

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030118

電學番外篇

—「液體導線」導電性質之探討與科學遊戲之設計

學校名稱：高雄市立前金國民中學

作者： 國三 田采妮 國一 殷宜忻	指導老師： 殷宏良
---------------------------------	------------------

關鍵詞：液體導線、電解質、導電性

摘要

電解質水溶液導電(解離說)及金屬導電性質(歐姆定律)都是科學的基本知識與概念，本研究藉由一部電影的趣味情節「尿液導線」發想，將兩者相互結合，以「電解質水溶液」作為基本電路導線，設計實驗進行導電性質之探討，研究結果發現：驅動液體導線導電的電壓有最小值，液體導線的導電性質明顯具有「依數性質」，濃度越小的液體導線與「歐姆式電阻」相似，當溫度及濃度越大時，則導電性質越趨穩定，且導電離子的移動與「重力作用」及「液體運動狀態」無明顯相關，導電性質與「溫度」、「截面積」及「濃度」有正相關、而與「長度」有負相關的關係，此外；研究者依據實驗結果設計一項「液體導線」的科學遊戲，提供簡易操作及演示分享。

壹、研究動機

假日和家人一同觀賞了一部片名為「三個傻瓜」的印度電影，其中有一幕的劇情描述：「男主角剛進入一所大學就讀，開學時；學長舉辦了一場惡整學弟的新生歡迎會，而男主角卻躲在宿舍寢室，惹得學長十分不高興，威脅揚言要在男主角的寢室門口尿尿，於是；男主角為了懲罰學長的惡劣行為，利用寢室內的電燈迴路將高壓電線連接在金屬湯匙上，再將其伸出門縫底下，當學長脫下褲子對著門口尿尿時，恰好整條尿液流線與金屬湯匙連接成導電通路，於是學長瞬間被電得昏死過去。」，當時全家人爆出歡笑聲，而「以尿液為導線」的這一幕畫面，令我十分佩服男主角的機智而留下深刻印象。

事後；我想在教室內重現這一幕精彩有趣的畫面與同學分享，於是我想起學過：「電路需要連接導線形成迴路才能通路運作」，亦曾做過「電解質溶於水能導電的實驗」，而電解質可分為酸鹼鹽類，另外；生物課程曾學過「尿液含有鹽類」，所以尿液因含有鹽類(電解質)而亦能導電，故劇中的尿液就是作為通電迴路的一條導線，於是；讓我忍不住好奇心，想要多了解：「液體導線的相關導電性質」為何？液體導線與一般金屬導線有何不同呢？

因此；我找了社團的學妹一同請教自然老師相關的問題，並搜尋了相關書籍與網路資料，開始設計並進行實驗，研究探討有關於液體導線的相關導電性質，並利用研究結果，設計一個趣味科學遊戲來重現這一個精采鏡頭和同學們分享。

貳、研究目的

一、探討「液體導線」的基本導電性質如下：




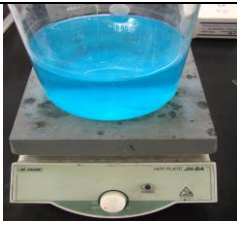





- (一) 液體導線「電阻」與「垂直或水平擺放方式」的關係。
- (二) 液體導線「電阻」與「流動或不流動」的關係。
- (三) 液體導線「電阻」與「溫度」的關係。
- (四) 液體導線「電阻」與「長度」(串聯)的關係。
- (五) 液體導線「電阻」與「截面積」(並聯)的關係。
- (六) 液體導線「電阻」與「濃度」的關係。

