換為硫酸鋅，重複步驟（一）～（八）。

五、實驗五 電解質水溶液離子移動速率與電解質種類及濃度的關係

- (一)、將外線圈電源供應器接上安培計與光碟盒外的漆包線。
- (二)、將內電解電源供應器接上安培計，且正極接碳棒，負極接環型銅片。
- (三)、將碳棒與環型銅片放入光碟盒內，並用鐵架固定碳棒於光碟盒中心。
- (四)、配製濃度為 1M 的硫酸水溶液 250mL，並倒入光碟盒中。
- (五)、將浮標放入光碟盒內使其漂浮於水溶液上，並以碳棒穿過打洞處。
- (六)、打開外線圈電源供應器，調整電流使其穩定維持於 2A 至少 30 秒。
- (七)、打開內電解電源供應器，將電壓調整為 10V，並記錄電流大小。10 秒後，開始記錄液面上浮標轉動一圈的時間，記錄六次計算出平均值。
- (八)、將硫酸濃度稀釋為 0.5M、0.25M、0.1M、0.05M，重複步驟（一）～（七）。
- (九)、將藥品換為鹽酸、氯化鈉、溴化鈉、氯化鉀、溴化鉀、碘化鉀、氫氧化鈉、氫氧化鉀、氫氧化鈣、氫氧化鋇、硫酸鋅、硫酸銅、硝酸鉀、硝酸鎂，重複步驟（一）～（八）。

伍、研究結果

第一階段實驗-----液態導線的導電性質

一、實驗一 液態導線是否符合歐姆導體

(一)、實驗數據：

3M 水溶液 A 塑膠導管			3M 水溶液 B 塑膠導管			3M 水溶液 C 塑膠導管		
電解質	電壓(V)	電流(mA)	電解質	電壓(V)	電流(mA)	電解質	電壓(V)	電流(mA)
NaOH	2	0	NaOH	2	0	NaOH	2	0
NaOH	4	21	NaOH	4	10	NaOH	4	0
NaOH	6	32	NaOH	6	19	NaOH	6	9
NaOH	8	42	NaOH	8	26	NaOH	8	13
NaOH	10	53	NaOH	10	34	NaOH	10	18
NaOH	15	89	NaOH	15	52	NaOH	15	25
NaOH	20	133	NaOH	20	70	NaOH	20	35
NaOH	30	221	NaOH	30	113	NaOH	30	56
KOH	2	0	KOH	2	0	KOH	2	0
KOH	4	19	KOH	4	9	KOH	4	0
KOH	6	30	KOH	6	18	KOH	6	8
KOH	8	43	KOH	8	26	KOH	8	13
KOH	10	55	KOH	10	34	KOH	10	18
KOH	15	88	KOH	15	53	KOH	15	28
KOH	20	135	KOH	20	68	KOH	20	39
KOH	30	219	KOH	30	115	KOH	30	60
HCl	2	11	HCl	2	6	HCl	2	4
HCl	4	23	HCl	4	13	HCl	4	9
HCl	6	44	HCl	6	20	HCl	6	14
HCl	8	68	HCl	8	31	HCl	8	21
HCl	10	85	HCl	10	42	HCl	10	28
HCl	15	134	HCl	15	76	HCl	15	41
HCl	20	196	HCl	20	102	HCl	20	56
HCl	30	313	HCl	30	158	HCl	30	78

3M 水溶液 D 塑膠導管			3M 水溶液 E 塑膠導管			3M 水溶液 F 塑膠導管		
電解質	電壓(V)	電流(A)	電解質	電壓(V)	電流(A)	電解質	電壓(V)	電流(A)
NaOH	2	0.05	NaOH	2	0.01	NaOH	2	0.01
NaOH	4	0.11	NaOH	4	0.03	NaOH	4	0.04
NaOH	6	0.21	NaOH	6	0.1	NaOH	6	0.07
NaOH	8	0.34	NaOH	8	0.15	NaOH	8	0.11
NaOH	10	0.46	NaOH	10	0.22	NaOH	10	0.15
NaOH	15	0.78	NaOH	15	0.39	NaOH	15	0.24
NaOH	20	1.11	NaOH	20	0.56	NaOH	20	0.32
NaOH	30	1.74	NaOH	30	0.86	NaOH	30	0.44
KOH	2	0.05	KOH	2	0.03	KOH	2	0.01
KOH	4	0.14	KOH	4	0.07	KOH	4	0.04
KOH	6	0.24	KOH	6	0.12	KOH	6	0.08
KOH	8	0.34	KOH	8	0.18	KOH	8	0.11
KOH	10	0.47	KOH	10	0.25	KOH	10	0.14
KOH	15	0.79	KOH	15	0.43	KOH	15	0.21
KOH	20	1.11	KOH	20	0.59	KOH	20	0.29
KOH	30	1.77	KOH	30	0.89	KOH	30	0.46
HCl	2	0.11	HCl	2	0.06	HCl	2	0.04
HCl	4	0.23	HCl	4	0.14	HCl	4	0.08
HCl	6	0.35	HCl	6	0.19	HCl	6	0.13
HCl	8	0.52	HCl	8	0.29	HCl	8	0.15
HCl	10	0.69	HCl	10	0.39	HCl	10	0.21
HCl	15	1.02	HCl	15	0.55	HCl	15	0.32
HCl	20	1.49	HCl	20	0.76	HCl	20	0.45
HCl	30	2.45	HCl	30	1.22	HCl	30	0.63

3M 水溶液 G 塑膠導管			3M 水溶液 H 塑膠導管			3M 水溶液 I 塑膠導管		
電解質	電壓(V)	電流(A)	電解質	電壓(V)	電流(A)	電解質	電壓(V)	電流(A)
NaOH	2	0.07	NaOH	2	0.03	NaOH	2	0.01
NaOH	4	0.19	NaOH	4	0.12	NaOH	4	0.07
NaOH	6	0.3	NaOH	6	0.24	NaOH	6	0.13
NaOH	8	0.58	NaOH	8	0.36	NaOH	8	0.2
NaOH	10	0.81	NaOH	10	0.49	NaOH	10	0.27
NaOH	15	1.53	NaOH	15	0.83	NaOH	15	0.42
NaOH	20	2.12	NaOH	20	1.14	NaOH	20	0.54
*NaOH	27	3.18	NaOH	30	1.77	NaOH	30	0.88
KOH	2	0.06	KOH	2	0.03	KOH	2	0.01
KOH	4	0.21	KOH	4	0.14	KOH	4	0.08
KOH	6	0.4	KOH	6	0.25	KOH	6	0.14
KOH	8	0.62	KOH	8	0.38	KOH	8	0.2
KOH	10	0.84	KOH	10	0.51	KOH	10	0.28
KOH	15	1.54	KOH	15	0.86	KOH	15	0.45
KOH	20	2.11	KOH	20	1.21	KOH	20	0.6
*KOH	27	3.16	KOH	30	1.82	KOH	30	0.91
HCl	2	0.25	HCl	2	0.09	HCl	2	0.06
HCl	4	0.46	HCl	4	0.2	HCl	4	0.14
HCl	6	0.76	HCl	6	0.35	HCl	6	0.21
HCl	8	1.12	HCl	8	0.45	HCl	8	0.3
HCl	10	1.46	HCl	10	0.61	HCl	10	0.41
HCl	15	2.23	HCl	15	1.01	HCl	15	0.63
*HCl	20	3.28	HCl	20	1.55	HCl	20	0.82
			HCl	30	2.51	HCl	30	1.23

***註：電源供應器最大供應電流為 3.3A，因此 G 導管最大電解電壓無法達到 30V**

(二)、實驗結果：

1. 三種不同電解質，其導電的能力皆不相同，其中 **HCl 水溶液的導電性最佳**。
2. 水溶液在電解電壓較小時 (< 2V)，無法克服「**驅動電壓**」，因此無導電的效果。
3. 當電解電壓越大，其產生的電流也越大。其 I - V 圖的部分，於討論再做說明。

二、實驗二 液態導線電阻是否與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比

(一)、實驗數據：(此為整理後的數據呈現，原始數據資料龐大，請參考實驗記錄簿)

3M NaOH 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓：30V		3M HCl 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓：30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	135.75	10	95.85
20	265.49	20	189.87
40	535.71	40	384.62
3M NaOH 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓：30V		3M HCl 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓：30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	17.24	10	12.24
20	34.88	20	24.59
40	68.18	40	47.62
3M NaOH 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓：30V		3M HCl 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓：30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	8.49	10	6.10
20	16.95	20	11.95
40	34.09	40	24.39
1M NaOH 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓：30V		1M HCl 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓：30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	361.45	10	223.88
20	714.29	20	441.18
40	1,363.64	40	909.09
1M NaOH 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓：30V		1M HCl 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓：30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	45.8	10	28.57
20	92.02	20	53.57
40	181.82	40	111.11
1M NaOH 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓：30V		1M HCl 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓：30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	22.56	10	13.82