二、比較「液體導線電阻」與「歐姆式電阻」的關係。

三、依據研究結果設計「液體導線」科學遊戲。

參、研究設備及器材

一、研究器材

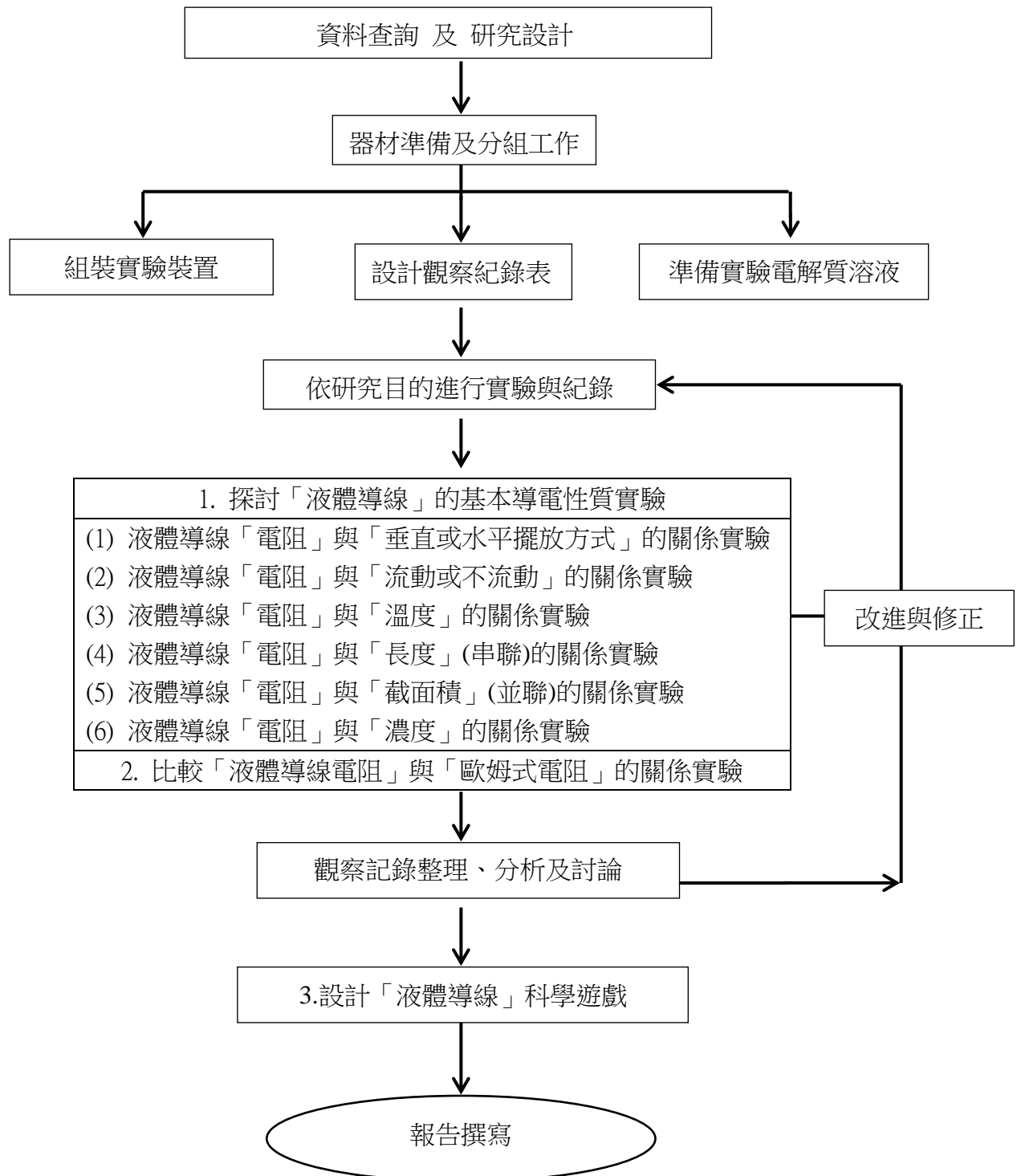
電解水溶液儲存筒(含流量開關)	絕緣導管(液體導線管)	電源供應器
		
加熱板	電極圈(含銀—錫線)	數位電錶
		
導管連接漏斗	伏特計	電子秤
		

二、實驗藥品

食鹽	氯化鉀	氫氧化鈉	硝酸鉀	含水硫酸銅
NaCl	KCl	NaOH	KNO ₃	CuSO ₄ *5H ₂ O

肆、研究過程或方法

一、研究架構流程



二、文獻探討

(一) 物質的導電性質（歐姆定律）

我們將地球上的元素分為金屬元素與非金屬元素兩大類。

金屬元素有共通的特性，大部分的金屬元素都是銀灰色，而且其新切面都具有光澤，在室溫及一大氣壓下，大部分都以固態存在，不易破碎，具有延性與展性，能導電及導熱，大部分的電線及鍋子都是用金屬製成的。

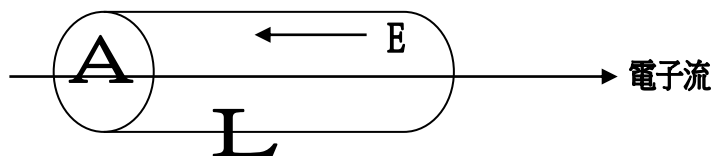
形成金屬導體中的電流載流子是自由電子，金屬內部存有大量的自由電子，當金屬處於電場中時，自由電子因電場的作用而做定向運動，從而形成金屬中的電流，同時，自由電子流動時會與導體的原子產生碰撞，因而會對電流的流動產生阻力，這就是電阻。

考慮一段金屬導線，當我們提供一個穩定的電場 E 時，假設 N 為導線中單位體積所含的原子數， f 為每個原子所帶的自由電子數， q 為每個電子所帶的電荷， m 為每個電子的質量， λ 為自由電子二次碰撞間的距離， a 為二次碰撞間電荷的加速度，因此，我們可以推導出：二次碰撞時間 $t = (2\lambda/a)^{1/2}$ ；而二次碰撞間的平均速率 $V_{ave} = \lambda/t = a t/2$ 。當我們考慮電子的漂移速率 V_d (drift velocity) 時，二次碰撞時間 $t = \lambda/V_d$ ；因此；我們可以推得 $V_{ave} = a t/2 = a \lambda / 2 V_d$ 。由牛頓第二運動定律而不考慮磁場作用時， $F = m \times a = q \times E$ ，根據以上的推算我們可以得到下列式子：

$$\text{電流密度 } J = NfqV_{ave} = (Nfq \lambda / 2 V_d) \times (F/m) = (Nf \lambda q^2 / 2mV_d) \times E = \sigma E$$

其中；電流密度 J 為單位時間通過垂直於電流方向的單位面積的電荷，而 σ 定義為導電係數 (conductivity)。以上推導的關係式，我們稱為微觀的歐姆定律。

如果，我們考慮一段粗細均勻的導線 (如圖 4-2-1)，導線的截面積為 A ，導線的長度為 L ，當我們提供導線兩端的電壓 V 時，導線中會有一均勻電場 E 產生。



(圖 4-2-1：受電場作用的粗細均勻導線)

我們可以推導出下列式子：

$$\text{電流 } I = J \times A = \sigma E \times A = \sigma A \times (V/L)$$

$$I = (\sigma AL) V$$

$$V/I = R = (1/\sigma) L/A = \rho L/A$$

其中 ρ 定義為電阻係數 (resistivity)，此式我們又通稱為巨觀的歐姆定律。

比較以上二者，我們可以發現，儘管電阻與導體的形狀及電子流動情形有關，但電阻率卻與這些因素無關，而僅與材料性質及溫度有關。

綜合以上文獻資料，本研究欲探討「液體導線」的導電性質，可就一般物質的導電性質（歐姆定律）為基礎，針對可能影響導電的因素：「擺放方式」、「流動方式」、「溫度」、「長度」（串聯）及「截面積」（並聯）作為實驗變因，並比較「液體導線電阻」與「歐姆式電阻」之差異。

(二) 液體導電的相關理論

當在水中加入食鹽並均勻攪拌，食鹽即不見了。其實食鹽並非真的消失，它是與水密切的混合在一起，這樣的現象我們稱之為溶解。食鹽溶解在水中形成了溶液 (solution)，而溶液中的成分去溶另一成分的稱為溶劑 (solvent)，被溶的成分就稱為溶質 (solute)。當食鹽溶解於水中，水是溶劑，而食鹽為溶質，溶液內含有離子或該化合物，溶質粒子均勻分散在溶劑中形成均勻混合物。水是最常見的溶劑，以水作為溶劑的溶液，我們稱為水溶液 (aqueous solution)。

在一定狀況下，一定量的溶劑可以溶解一有限量之溶質。這限量即為溶質的溶解度。每一物質在一定溫度下有一顯著的溶解度。溶解度是會隨溫度而變的。製備一溶液，通常只需要將溶質加入溶劑中，並攪拌即可，如果一直不斷的加溶質到溶液中，就會到達平衡，這時溶質不再溶解，我們稱為此溶液已經到達飽和。此時的溶液稱之為飽和溶液 (saturated solution)。定溫時，溶液所能溶解的溶質之最大量是固定的，每 100g 溶劑所能溶解溶質的最大克數，我們稱為溶解度，亦即飽和溶液的濃度。大部分在實驗室所使用的溶液都指比飽和溶液含有較少之溶質，我們稱為不飽和溶液 (unsaturated solution)，然而；有時一溶液含有溶質的濃度超過了飽和溶液的濃度，這種溶液我們稱為過飽和溶液 (supersaturated solution)。

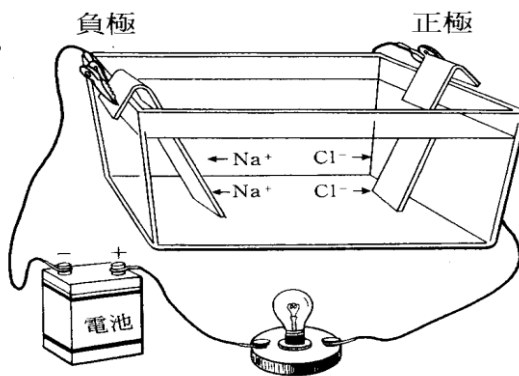
通常溶質的溶解度與溫度成正比，大部分的固體在水中之溶解度為吸熱反應，隨溫度升高而溶解度增大，在這樣的情況下，加熱含固體溶質的飽和溶液會使固體再溶解。而當此溶液冷卻時，固體就又回復出現了。例如，在 0°C 時，100g 的水可溶解 35.7g 的氯化鈉，而在 100°C 時 100g 的水卻能溶解 39.7g 的氯化鈉 (T.R.Dickson, 2001)。