20	44.12	20	27.52
40	90.91	40	52.63
0.5M NaOH 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓 : 30V		0.5M HCl 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	681.82	10	410.96
20	1,304.35	20	810.81
40	2,727.27	40	1,578.95
0.5M NaOH 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓 : 30V		0.5M HCl 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	87.98	10	52.82
20	177.51	20	106.01
40	348.84	40	206.90
0.5M NaOH 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓 : 30V		0.5M HCl 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	43.1	10	25.86
20	86.46	20	50.85
40	175.44	40	107.14
0.25M NaOH 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓 : 30V		0.25M HCl 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	1,200.00	10	810.81
20	2,307.69	20	1,666.67
40	5,000.00	40	3,333.33
0.25M NaOH 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓 : 30V		0.25M HCl 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	152.28	10	102.74
20	303.03	20	201.34
40	600	40	394.74
0.25M NaOH 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓 : 30V		0.25M HCl 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度	電阻 (Ω)	塑膠管長度	電阻 (Ω)
10	75.19	10	50.59
20	151.52	20	102.04

40	300	40	198.68
0.1M NaOH 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓 : 30V		0.1M HCl 塑膠管口徑:0.196 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	2,500.00	10	1,875.00
20	5,000.00	20	3,333.33
40	10,000.00	40	7,500.00
0.1M NaOH 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓 : 30V		0.1M HCl 塑膠管口徑:1.54 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	312.5	10	247.93
20	638.3	20	491.80
40	1,250.00	40	1,000.00
0.1M NaOH 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓 : 30V		0.1M HCl 塑膠管口徑:3.14 平方公分 電解電壓 : 30V	
塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)	塑膠管長度(公分)	電阻 (Ω)
10	152.28	10	120.97
20	306.12	20	240.00
40	612.24	40	491.80

(二)、實驗結果：

1. 相同條件下，HCl 水溶液的電阻比 NaOH 小。
2. 塑膠管口徑越小或長度越長時，電阻就越大。其餘的部分，於討論再做說明。

第二階段實驗-----水溶液內離子移動速率與導電度的關係

三、實驗三 水溶液浮標移動速率與外加磁場的關係

(一)、實驗數據：

1M 電解質 水溶液電解電壓=10V				
電解質	電解電流(A)	外線圈電流(A)	浮標轉一圈的時間(s)	浮標平均速率(cm/s)
KNO ₃	2.22	0.5	13.87	1.13
KNO ₃	2.22	1	8.63	1.82
KNO ₃	2.22	1.5	6.48	2.42
KNO ₃	2.22	2	5.51	2.85
KNO ₃	2.22	2.5	4.45	3.53
KNO ₃	2.22	3	3.94	3.98

ZnSO ₄	1.02	0.5	26.84	0.58
ZnSO ₄	1.02	1	17.28	0.91
ZnSO ₄	1.02	1.5	12.84	1.22
ZnSO ₄	1.02	2	9.94	1.58
ZnSO ₄	1.02	2.5	8.54	1.84
ZnSO ₄	1.02	3	7.1	2.21

(二)、實驗結果：

1. 相相同電解質水溶液，連接光碟盒外線圈的電流越大，浮標轉動速率就越快。其餘的部分，於討論再做說明。
2. KNO₃水溶液比 ZnSO₄水溶液導電效果好，且浮標轉動速率也較快。其原因於討論再做說明。

四、實驗四 電解質水溶液離子移動速率與電解電壓的關係

(一)、實驗數據：

1M 電解質 外電流=2A					
電解質	電解電壓(V)	電流(A)	浮標轉一圈的時間(s)	浮標平均速度(cm/s)	
KNO ₃	4	0.35	14.59	1.08	
KNO ₃	6	0.88	9.87	1.59	
KNO ₃	8	1.51	7.54	2.08	
KNO ₃	10	2.21	5.62	2.79	
KNO ₃	12	2.88	4.65	3.38	
ZnSO ₄	4	0.16	19.56	0.8	
ZnSO ₄	6	0.44	13.02	1.21	
ZnSO ₄	8	0.73	10.85	1.45	
ZnSO ₄	10	1.04	9.33	1.68	
ZnSO ₄	12	1.38	7.99	1.96	
ZnSO ₄	14	1.75	6.87	2.29	
ZnSO ₄	16	2.19	5.88	2.67	
ZnSO ₄	18	2.54	5.21	3.01	

(二)、實驗結果：

1. 光碟盒內的電解電壓越大，浮標轉動的速率越快。其餘的部分，於討論再做說明。

五、實驗五 電解質水溶液離子移動速率與電解質種類及濃度的關係

(一)、實驗數據：(此為整理後的數據呈現，原始數據資料龐大，請參考實驗記錄簿)

不同濃度電解質		電解電壓=10V		外部線圈電流=2A		浮標平均移動速率	
電解質	濃度(M)	電流(A)	浮標一圈時間(s)	浮標平均速率(cm/s)			
KNO ₃	1	2.21	5.62	2.79			
KNO ₃	0.5	1.25	8.32	1.89			
KNO ₃	0.25	0.71	11.4	1.38			
KNO ₃	0.1	0.33	16.81	0.93			
KNO ₃	0.05	0.19	19.38	0.81			
KCl	1	2.46	5.09	3.08			
KCl	0.5	1.35	7.98	1.97			
KCl	0.25	0.82	10.86	1.45			
KCl	0.1	0.39	16.01	0.98			
KCl	0.05	0.23	18.17	0.86			
KBr	1	2.44	5.09	3.08			
KBr	0.5	1.35	7.84	2			
KBr	0.25	0.84	10.7	1.47			
KBr	0.1	0.39	16.12	0.97			
KBr	0.05	0.22	18.33	0.86			
KI	1	2.42	5.11	3.07			
KI	0.5	1.31	7.95	1.97			
KI	0.25	0.84	10.45	1.5			
KI	0.1	0.42	15.86	0.99			
KI	0.05	0.23	18.13	0.87			
NaCl	1	2.23	5.73	2.74			
NaCl	0.5	1.26	8.51	1.84			
NaCl	0.25	0.72	11.58	1.36			
NaCl	0.1	0.34	17.01	0.92			
NaCl	0.05	0.18	19.55	0.8			
NaBr	1	2.16	5.59	2.81			
NaBr	0.5	1.2	8.42	1.86			
NaBr	0.25	0.69	11.43	1.37			
NaBr	0.1	0.33	16.88	0.93			
NaBr	0.05	0.18	19.43	0.81			
*Mg(NO ₃) ₂	1	2.4	5.02	3.13			
Mg(NO ₃) ₂	0.5	1.66	6.96	2.26			

Mg(NO ₃) ₂	0.25	0.99	9.98	1.57
Mg(NO ₃) ₂	0.1	0.46	15.42	1.02
Mg(NO ₃) ₂	0.05	0.25	17.78	0.88
CaCl ₂	1	2.23	5.53	2.84
CaCl ₂	0.5	1.38	8.04	1.95
CaCl ₂	0.25	0.82	10.51	1.49
CaCl ₂	0.1	0.38	16.24	0.97
CaCl ₂	0.05	0.21	19.94	0.79
**NaOH	1	1.22	8.57	1.83
NaOH	0.5	2.07	6.02	2.61
NaOH	0.25	1.21	8.65	1.82
NaOH	0.1	0.55	13.21	1.19
NaOH	0.05	0.3	17.95	0.87
**KOH	1	1.15	8.94	1.76
KOH	0.5	1.86	6.57	2.39
KOH	0.25	1.06	9.18	1.71
KOH	0.1	0.48	15.14	1.04
KOH	0.05	0.26	17.55	0.89
**HCl	1	1.69	7.15	2.2
**HCl	0.5	1.06	9.22	1.7
HCl	0.25	2.06	6.11	2.57
HCl	0.1	0.86	10.24	1.53
HCl	0.05	0.43	15.77	1
**H₂SO₄	1	2.21	5.67	2.77
**H₂SO₄	0.5	1.34	8.19	1.92
H ₂ SO ₄	0.25	2.43	5.15	3.05
H ₂ SO ₄	0.1	1.14	9.02	1.74
H ₂ SO ₄	0.05	0.66	12.25	1.28

*註:1M 的 Mg(NO₃)₂ 有白色沉澱

**註:部分濃度的 NaOH、KOH、HCl、H₂SO₄：電解電壓 5V

(二)、實驗結果：

1. 相同電解質水溶液濃度越大，浮標轉動速率就越快。其餘的部分，於討論再做說明。
2. 水溶液的導電度與浮標轉動速率，隨電解質的種類與濃度有很大的關係。其餘的部分，於討論再做說明。

陸、討論

第一階段實驗-----液態導線的導電性質

一、實驗一 液態導線是否符合歐姆導體

(一) 實驗數據說明-----Excel 作圖

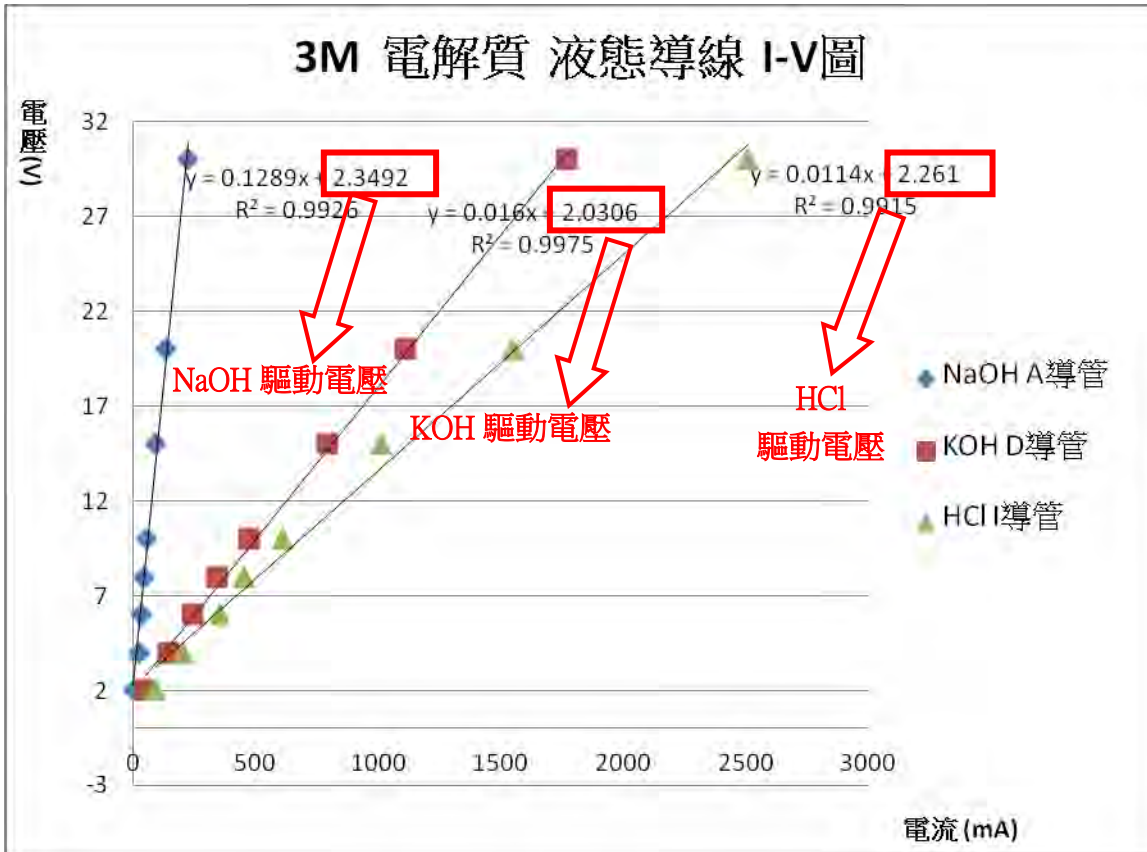


圖 1-1 電解質水溶液（液態導線）I-V 圖（僅以三條曲線為代表）

1. 由得知電解質水溶液組成的液態導線符合歐姆導體(I-V 圖成斜直線)。
2. 將三種電解質曲線作線性迴歸，得到的 V 軸截就是「驅動電壓」，3M 電解質水溶液的驅動電壓大約為 2~2.4V 之間，考慮到實驗或儀器測量的誤差，三種電解質的驅動電壓，原則上差異不大。
3. 在電解的過程中，會產生氣體，當氣泡包覆住電極時，會造成電極在溶液中的接觸面積變小，而使導電性下降，所以每次調整電壓前，必須關掉電源，將碳棒移出溶液中，再重新放入，才不會出現氣體干擾的狀況。還有電解鹽酸時，正極會產生大量的氯氣，必須保持通風，並小心不要吸入，實驗結束後，水溶液呈現出些微黃色，且依稀聞得到漂白水的氣味，就是產生氯氣的證明。