有些物質在熔化狀態或形成水溶液時能解離而導電者稱為電解質 (electrolyte)。

瑞典化學家阿瑞尼士（SvanteAugustAmhenius,1859-1927）於 1884 年提出的「解離說」，對電解質在水溶液中導電的情形提出以下解釋：

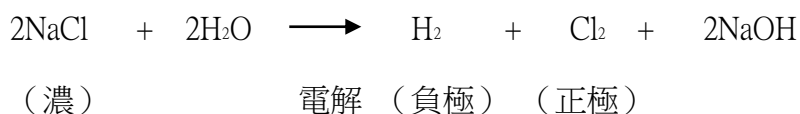
1. 電解質溶於水就分解成帶電的粒子，這些粒子叫離子。帶正電的離子稱為正離子，帶負電的離子稱為負離子。這個分解成離子的步驟，就叫做解離。例如氯化鈉溶解於水時，氯化鈉解離成兩種帶電的粒子，氯離子和鈉離子，其中氯離子帶一個負電荷，寫成 Cl^- ，鈉離子帶一個正電荷，寫成 Na^+ 。離子可以帶不只一個電荷，如鈣離子 Ca^{2+} ，帶二個正電荷。
2. 數個原子結合成的粒子，叫做原子團，也可以帶電荷。例如氫氧化鈉解離產生的負離子 OH^- ，稱為氫氧根離子。
3. 溶液中正離子所帶的總電量，與負離子所帶的總電量恰好相等，這是因為溶液一定是電中性的。在氯化鈣(CaCl_2)的水溶液中，每個氯離子 Cl^- 帶一個負電荷，每個鈣離子 Ca^{2+} 帶二個正電荷，但溶液中 Cl^- 的總數目是 Ca^{2+} 的總數目的兩倍，結果水溶液還是保持電中性。
4. 離子在水溶液中可以自由地移動，當通以電流時，正離子移向負極，負離子移向正極。這些移動的離子，形成水溶液中的電流，所以電解質水溶液可以導電。

根據以上文獻資料，本研究為了設計一個平時在家中或教室就能進行的科學遊戲，因此；決定採用隨手可得的食鹽，將其溶於水後形成的「食鹽水」作為實驗中探討液體導線導電性質的電解質水溶液，其導電情形如圖 4-2-2。



(圖 4-2-2：濃食鹽水溶液導電裝置圖－摘錄參考資料 3)

電解濃食鹽水化學式如下：



電解濃食鹽水，負極產生氫氣，正極產生氯氣溶於水成黃綠色，並且有白色氫氧化鈉溶解在水中。（*注意：實驗完成後的溶液必須回收至廢液桶處理）

(三) 溶液的依數性質 (colligative properties)

電解質水溶液能夠導電，完全是靠電解質在水溶液中解離出自由離子來形成電流，然而；電解質在水中雖然會溶解，可是實際上卻不會完全解離，而部分是以分子狀態存在於溶液中。

我們平常依據電解質在水中解離的程度，將電解質分為兩類，若溶解於水完全解離成陰陽離子者，稱為強電解質 (strong electrolytes)，若只有部分解離者，稱為弱電解質 (weak electrolytes)，溶質解離的程度(解離度)即決定了陰陽離子數目的多寡。當我們用理想狀況即完全解離來計算溶液的物理、化學性質時，則實際值和理論值會有很大的差異。在理論和現實之間的變因就是「離子活性」(activity of ions)，離子活性較大的離子在水中比較容易解離，較小者則不易。

除了離子活性大小不同影響解離度外，溶液的濃度及溫度也都會因下列二項原因而影響解離度的大小：

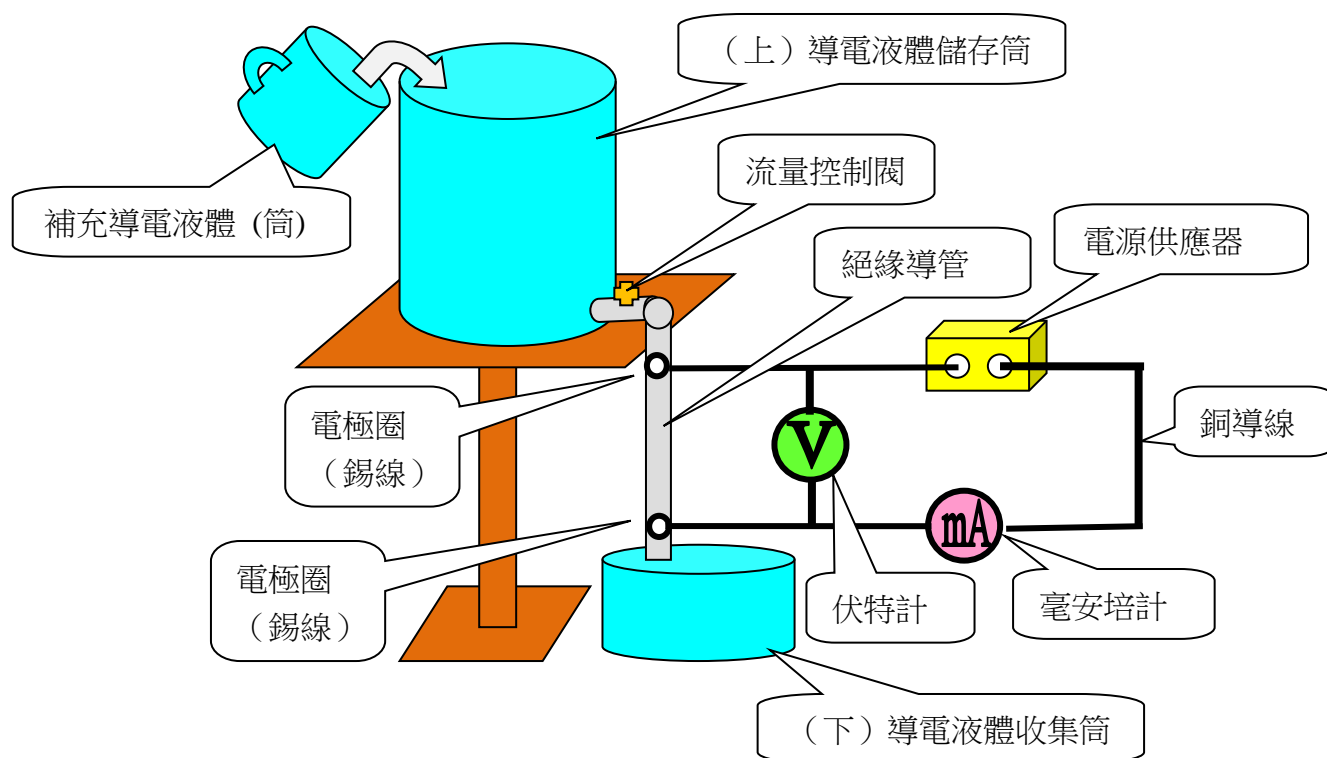
- 1.在比較濃的溶液中，陰陽離子距離比較近，兩者間具有較強的吸引力，因此較不容易以單獨的陰陽離子存在，所以解離度較小。
- 2.通常溶液中溶質的解離為吸熱反應，故溫度越高，解離度越大；反之，則越小。