二、實驗二 液態導線電阻是否與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比

(一) 實驗數據說明-----Excel 作圖

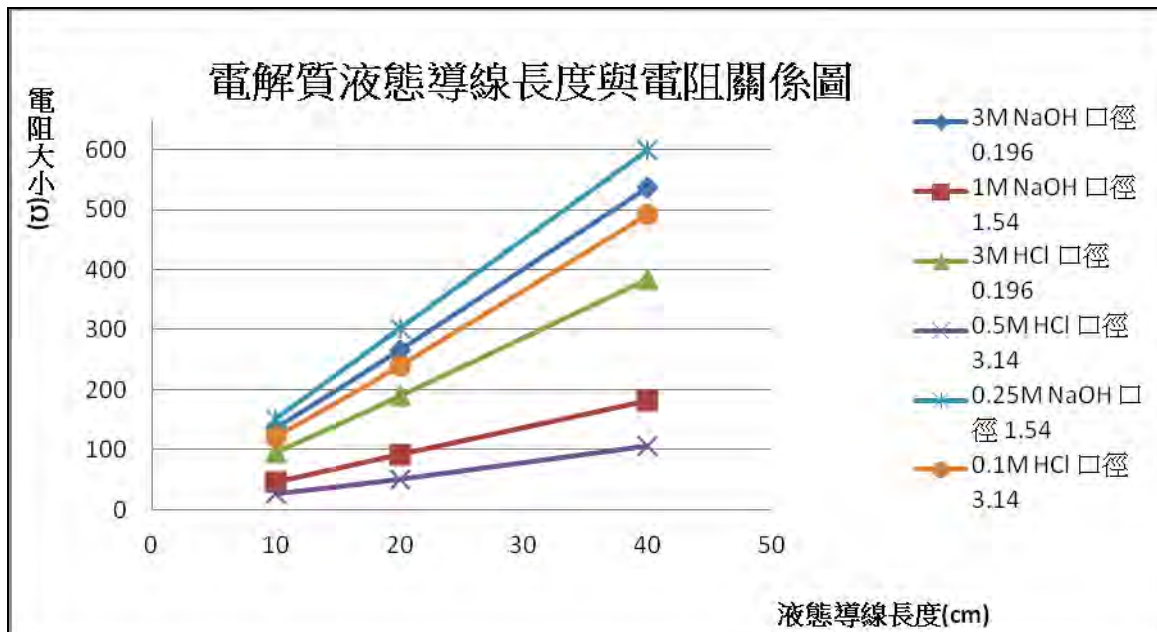


圖 2-1 液態導線長度與電阻關係圖（僅以六條曲線為代表）

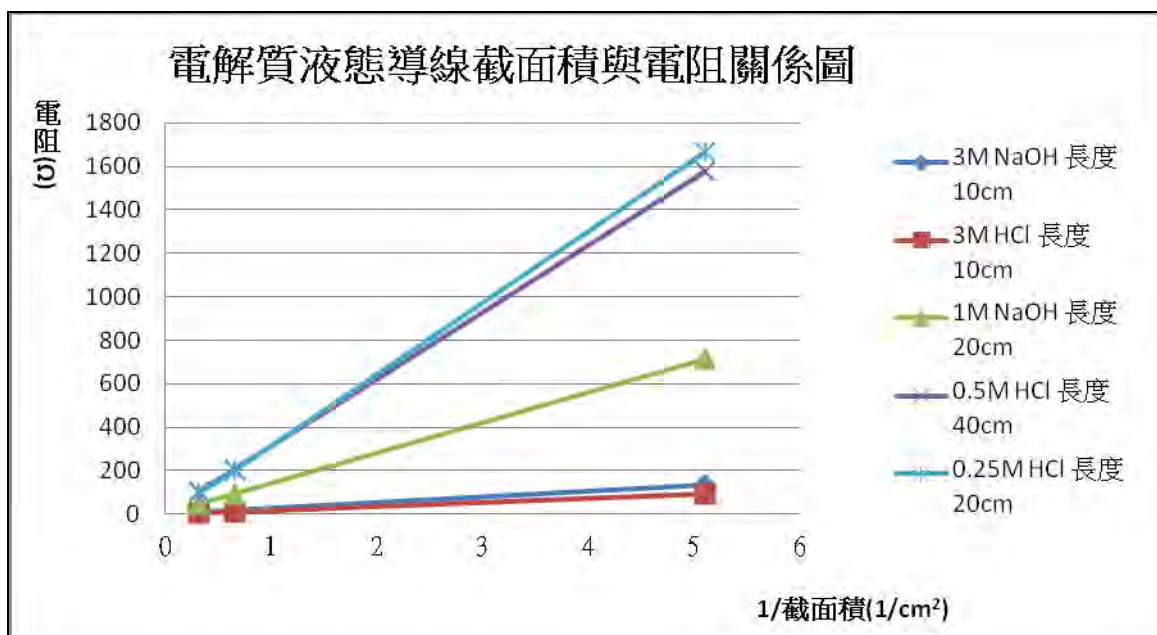


圖 2-2 液態導線的 1/截面積 與電阻關係圖（僅以五條曲線為代表）

1. 由圖 2-1 和圖 2-2 得液態導電阻大小與導線長度成正比，與導線截面積成反比。
2. 由圖 2-1 和圖 2-2 得知相同條件下，水溶液的濃度越大，其電阻越小（導電度越好）。
3. 由圖 2-1 和圖 2-2 得知相同條件下，HCl 溶液的電阻比 NaOH 溶液的電阻小。

(二) 實驗數據說明-----進階數據探討

電解質	濃度(M)	導線的莫耳電阻率*
NaOH	3	7.96
NaOH	1	7.01
NaOH	0.5	6.72
NaOH	0.25	5.87
NaOH	0.1	4.85
HCl	3	5.65
HCl	1	4.31
HCl	0.5	4.03
HCl	0.25	3.96
HCl	0.1	3.72

*註: 導線的莫耳電阻率 = (電阻 x 截面積 x 濃度 / 長度)

表 2-1 電解質水溶液（液態導線）的濃度與莫耳電阻率的關係

- 已由表 2-1 實驗數據可得知液態導線電阻大小與導線長度成正比，與導線截面積成反比。也發現相同條件下，水溶液的濃度越大其電阻值越小，卻不是反比關係，為了解釋這個現象。
- 以各導線在不同濃度下的『莫耳電阻率』來看的話，就可以發現，當導線內的水溶液濃度越大時，莫耳電阻率就越大。推測原因有二：1. 水溶液的濃度越大，解離度就越小。2. 水溶液內的離子濃度較高時，造成離子在遷移的過程中互相干擾。
- 氫氧化鈉莫耳電阻率下降的程度比鹽酸大來看，代表其受到解離度的影響程度大於鹽酸，因此我們可以合理地推測氫氧化鈉的解離常數小於鹽酸，經資料查證也的確如此。

電解質種類	解離常數 (PKa 或 PKb)
HCl	-8
NaOH	0.2

資料來源：維基百科⁽⁷⁾

第二階段實驗-----水溶液內離子移動速率與導電度的關係

三、實驗三 水溶液浮標移動速率與外加磁場的關係

(一) 實驗數據說明-----Excel 作圖

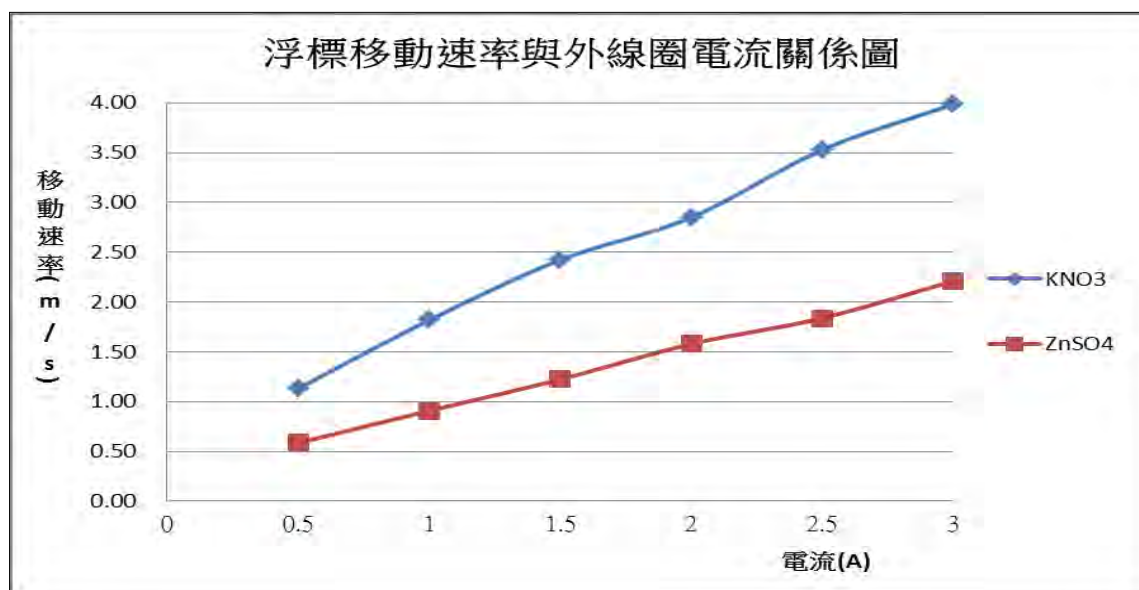


圖 3-1 浮標移動速與外線圈電流率關係圖

1. 由圖 3-1 結果得知外線圈與浮標移動速率成正相關，顯示當外部線圈電流越大，造成較大的磁場時，在溶液中移動的電解質所受到的勞倫茲力也越大。
2. 關於浮標的選擇，我們嘗試過蠟塊、木屑、保麗龍塊……等，但運動的過程都會向正極或負極靠近，而非單純的圓周運動，更糟的是它們接觸到碳棒或光碟盒邊緣後就停止運動。最後我們找到解決之道就是利用貼紙簿的內頁，因為它的表面塗有一層非親水層，不會出現接觸到碳棒就停滯的狀態，並將其打洞用碳棒穿過有可以固定其運動軌跡為圓周運動。而移動速率的計算是因為浮標的長度為 2.5cm，依此為半徑旋轉一周總長度大約為 15.7cm，所以浮標移動速率(cm/s) = 15.7 / 轉動一圈的時間。
3. 根據帶電粒子受勞倫茲力作圓周運動的力量公式 $F = qV \times B$ ，硫酸鋅解離出的硫酸根與鋅離子為二價電荷離子，比硝酸鉀所解離出的硝酸根與鉀離子電荷量大，所受到的勞倫茲力應該比較大，但是實際情況卻是相反的，最有可能的原因為：硫酸鋅的解離程度不及硝酸鉀，造成水中總電荷量較小。

四、實驗四 電解質水溶液離子移動速率與電解電壓的關係

(一) 實驗數據說明-----Excel 作圖

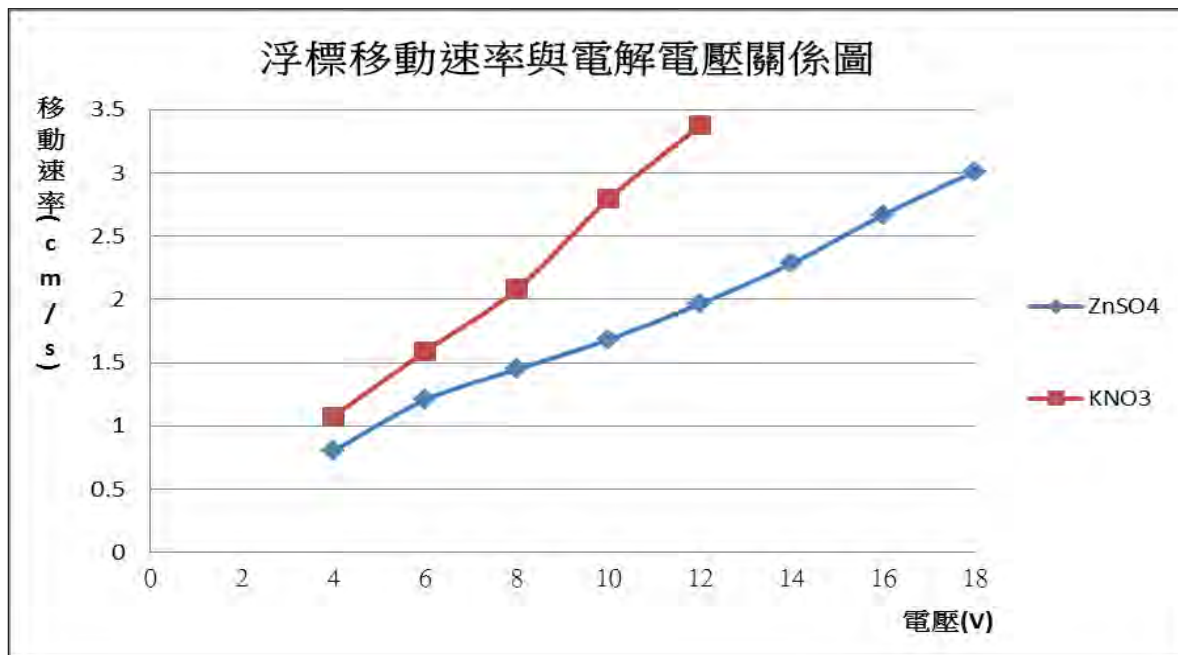
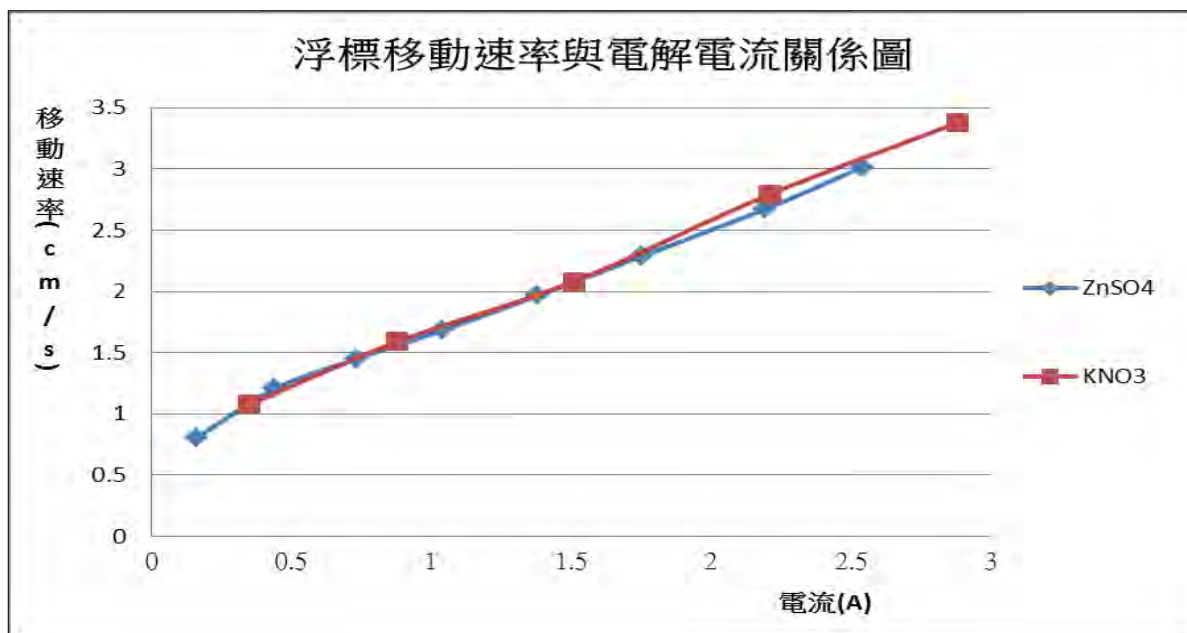


圖 4-1 浮標移動速率與電解電壓關係圖



4-2 浮標移動速率與電解電流關係圖

1. 由圖 4-1 結果得知相同電解質水溶液，所受到的電解電壓越大，水溶液內離子所受到的勞倫茲力也就越大。
2. 由圖 4-2 結果得知當水溶液內所測得的電解電流越大，水溶液內離子所受到的勞倫茲力也越大。

3. 由圖 4-2 結果得知兩條曲線幾乎重疊在一起，顯示不同的電解質水溶液，在相同條件電解槽內，即使所到電解電壓不相同，只要電解電流大小相同，其離子所受到的勞倫茲力大小也是相同的。

(二) 意外的數據探討

有一次，在硝酸鉀實驗中，我們不小心恍神將碳棒接上電解負極，環型銅片接上電解正極，結果在測得電流數據和浮標移動速率後，才驚覺銅片與碳棒上幾乎沒有任何氣體的產生（只有一些小氣泡），而且液面下的碳棒已經被鍍上一層紅色的銅。我們只好再重做一次碳棒為正極的實驗，兩者實驗數據如表 4-1 所示：

電解 KNO_3 外接電流 = 2A	碳棒正負	電解電壓(V)	電解電流(A)	轉一圈的時間(s)	平均速度(cm/s)
	碳棒為正	4	0.35	14.59	1.08
		6	0.88	9.87	1.59
		8	1.51	7.54	2.08
		10	2.21	5.62	2.79
		12	2.88	4.65	3.38
	碳棒為負	2	0.11	20.84	0.75
		4	0.56	13.04	1.2
		6	1.14	9.13	1.72
		8	1.76	7.08	2.22
10		2.45	5.22	3.01	

表 4-1 電解 KNO_3 正負電極互換之導電度與浮標轉動數據

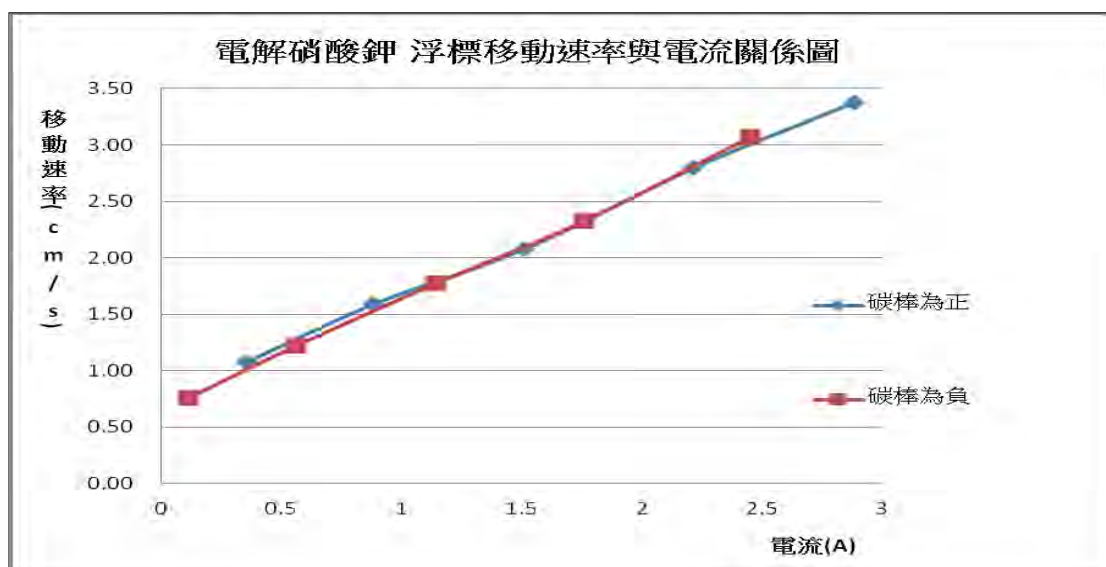


圖 4-3 電解硝酸鉀浮標移動速率與電流關係

1. 由表 4-1 及圖 4-3 結果得知當水溶液內所測得的電解電流越大，水溶液內離子所受到的勞倫茲力也越大。
2. 由表 4-1 及圖 4-3 結果得知兩曲線還是重疊在一起，使我們更加肯定不論電解反應的內容是什麼，或是電解的電壓有多大，只要電解電流大小相同，其離子所受到的勞倫茲力大小也是相同的。