溶液的有些性質與溶質的本性無關，而只決定於溶液的濃度，亦即只依溶質的粒子數而定，這種性質稱為「依數性質」。亦即溶液中的分子和離子的多寡決定了溶液的物理與化學性質。例如：溶液的凝固點下降、沸點上升、滲透壓改變、導電度、pH 值…等都和溶質的濃度有關，但與溶質的種類無關。

依據以上的文獻資料，本研究以「電解質(食鹽)水溶液」的液體導線為探討要項，而水溶液會隨著濃度的倍數增加，離子數隨之增加，但；水溶液濃度變大後，解離度卻減小，故離子增加的數目變少了，因此；除了一般影響物質的導電性質（歐姆定律）的因素(例如：「溫度」、「長度」及「截面積」…等)之外，「液體導線」的電解質(食鹽)水溶液「濃度」亦必須列入液體導線導電性質的變因之一。此外；本研究同時再以四種不同的電解質（KCl、NaOH、KNO₃、CuSO₄*5H₂O）作相同的實驗，以探討「液體導線」導電性質與溶質的種類關係；透過實驗結果來探討「液體導線」導電性質是否具有「依數性質」。

三、實驗裝置與操作

(一) 完成實驗裝置，如圖 4-3-1。

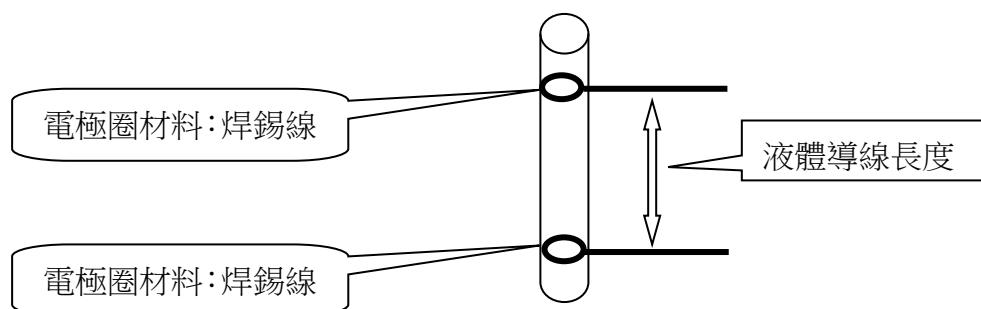


(圖 4-3-1：液體導線實驗裝置示意圖)

(二) 實驗裝置規格及要項說明如下：

1. 長度：(導管上下端兩測量電極圈相差的距離)：如圖 4-3-2。

(液體導線的長度)，規格編號如下表 4-3-2。



(圖 4-3-2：液體導線實驗用導管示意圖)

(表 4-3-2：液體導線的長度規格與編號表)

長度 (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
管徑 (mm)						
編號 A：6.5	A1	A2	A3	A4	A5	A6
編號 B：5.0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
編號 C：3.0	C1	C2	C3	C4	C5	C6

2.管徑：(內-半徑)(液體導線的截面積)

編號 A：6.5 mm 編號 B：5.0 mm 編號 C：3.0 mm

3.流量：(開關全開，上導電液體儲存桶保持一定食鹽水量，並隨時補充食鹽水，以保持相同液面高)

編號 A：128.21 ml / s 編號 B：75.44 ml / s 編號 C：28.07 ml / s

開關全開時，流量與導管內-截面積成正比：

編號 A $128.21/42.25 =$ 編號 B $75.44/25 =$ 編號 C $28.07/9 \div 3$

4.濃度：(食鹽水莫耳濃度)

0.5M、1.0M、2.0M、4.0M (常溫下：食鹽飽和溶解度約 5.5M)

5.電源供應器提供實驗電路電壓(保持伏特計讀取的數據)即(液導線兩端的電壓)。

6.因實驗設備有限，因此；每次實驗盡量在短時間內完成，以保持各項控制變因不影響實驗結果。

7.本實驗使用的電流計內電阻(9.0Ω)遠小於實驗食鹽水導線的電阻；而所使用的伏特計內電阻($15K\Omega$)遠大於實驗食鹽水導線的電阻。

8.垂直食鹽水導線「電阻」與「溫度」關係的實驗中，本研究採用絕熱近似的假設條件；因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值。

(三)實驗步驟

1.依實驗項目的濃度及溫度調製食鹽水並倒入「導電液體儲存桶」中。

2.將實驗項目之規格的液體導管連接與導管漏斗上，並加以固定牢靠。

3.啟動電源供應器使伏特計保持實驗設計的電壓讀數。

4.打開開關(全開)，並隨時補充食鹽水，保持導電液體儲存桶的食鹽水一定的高度，以保持固定流量。

5.記錄電流計上的電流值大小，重複實驗測量 5 次，求取平均值。

6.依各項實驗改變操作變因，再重複步驟 1 至步驟 5。

7.將實驗結果作圖表分析討論之。

四、實驗變因、測量、紀錄與分析

(一) 實驗變因：

- 1.液體(食鹽水)導線長度、
- 2.導管管徑(食鹽水導線的截面積)、
- 3.導管兩端電壓、
- 4.液體(食鹽水)導線濃度、
5. 液體(食鹽水)導線溫度
- 6.垂直或水平擺放方式、
- 7.液體(食鹽水) 流動或不流動。

(二) 測量：流經液體(食鹽水)導線的電流值。

(三) 紀錄分析：將實驗結果的電流值換算成電阻值，繪製操作與應變變因之圖表比較分析。

(四) 後續實驗：使用長度 500cm 之液體(食鹽水)導線或四種不同的電解質 (KCl、NaOH、 KNO_3 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 重複實驗步驟。

(五)假設條件：因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值，於是實驗採用絕熱近似假設。

五、「液體導線」科學遊戲設計

(一) 設計目的：

本研究將電解質水溶液導電及歐姆定律的原理，設計一系列的實驗，深入探討液體導線的基本導電性質，期待運用實驗結果，結合簡單的電路，搭配生活化的用具，設計一個與實際生活親近，製作方便，操作容易，成功率高及趣味性十足的科學動手做遊戲，能將之帶入人群，分享推廣到家庭中，讓人們隨時隨地在生活中就能親身體驗科學、認識科學、喜愛科學。

(二) 設計主題方向：

- 1.讓觀眾容易發現基本電路在連接液體導線後，有立即變化效果(例如：燈泡亮起)。
- 2.讓觀眾思考液體導線的功用及在整個電路中扮演的角色。
- 3.讓觀眾容易發現液體導線的溫度、濃度、長度..等大小、與電路的導電性有明顯的關係。
- 4.讓觀眾比較液體導線與一般金屬導線兩者導電性的差別。

(三) 設計注意事項：

- 1.符合安全性。
- 2.符合便利性。
- 3.符合環保性。

伍、研究結果與討論

一、探討液體導線「電阻」與「垂直或水平擺放」的關係

本實驗控制導管管徑（液體導線的截面積）5.0mm、導管兩端電壓 15.0V 及食鹽水溫度 24.0℃，分別採用不同食鹽水濃度與導管長度，並將液體(食鹽水)導線垂直擺放及水平擺放(食鹽水保持不流動)，總共進行 4 組實驗(如圖 5-1-1)，測量流經食鹽水導線的電流值，實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-1-1。