五、實驗五 電解質水溶液離子移動速率與電解質種類及濃度的關係

(一) 實驗數據說明-----Excel 作圖

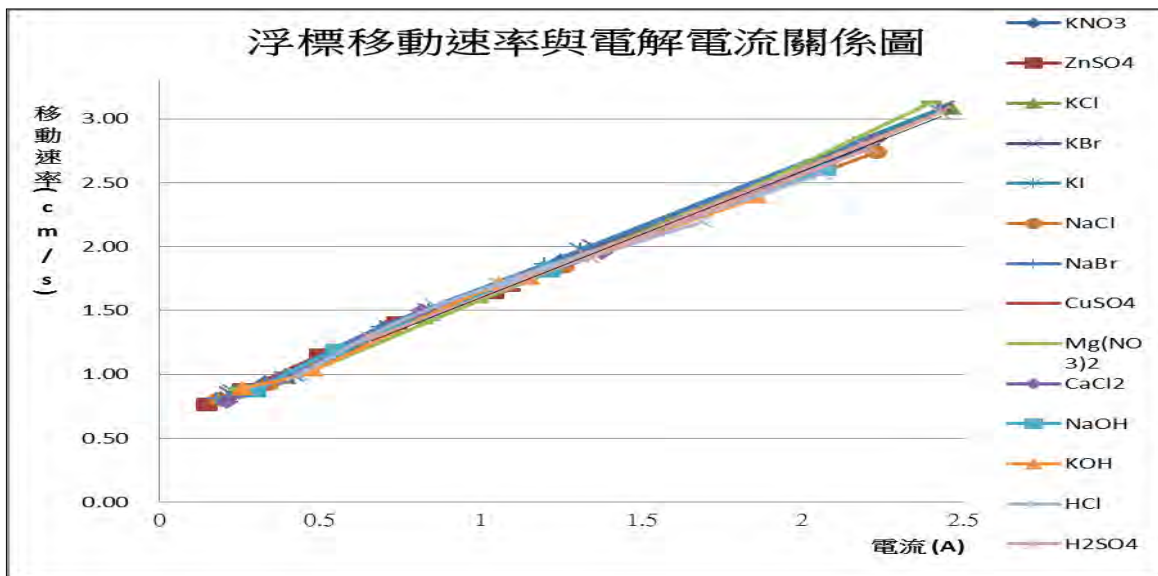


圖 5-1 浮標移動速率與電解電流關係圖

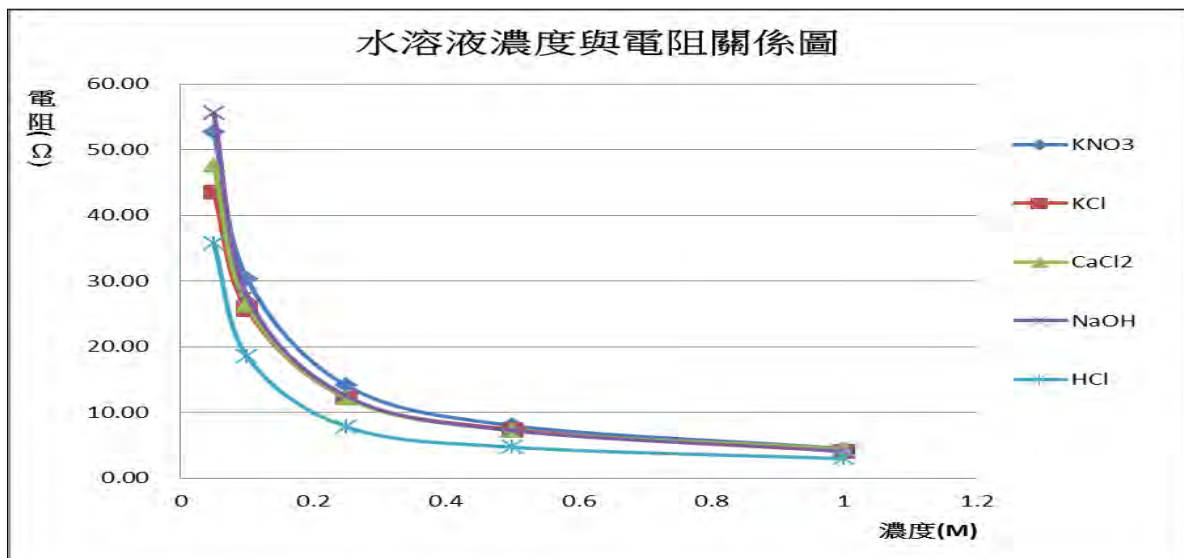


圖 5-2 水溶液濃度與電阻關係圖（以 KNO₃、KCl、CaCl₂、NaOH、HCl 五種電解質為例）

1. 由圖 5-1 結果得知浮標移動速率與電解的電流呈現正相關。
2. 由圖 5-1 結果得知 12 種不同的電解質在不同濃度下，所呈現出來的曲線還是幾乎重疊在一起，再次證明水溶液受勞倫茲力大小只與電解電流的大小有關。
3. 由圖 5-2 結果得知水溶液的濃度越大，電阻越小。
4. 由圖 5-2 結果得知當濃度較小時，曲線呈現陡峭的狀態；當濃度漸大時，曲線呈現較為平緩的狀態。代表電解質水溶液的電阻有一個最小極限值，而非隨濃度增大而無限的變小。

(二) 實驗數據說明-----進階數據探討

電解質	濃度(M)	浮標平均速率(cm/s)	浮標莫耳平均速率(cm/s ÷ M)*
KNO ₃	1	2.79	2.79
KNO ₃	0.5	1.89	3.77
KNO ₃	0.25	1.38	5.51
KNO ₃	0.1	0.93	9.34
KNO ₃	0.05	0.81	16.20
KCl	1	3.08	3.08
KCl	0.5	1.97	3.93
KCl	0.25	1.45	5.78
KCl	0.1	0.98	9.81
KCl	0.05	0.86	17.28
NaCl	1	2.74	2.74
NaCl	0.5	1.84	3.69
NaCl	0.25	1.36	5.42
NaCl	0.1	0.92	9.23
NaCl	0.05	0.80	16.06

*註: 『浮標莫耳平均速率』 = 浮標的轉動速率/濃度

表 5-1 電解質濃度與莫耳速率關係 (以 KNO₃、KCl、NaCl 為例)

由表 5-1 結果得知當水溶液的濃度越高，則『浮標莫耳平均速率』越小。推測的原因有二：

- (1)水溶液的濃度越大，解離度就越小。
- (2)水溶液內的離子濃度較高時，造成離子在遷移的過程中互相干擾。

298 K 下水溶液中離子的極限電導率**			
陽離子	$\lambda^+ / \text{mS m}^2 \text{mol}^{-1}$	陰離子	$\lambda^- / \text{mS m}^2 \text{mol}^{-1}$
H ⁺	34.96	OH ⁻	19.91
Na ⁺	5.011	Cl ⁻	7.634
K ⁺	7.35	Br ⁻	7.84
Mg ²⁺	10.612	I ⁻	7.68
Ca ²⁺	11.9	SO ₄ ²⁻	15.96
		NO ₃ ⁻	7.14

表 5-2 離子在水中的極限導電率 (資料來源：維基百科^(c))

****註:** 所謂的『極限導電率』是指水溶液在無限稀釋的情況，在導電的過程中，其離子表現出的最大導電效率，這個導電效率主要來自於離子在水中的遷離能力，因此，『極限導電率』也被稱為『離子極限遷移率』。電解質溶於水後會產生正負離子，我們將其正負離子的數量乘上各自的『離子極限遷移率』，再相加起來就是此電解質在無限稀釋時，所能表現出的『離子極限遷移率』。

我們將 0.05M 的實驗數據與所算出的『離子極限遷移率』來比較，如表 5-3 所示：

0.05M 電解質		電解電壓 = 10V		外線圈電流 = 2A	
電解質	極限離子遷移率	電流(A)	浮標移動速率(cm/s)		
H₂SO₄	85.88	0.66	1.28		
HCl	42.594	0.43	1		
NaOH	24.921	0.3	0.89		
KOH	27.26	0.26	0.88		
Mg(NO ₃) ₂	24.982	0.25	0.87		
KCl	14.984	0.23	0.87		
KI	15.03	0.23	0.86		
KBr	15.19	0.22	0.86		
CaCl ₂	27.168	0.21	0.81		
KNO ₃	14.49	0.19	0.81		
NaCl	12.645	0.18	0.8		
NaBr	12.851	0.18	0.79		

*****註:** H₂SO₄ 可以解離出兩個 H⁺ 與一個 SO₄²⁻ 其『離子極限遷移率』= 2 x 34.96 + 15.96 = 85.88

表 5-3 0.05M 電解質實驗數據與其『離子極限遷移率』

1. 由表 5-3 結果得知電解質計算出的『離子極限遷移率』越大，所測得電流或浮標移動速率越大(CaCl₂例外)。代表當電解質水溶液的濃度較小時，其導電度主要與『離子極限遷移率』有關。
2. NaOH 的『離子極限遷移率』較小，但導電度卻比 KOH 大，目前無法解釋為什麼。
3. 由表 5-3 結果得知以低濃度(0.05M)的數據來看，我們可以推測正離子的移動速率關係為：氫離子 > 鉀離子 > 鈉離子；負離子的移動速率關係為：氫氧根 > VII 族離子 > 硝酸根。其中，VII 族離子移動的速率彼此間差異很小。