【表 5-1-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「垂直或水平擺放」關係表】

液體(食鹽水) 導線濃度 (M)	長度 (m)	垂直擺放的電阻 (Ω)	水平擺放的電阻 (Ω)	平均電阻/長度 ($k\Omega/m$)
0.5	0.1	387.6	387.5	3.9
	0.2	768.3	768.1	3.9
	0.3	1111.4	1110.8	3.7
	0.4	1502.0	1502.0	3.8
	0.5	1874.9	1874.7	3.8
	0.6	2307.3	2307.3	3.9
1.0	0.1	214.3	214.3	2.1
	0.2	416.5	416.6	2.1
	0.3	612.1	612.2	2.0
	0.4	832.9	833.1	2.2
	0.5	1070.9	1071.2	2.1
	0.6	1250.0	1250.0	2.1
2.0	0.1	115.6	115.4	1.2
	0.2	231.1	230.9	1.2
	0.3	349.3	348.8	1.2
	0.4	461.5	460.8	1.2
	0.5	576.9	576.9	1.2
	0.6	697.5	697.6	1.2
4.0	0.1	75.0	74.9	0.8
	0.2	150.2	150.0	0.8
	0.3	213.8	214.2	0.7
	0.4	300.0	300.0	0.8
	0.5	371.2	370.6	0.7
	0.6	440.9	441.2	0.7

※管徑：5.0mm、食鹽水溫度：24.0℃、導管兩端電壓：15.0V。

【分析與討論】：

(一) 由以上的實驗結果分析，本研究發現不論是液體(食鹽水)導線濃度或導管長度不同，液體導線的電阻值皆不會因液體導線的擺放方式（水平或垂直的擺放）而改變，即液體導線的擺放方式（水平或垂直），並不會影響液體導線的導電性質，換句話說，在本研究實驗的液體(食鹽水)導線長度範圍內（0.1m-0.6m），液體導線內的導電離子移動並沒有明顯受到重力的影響。

(二) 為了避免因實驗所使用的食鹽水導線長度太短，使重力的作用效果不顯著，本研究再使用長 500cm 的液體(食鹽水)導線重複進行相同的實驗(如下圖 5-1-2)，測量計算結果統計如下表 5-1-2。

【表 5-1-2：長距離液體(食鹽水)導線「電阻」與「垂直或水平擺放」關係表】

液體導線長度 (m)	垂直擺放的電阻 (Ω)	水平擺放的電阻 (Ω)	平均電阻/長度 ($k\Omega/m$)
5.0	4763.5	4762.9	1.0

※食鹽水濃度：1.0M、管徑：5.0mm、食鹽水溫度：25.0℃、導管兩端電壓：20.0V。

(三) 由以上實驗結果作分析，本研究仍發現液體導線的電阻值在長距離的導電情形下，液體導線的電阻值仍不會因液體導線的擺放方式（水平或垂直的擺放）而改變，換句話說，長距離液體導線內的導電離子移動同樣沒有明顯受到重力作用的影響。

(四) 「液體導線」科學遊戲設計時，水平方向的導線或垂直方向的導線，因為不影響操作結果，故皆可以考慮使用；而為了與一般水平面上的傳統導線有所區別，建議採垂直方向的液體導線方式比較容易操作且更有趣味性。



【圖 5-1-1：液體導線實驗操作圖】



【圖 5-1-2：長 500cm 液體導線實驗操作圖】

二、探討液體導線「電阻」與「流動或不流動」的關係

本實驗控制導管管徑（液體導線的截面積）5.0mm、導管兩端電壓 15.0V 及食鹽水溫度 24.0℃，同時將液體(食鹽水)導線垂直擺放，分別操作液體(食鹽水)流動(流量：75.44 ml / s)與不流動，並採用不同食鹽水濃度與導管長度，總共進行 4 組實驗，測量流經食鹽水導線的電流值，實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-2-1。

【表 5-2-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「流動或不流動」關係表】

液體(食鹽水) 導線濃度(M)	長度 (m)	液體流動的電阻 (Ω)	液體不流動的電阻 (Ω)	平均電阻/長度 ($k\Omega/m$)
0.5	0.1	387.5	389.4	3.9
	0.2	768.1	769.2	3.9
	0.3	1110.8	1110.8	3.7
	0.4	1502.0	1501.7	3.8
	0.5	1874.7	1873.9	3.8
	0.6	2307.3	2307.7	3.9
1.0	0.1	214.3	214.3	2.1
	0.2	416.6	416.4	2.1
	0.3	612.2	611.9	2.0
	0.4	833.1	833.1	2.2
	0.5	1071.2	1071.1	2.1
	0.6	1250.0	1250.2	2.1
2.0	0.1	115.2	115.4	1.2
	0.2	230.7	230.8	1.2
	0.3	348.8	348.8	1.2
	0.4	461.3	461.5	1.2
	0.5	576.9	576.7	1.2
	0.6	697.8	697.8	1.2
4.0	0.1	75.2	75.0	0.8
	0.2	150.0	150.0	0.8
	0.3	214.2	214.1	0.7
	0.4	300.0	299.8	0.8
	0.5	370.6	370.6	0.7
	0.6	441.1	441.3	0.7

※管徑：5.0mm、食鹽水溫度：24.0℃、導管兩端電壓：15.0V、流量：75.44 ml / s、垂直擺放。

【分析與討論】：

(一) 由以上的實驗結果分析，本研究發現不論是液體(食鹽水)導線濃度或導管長度不同，液體導線的電阻值皆不會因液體導線內液體流動或不流動而改變，即液體導線內的液體流動方式（流動或不流動），並不會影響液體導線的導電性質，換句話說，在本實驗的液體(食鹽水)導線長度範圍內（0.1m-0.6m），液體導線內的導電離子於導電時的移動情形並沒有明顯受到整個導電液體運動狀態的影響。

(二) 為了避免因實驗所使用的食鹽水導線長度太短，使食鹽水溶液流動的作用效果不顯著，本研究再使用長 500cm 的液體(食鹽水)導線重複進行相同的實驗，測量計算結果統計如下表 5-2-2。

【表 5-2-2：長距離液體(食鹽水)導線「電阻」與「流動或不流動」關係表】

液體導線長度 (m)	液體流動的電阻 (Ω)	液體不流動的電阻 (Ω)	平均電阻/長度 ($k\Omega/m$)
5.0	4762.2	4761.8	1.0

※食鹽水濃度：1.0M、管徑：5.0mm、食鹽水溫度：25.0℃、導管兩端電壓：20.0V。
流量：75.44 ml / s、擺放方式：垂直。

(三) 由以上實驗結果作分析，本實驗仍發現液體導線的電阻值在長距離的導電情形下，液體導線的電阻值仍不會因液體導線內液體的運動狀態（流動或不流動）而改變，於是實驗結果可作以下推論：由於電解質水溶液是濃度均勻的水溶液，因此；不論液體導線內的液體流動或不流動，若以導線內的液體為參考座標，由於液體導線是一串均勻連續的流體，故在同一時間，任意一段單位長度的液體導線中的正離子及負離子的總數量皆相同，而且彼此間的相對運動情形也和靜止不流動的液體導線彼此間的相對運動情形相同，換句話說，液體導線的導電性質並沒有明顯受到液體的運動狀態的影響。