我們再將電解質濃度 1M 的實驗數據和上述的表 5-3 作比較，如表 5-4 所示：

0.05M 電解質 電解電壓 = 10V 外線圈電流 = 2A			1M 電解質 電解電壓 = 10V 外線圈電流 = 2A		
電解質	極限離子 遷移率	浮標移動速率(cm/s)	電解質	浮標移動速 率(cm/s)	備註
Mg(NO ₃) ₂	24.982	0.87	KCl	0.98	
KCl	14.984	0.87	KBr	0.98	
KI	15.03	0.86	KI	0.97	
KBr	15.19	0.86	Mg(NO ₃) ₂	0.96	沉澱，已飽和
CaCl ₂	27.168	0.81	NaCl	0.89	
KNO ₃	14.49	0.81	CaCl ₂	0.89	
NaCl	12.645	0.8	KNO ₃	0.88	
NaBr	12.851	0.79	NaBr	0.86	

表 5-4 濃度 1M 與 0.05M 的實驗數據的比較

1. 由表 5-4 結果得知電解質濃度較大 (1M) 時，導電度不只被其『離子極限遷移率』影響，其解離度也扮演很重要的影響因子。
2. Mg(NO₃)₂ 濃度較高時，其溶解度不佳 (無法完全溶解，有沉澱)，造成導電度較小。

(三) 綜合結論：

1. 強電解質的導電程度排序為強酸 > 強鹼 > 鹽類，因為氫離子在水中的遷移速率最快，而氫氧根次之。
2. 電解質水溶液的濃度較小時，其導電度主要與『離子極限遷移率』有關；電解質濃度較大時，導電度不只被其『離子極限遷移率』影響，其解離度也扮演很重要的影響因子。
3. 以低濃度電解質水溶液的數據來看，可以推測出以下離子移動速率的大小關係，正離子：氫離子 > 鉀離子 > 鈉離子，負離子：氫氧根 > VII族離子 > 硝酸根。
4. 理論上，氫氧化鈉的解離度與離子遷移速率均小於氫氧化鉀，導電度應該比較小，但實驗結果卻相反，原因需要進一步做其他的實驗來解釋。

柒、結論

- 一、電解質水溶液組成的「液態導線」與一般金屬導線相同，符合歐姆導體的特性。且相同材質的「液態導線」，電阻大小與導線長度成正比，與導線截面積成反比。
- 二、液態導線內的水溶液濃度越大時，電阻就越小，但『莫耳電阻率』就越大。
- 三、外加磁場下，電解質水溶液通電時，其內部離子所受到的勞倫茲力與外加磁場成正比。
- 四、外加固定磁場下，電解質水溶液通電時，其內部離子所受到的勞倫茲力大小只與水溶液中電流大小（溶液中的離子移動速率）有關，與電壓大小、電導大小、電解質種類、電解反應內容均無關。
- 五、強電解質水溶液的導電程度排序為：強酸 > 強鹼 > 鹽類。
- 六、當電解質水溶液的濃度較小時，其導電度主要與『離子極限遷移率』有關。
- 七、電解質濃度較大（1M）時，導電度不只被其『離子極限遷移率』影響，其解離度也扮演很重要的影響因子。
- 八、水溶液中離子移動速率的大小關係，正離子：氫離子 > 鉀離子 > 鈉離子，負離子：氫氧根 > VII族離子 > 硝酸根。
- 九、未來可以探討：(1) 為何氫氧化鈉比氫氧化鉀的導電度高？(2) 更多種類的離子移動速率大小測定。

捌、參考資料及其他

- 一、自然與生活科技課本(八下、九上、九下)，2-2 氧化還原、4-3 電阻、1-4 電解與電鍍、4-3 電流在磁場中的作用力，康軒出版，2016。
- 二、邱紀良（2005 年 9 月）電解質水溶液會導電？科學發展，393 期 66~71。
- 三、王雪梅、劉秀英（1996）：物理化學，文京圖書，P.436-449。
- 四、洪鈺英。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。
中華民國第四十六屆中小學科學展覽國中組化學第一名。
- 五、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。
- 六、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。
- 七、維基百科：<https://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>。

【評語】 030210

優點：

1. 做了很多關於電解質與離子移動的研究，控制與變因清楚詳盡，實驗十分有創意，過程符合探究精神。

建議：

1. 建議於設計實驗前須考慮環安問題，可降低實驗中所潛在之危險性。並對實驗過程中產生之產物進一步檢驗藉此增加作品之可信度。
2. HCl 和 NaOH 的解離常數用維基百科當作參考資料。建議應用更有根據的資料來佐證。
3. 結論五中的”強電解質水溶液的導程度排序為：強酸 > 強鹼 > 鹽類”，應該再嚴謹地來下此一結論。強酸和強鹼和鹽類包含的種類相當多。

作品海報

壹、研究動機

上課的時候，老師提到將電解質溶於水後通電，可以藉由離子在水中之氧化還原反應(電解反應)產生電流，他舉出電影「三個傻瓜」中，學長被自己的尿電到重要部位而痛苦不堪那一幕時，大家都笑翻了！那堂課最後，老師留下一句：「其實，以你們課本中所提到電解質的內容有不少錯誤的部分呢！有興趣的人，下課可以來問，但我不保證你聽得懂喔！哈哈！」一想到課本的內容竟然不是真的，我實在不敢相信，當天放學，就找兩位同學陪我(就是現在的三人科展小組)到辦公室找老師，老師馬上說：「紙上談兵不如直接做實驗！要不要來玩一下科學，不過要犧牲假日喔！」就這樣，好奇心竟成了開啟科展旅程的種子。

貳、研究目的

一、探討電解質水溶液組成的「液態導線」是否與金屬導線有相同的導電性質：

- (一)「液態導線」是否符合歐姆導體。
- (二)「液態導線」其電阻大小是否與金屬導線相同，與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比。

二、探討外加磁場下，電解質水溶液通電時，影響離子受到勞倫茲力大小的因素：

- (一)水溶液內離子受到勞倫茲力的大小與外加磁場的關係。
- (二)水溶液內離子受到勞倫茲力的大小與電解電壓大小的關係。
- (三)水溶液內離子受到勞倫茲力的大小與電解電流大小的關係。

三、探討影響電解質水溶液導電度大小的因素：

- (一)相同濃度下，電解質種類與水溶液導電度的關係。
- (二)電解質濃度與解離度的關係。

參、研究設備及器材

(請參照作品說明書)

肆、研究過程與方法



第一階段實驗裝置 第二階段實驗裝置
(實驗步驟與原理請參照作品說明書)

第二階段實驗
浮標轉動影片請掃描 QR code



伍、研究結果 & 陸、討論

(完整數據請參考作品說明書或實驗記錄簿)

第一階段——液態導線的導電性質

一、液態導線是否符合歐姆導體

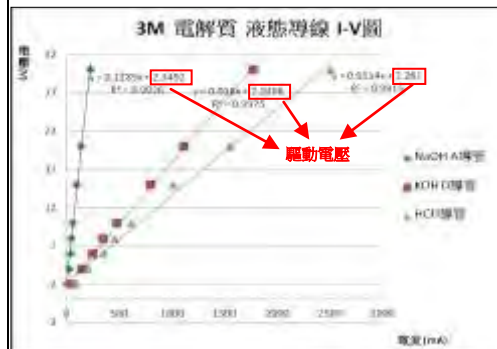


圖 1-1 電解質水溶液 (液態導線) I-V 圖

1. 電解質水溶液組成的液態導線符合歐姆導體(I-V 圖成斜直線)。
2. 將三種電解質曲線作線性迴歸，得到的 V 軸截距就是「驅動電壓」，3 種溶液驅動電壓大約為 2~2.4V 之間，考慮實驗誤差的關係，原則上差異不大。

二、液態導線電阻是否與導線長度成正比，與導線截面積大小成反比

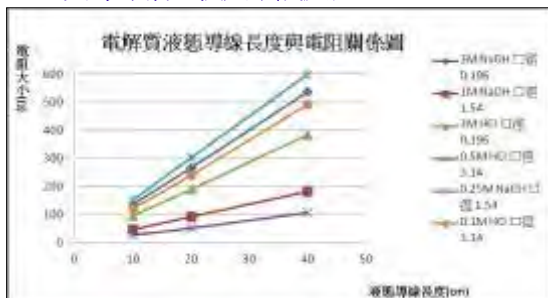


圖 2-1 液態導線長度與電阻關係圖

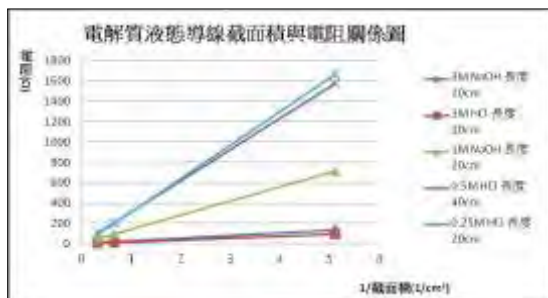


圖 2-2 液態導線 1/截面積 與電阻關係圖

1. 電解質水溶液組成的液態導電阻大小與導線長度成正比，與導線截面積成反比。
2. 相同條件下，水溶液的濃度越大，其電阻越小 (導電度越好)。

電解質	濃度(M)	導線的莫耳電阻率
NaOH	3	逐 7.96
NaOH	1	漸 7.01
NaOH	0.5	下 6.72
NaOH	0.25	降 5.87
NaOH	0.1	4.85
HCl	3	逐 5.65
HCl	1	漸 4.31
HCl	0.5	下 4.03
HCl	0.25	降 3.96
HCl	0.1	3.72