(四) 「液體導線」科學遊戲設計時，液體流動的導線或液體不流動的導線，因為不影響操作結果，故皆可以考慮使用；而為了與一般常用的金屬導線有所區別，建議採流動的液體導線方式比較新奇有趣。

三、探討液體導線「電阻」與「溫度」的關係

本實驗控制導管管徑(液體導線的截面積)5.0mm、導管兩端電壓 15.0V、導線長度 20.0cm 及流量 75.44 ml / s，同時將液體(食鹽水)導線垂直擺放，分別操作液體(食鹽水)導線不同溫度 (30℃－80℃)，間隔 5℃，並採取不同食鹽水濃度，總共進行 3 組實驗，測量流經食鹽水導線的電流值，實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-3-1 及圖 5-3-1。

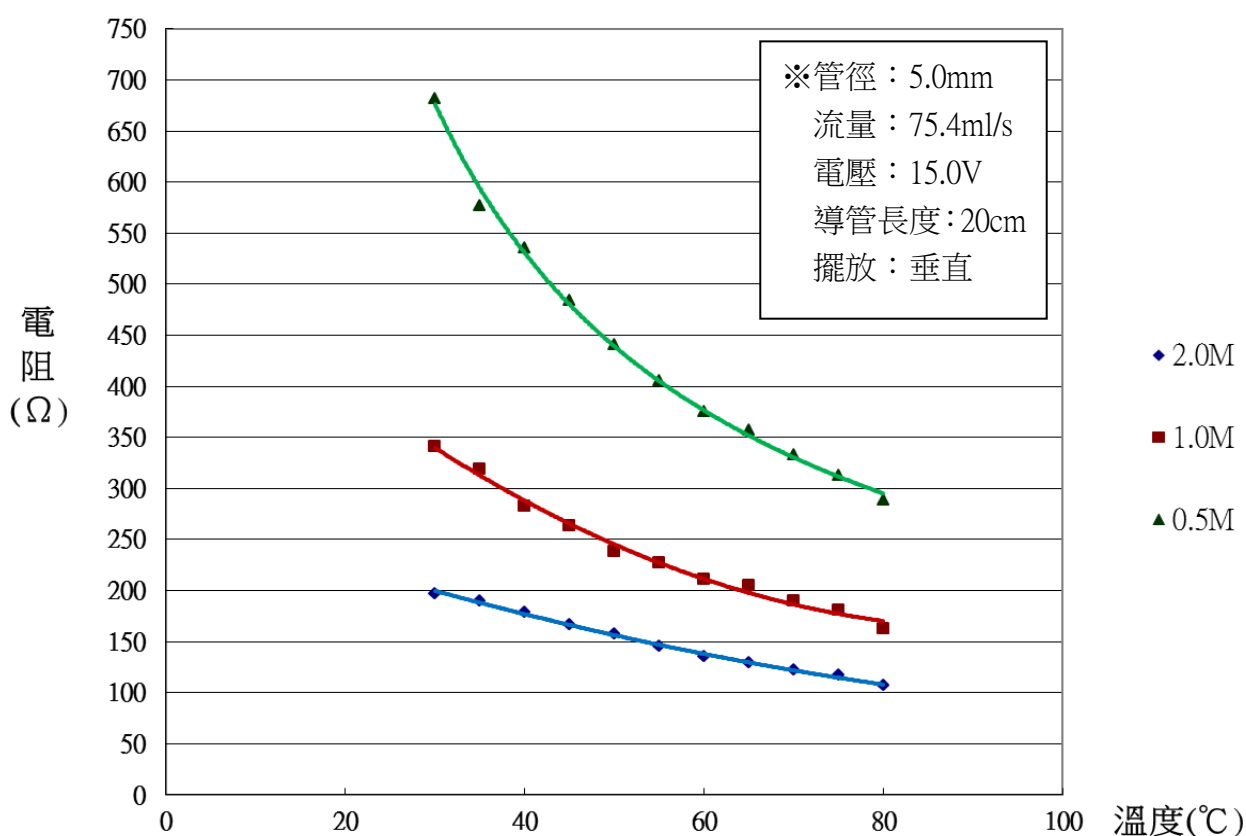
【表 5-3-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「溫度」關係表】

液體(食鹽水) 導線濃度 (M)	溫度 (℃)	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
2.0	電流值 (mA)	141.2	128.1	122.7	116.2	110.8	103.7	95.8	90.6	83.9	78.8	76.0
	電阻值 (Ω)	106.2	117.1	122.2	129.1	135.4	144.6	156.6	165.6	178.8	190.4	197.4
1.0	電流值 (mA)	92.1	82.7	77.9	73.4	72.6	65.8	62.4	56.8	53.2	47.3	44.2
	電阻值 (Ω)	162.9	181.4	192.6	204.4	206.6	228.0	240.4	264.1	282.0	317.1	339.4
0.5	電流值 (mA)	52.3	47.5	44.8	41.9	39.9	36.5	33.8	31.0	28.3	26.6	22.0
	電阻值 (Ω)	286.8	315.8	334.8	358.0	375.9	411.0	443.8	483.9	530.0	563.9	681.8

※管徑：5.0mm、流量：75.4ml/s、導線長度：20cm、導管兩端電壓：15.0V、擺放方式：垂直。

【分析與討論】：

- (一) 本實驗以不同的食鹽水濃度總共進行 3 組實驗，由以上的實驗結果分析，發現同濃度之液體導線，在不同溫度下，所產生的電阻大小不同，溫度越高，電阻越小，此部分與一般的金屬導線隨著溫度越高，電阻越大的性質明顯不同。
- (二) 由下圖 5-3-1 可發現將溫度與電阻值作圖近似反比曲線，本研究推論液體導線的「電阻」與「溫度」具有負相關的關係，另外；由曲線的變化可明顯的判斷隨著溫度升高，食鹽水導線的電阻變小，且溫度較高時兩相鄰的溫差較低溫時所產生的電阻值差距變小，特別是濃度較小的液體導線情形較為明顯。



【圖 5-3-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「溫度」關係圖】

(三)將實驗結果與文獻資料相比較，發現當溫度增加時，電解質的解離度會增加；但是隨著離子數目增加，其解離度的增加量會減少的情形相符合。因此，本實驗結果可推論：當溫度越高時，液體導線中解離的導電離子數目增加，且導電離子動能也增加，所以液體導線的電流值會變大，而電阻值就相對地減少了，然而；隨著解離的導電離子數目不斷增加，其增加的數目卻會逐減少，因此；隨著溫度越高，液體導線的電流增加的值也就逐漸減小，故電阻值減小的差距也就相對地減少了，在控制其他變因的條件下，不斷增加液體溫度，液體導線的電阻值預測會趨近於一個最小的固定值。

(四)「液體導線」科學遊戲設計時，參考圖 5-3-1 的實驗結果，為了能明顯表現液體導線導電性質的合適操作條件，建議採取溫度 20°C~60°C 範圍的電解質水溶液，此溫度範圍的液體導線導電性質變化較為明顯。