表 2-1 液態導線的濃度與莫耳電阻率的關係

1. 「莫耳電阻率」=電阻 x 截面積 x 濃度/長度
2. 水溶液濃度越大時，莫耳電阻率就越大。推測原因有二：1. 水溶液的濃度越大，解離度就越小。2. 水溶液內的離子濃度較高時，造成離子在遷移的過程中互相干擾。
3. 氫氧化鈉莫耳電阻率下降程度比鹽酸大，代表其受到解離度的影響較大，可以合理地推測氫氧化鈉的解離常數小於鹽酸。

第二階段-----水溶液內離子移動速率與導電度的關係

三、浮標移動速率與外加磁場的關係

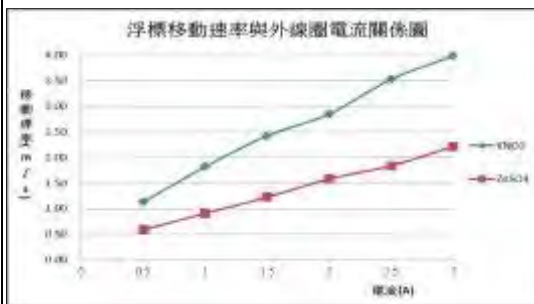


圖 3-1 浮標移動速率與外線圈電流率關係圖

1. 浮標移動速率(cm/s)=15.7 / 轉一圈的時間。
2. 外部線圈電流越大，造成較大的磁場，溶液中移動的離子所受到的勞倫茲力也越大。
3. 根據帶電粒子受勞倫茲力作圓周運動的力量公式 $F = qV \times B$ ，硫酸鋅所受到的勞倫茲力比較小，最有可能的原因為：硫酸鋅的解離程度不及硝酸鉀，造成水中總電荷量較小。

四、浮標移動速率與電解電壓的關係

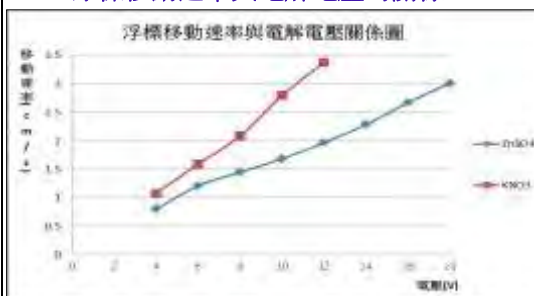


圖 4-1 浮標移動速率與電解電壓關係圖

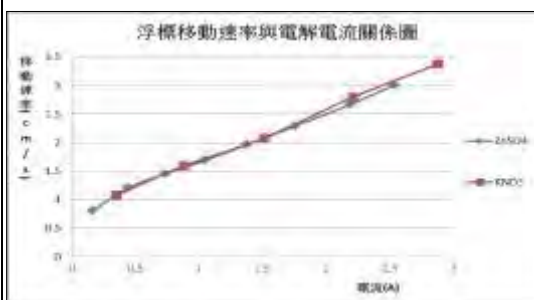


圖 4-2 浮標移動速率與電解電流關係圖

1. 浮標移動速率與電解的電流呈現正相關。
2. 兩電解質曲線幾乎重疊在一起，代表不同的電解質水溶液，在相同電解槽內，即使所到電解電壓不相同，只要電解電流大小相同，其離子所受到的勞倫茲力大小也是相同的。

五、電解質水溶液離子移動速率與電解質種類及濃度的關係

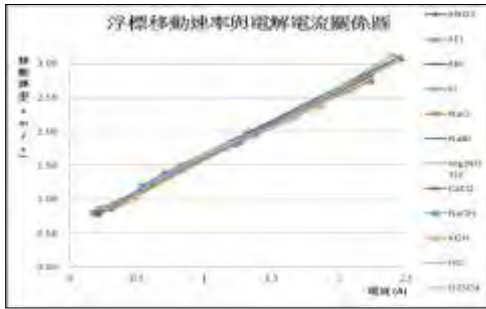


圖 5-1 浮標移動速率與電解電流關係圖

1. 浮標移動速率與電解的電流呈現正相關。
2. 12 種不同的電解質在所呈現出來的曲線還是幾乎重疊在一起，再次證明水溶液受勞倫茲力大小只與電解電流的大小有關。

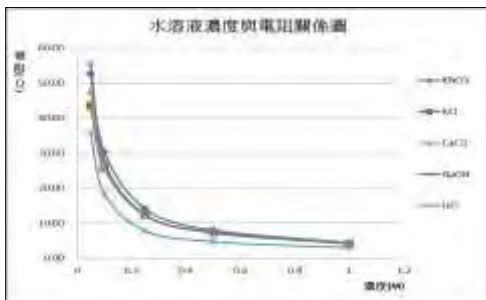


圖 5-2 水溶液濃度與電阻關係圖

1. 水溶液的濃度越大，電阻越小。
2. 濃度較小時，曲線呈現陡峭的狀態；濃度漸大時，曲線呈現較為平緩的狀態。代表電解質水溶液的電阻有一個最小極限值。

電解質	濃度(M)	浮標平均速率 (cm/s)	浮標莫耳速率 (cm/s ÷ M)
KNO ₃	1	2.79	2.79
KNO ₃	0.5	1.89	3.77
KNO ₃	0.25	1.38	5.51
KNO ₃	0.1	0.93	9.34
KNO ₃	0.05	0.81	16.20

表 5-1 電解質濃度與莫耳速率關係(以 KNO₃ 為例)

1. 『浮標莫耳平均速率』= 浮標的轉動速率÷濃度
2. 當水溶液的濃度越高，『浮標莫耳平均速率』越小。推測的原因有二：
 - (1)水溶液的濃度越大，解離度就越小。
 - (2)水溶液內的離子濃度較高時，造成離子在遷移的過程中互相干擾。

0.05M 電解質 電解電壓 = 10V 外線圈電流 = 2A			
電解質	極限離子遷移率	電流(A)	浮標移動速率(cm/s)
H ₂ SO ₄	85.88	0.66	1.28
HCl	42.594	0.43	1
NaOH	24.921	0.3	0.89
KOH	27.26	0.26	0.88
Mg(NO ₃) ₂	24.982	0.25	0.87
KCl	14.984	0.23	0.87
KI	15.03	0.23	0.86
KBr	15.19	0.22	0.86
CaCl ₂	27.168	0.21	0.81
KNO ₃	14.49	0.19	0.81
NaCl	12.645	0.18	0.8
NaBr	12.851	0.18	0.79

表 5-3 0.05 電解質實驗數據與其『離子極限遷移率』

1. 電解質計算出的『離子極限遷移率』越大，所測得電流或浮標移動速率越大。代表當電解質水溶液的濃度較小時，其導電度主要與『離子極限遷移率』有關。
2. 以數據來看，推測正離子移動速率關係為：氫離子 > 鉀離子 > 鈉離子；負離子移動速率關係為：氫氧根 > VII 族離子 > 硝酸根。VII 族離子移動的速率彼此間差異很小。

柒、結論

(僅列出較重要的部分，其他請參照說明書)

一、電解質水溶液組成的「液態導線」符合歐姆導體。且相同材質的「液態導線」，電阻大小與導線長度成正比，與導線截面積成反比。

二、外加磁場下，電解質水溶液通電時，內部離子所受到的勞倫茲力大小只與水溶液中電流大小有關，與電壓大小、電導大小、電解質種類、電解反應內容均無關。

三、強電解質的導電度排序為：強酸 > 強鹼 > 鹽類。

四、電解質水溶液的濃度較小時，導電度主要與『離子極限遷移率』有關；電解質濃度較大時，導電度不只被其『離子極限遷移率』影響，解離度與溶解度也扮演很重要的影響因子。

五、離子移動速率的大小關係：正離子：氫離子 > 鉀離子 > 鈉離子，負離子：氫氧根 > VII 族離子 > 硝酸根。

捌、參考資料 (請參照說明書)