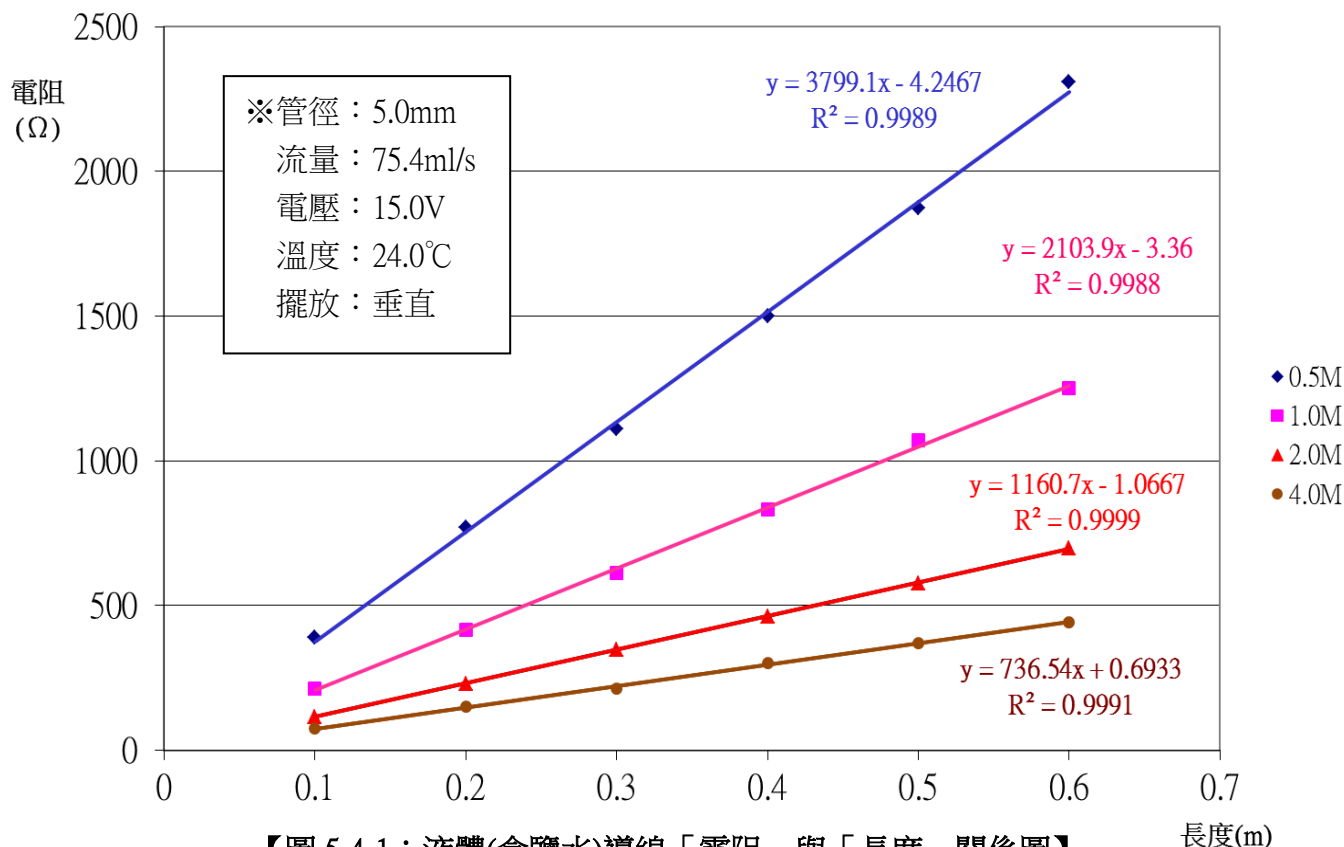
四、探討液體導線「電阻」與「長度」的關係

本實驗控制導管管徑（液體導線的截面積）5.0mm、導管兩端電壓 15.0V、液體(食鹽水)導線溫度 24℃及流量 75.44 ml / s，同時將液體(食鹽水)導線垂直擺放，分別改變液體(食鹽水)導線不同長度（0.1m—0.6m），並採取不同食鹽水濃度，總共進行 4 組實驗，測量流經食鹽水導線的電流值，實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-4-1 及圖 5-4-1。

【表 5-4-1：，液體(食鹽水)導線「電阻」與「長度」關係表】

液體(食鹽水) 導線濃度 (M)	長度 (m)	電流 (mA)	電阻 (Ω)	平均電阻/長度 ($k\Omega/m$)
0.5	0.1	38.3	391.6	3.9
	0.2	18.9	793.7	3.9
	0.3	13.6	1102.9	3.7
	0.4	10.1	1485.1	3.8
	0.5	8.2	1829.3	3.8
	0.6	6.7	2238.8	3.9
1.0	0.1	70.0	214.3	2.1
	0.2	35.8	419.0	2.1
	0.3	24.6	609.8	2.0
	0.4	18.3	819.7	2.1
	0.5	14.1	1063.8	2.1
	0.6	11.8	1271.2	2.1
2.0	0.1	130.2	115.2	1.2
	0.2	65.3	229.7	1.2
	0.3	42.8	350.5	1.2
	0.4	32.4	463.0	1.2
	0.5	26.0	576.9	1.2
	0.6	21.4	700.9	1.2
4.0	0.1	201.1	74.6	0.8
	0.2	99.8	150.3	0.8
	0.3	70.2	213.7	0.7
	0.4	49.8	301.2	0.8
	0.5	40.2	373.1	0.7
	0.6	34.3	437.3	0.7

※管徑：5.0mm、流量：75.4ml/s、溫度：24.0℃、導管兩端電壓：15.0V、擺放方式：垂直



【圖 5-4-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「長度」關係圖】

【分析與討論】：

- (一) 本實驗以不同的食鹽水濃度總共進行 4 組實驗，由以上的實驗結果分析，發現同濃度之液體導線，在不同導線長度下，所產生的電阻大小不同，長度越長，電阻越大。
- (二) 分析圖 5-4-1 可發現液體導線的電阻值與導線的長度兩者俱有線性關係，而且每組實驗結果作圖所得直線之相關係數 $R(0 < R < 1 \text{ 且 } R \approx 1)$ ，即表示液體導線的電阻與導線的長度具有正相關的關係，此部分與一般歐姆式電阻導電性質相似，亦意謂著串聯液體導線，其電阻仍會隨著串聯長度具有正相關的關係。
- (三) 分析圖 5-4-1，另外可發現：液體導線隨著濃度增加，直線之斜率卻減小，亦即兩相鄰的電阻值改變就減小了。實驗結果可推論：隨著濃度增加，液體導線中的導電離子增加的數目會逐減少，所以液體導線的電流增加的值也就逐漸減小，故電阻值減小的差距就相對地減少了。因此；濃度越小的液體導線，越能明顯表現出電阻與長度成正相關的關係，而在允許的理想條件下，當液體導線的濃度增大至某個值時，其導電的電阻將不再隨長度而改變，預測其將趨近於一個穩定的大小值。
- (四) 「液體導線」科學遊戲設計時，參考圖 5-4-1 的實驗結果，建議採取長度 10cm~30cm 範圍的電解質水溶液，此長度範圍的液體導線較容易操作，且導電性質變化亦較明顯。

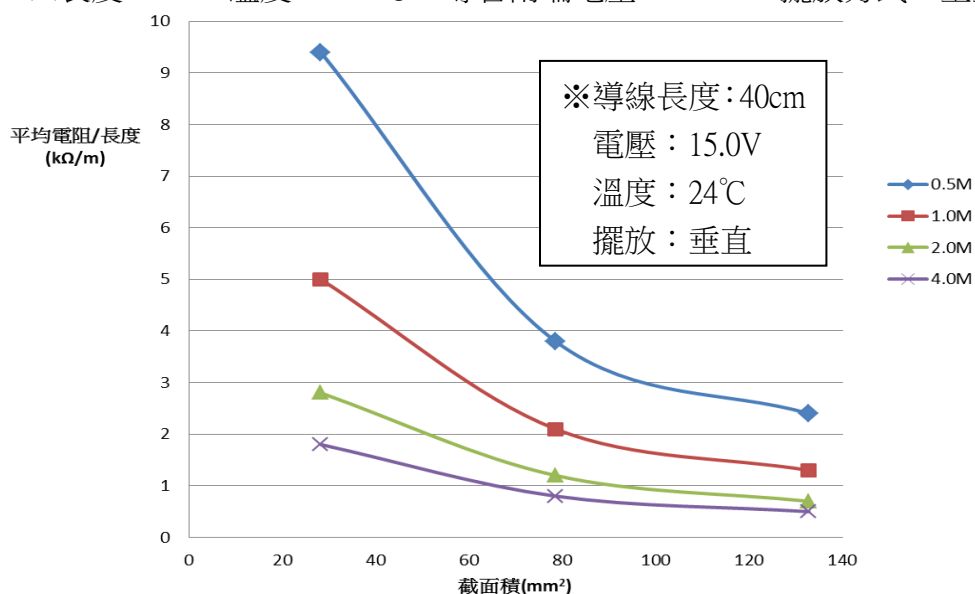
五、探討液體導線「電阻」與「截面積」的關係

本實驗控制導管長度 0.4m、兩端電壓 15.0V、液體(食鹽水)溫度 24℃ 及流量 75.44 ml / s，同時將液體(食鹽水)導線垂直擺放，分別改變液體(食鹽水)導線不同管徑（截面積），並採取不同食鹽水濃度，總共進行 4 組實驗，測量流經食鹽水導線的電流值，實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-5-1 及圖 5-5-1。

【表 5-5-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「截面積」關係表】

液體(食鹽水)導線濃度 (M)	截面積(mm ²)	電流(mA)	電阻(Ω)	平均電阻/長度(kΩ/m)
0.5	28.26	4.2	3571.4	9.4
	78.5	10.1	1485.1	3.8
	132.7	10.6	1415.1	2.4
1.0	28.26	7.4	2027.0	5.0
	78.5	18.1	828.7	2.1
	132.7	29.0	517.2	1.3
2.0	28.26	13.2	1136.4	2.8
	78.5	32.3	464.4	1.2
	132.7	50.2	298.8	0.7
4.0	28.26	21.0	714.3	1.8
	78.5	50.2	298.8	0.8
	132.7	85.1	176.3	0.5

※長度 0.4m、溫度：24.0℃、導管兩端電壓：15.0V、擺放方式：垂直

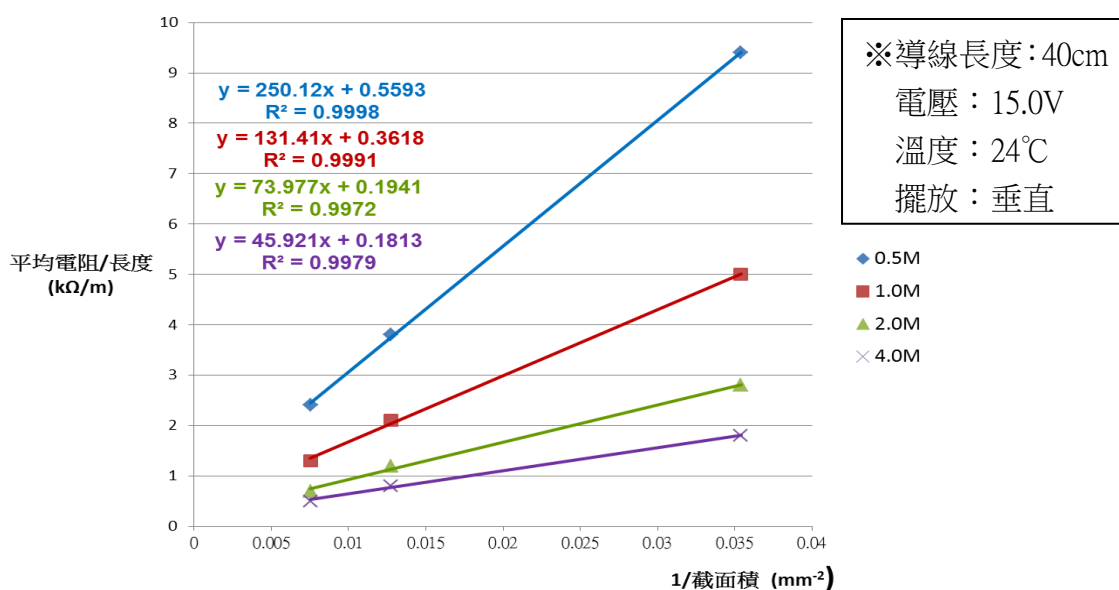


【圖 5-5-1：液體(食鹽水)導線「平均電阻/長度」與「截面積」關係圖】

【分析與討論】：

本實驗以不同的食鹽水濃度總共進行 4 組實驗，由以上的實驗結果分析，發現同濃度(單位截面積的導電離子數目相同)之液體導線，在不同導線截面積(流量)下，隨著導線截面積(流量)增加，單位長度的液體導線中的導電離子數目增加(與導線截面積成正比)，導線的電流值會變大，而電阻因而變小，因此；液體導線的截面積越大，電阻越小。

- (一) 分析圖 5-5-1 可發現液體導線的電阻值與導線截面積(流量)兩者具有負相關的關係，因此，另作電阻值與導線截面積倒數的關係圖如下圖 5-5-2。



【圖 5-5-2：液體(食鹽水)導線「電阻」與「1/截面積」關係圖】

- (二) 分析圖 5-5-2 結果發現：液體導線的電阻值與截面積倒數兩者俱有線性關係，而且每組實驗結果作圖所得直線之相關係數 R ($0 < R < 1$ 且 $R \approx 1$)，即表示液體導線的電阻與截面積具有負相關的關係，此部分與一般歐姆式電阻導電性質相似，亦意謂著液體導線並聯時，截面積變大，而並聯的電阻將會與截面積具有負相關的關係。
- (三) 實驗結果同樣顯示：直線之斜率減少，亦即兩相鄰的電阻相差就減小了，因此，隨著導線(食鹽水)濃度增大，單位截面積解離的導電離子數目增加的數目會逐減少，故電阻值減小的差距就相對地減少了，亦即濃度越小的液體導線，越能明顯表現出電阻與截面積成負相關的關係，而當液體導線的濃度增大至某個值時，其導電的電阻將不再隨截面積而改變，預測其將趨近於一個穩定的大小值。
- (四) 「液體導線」科學遊戲設計時，建議採取控制流量的大小(即液體導線的粗細)來作為改變截面積的變化，此改變比較容易操作，且導電性質變化亦較為明顯。

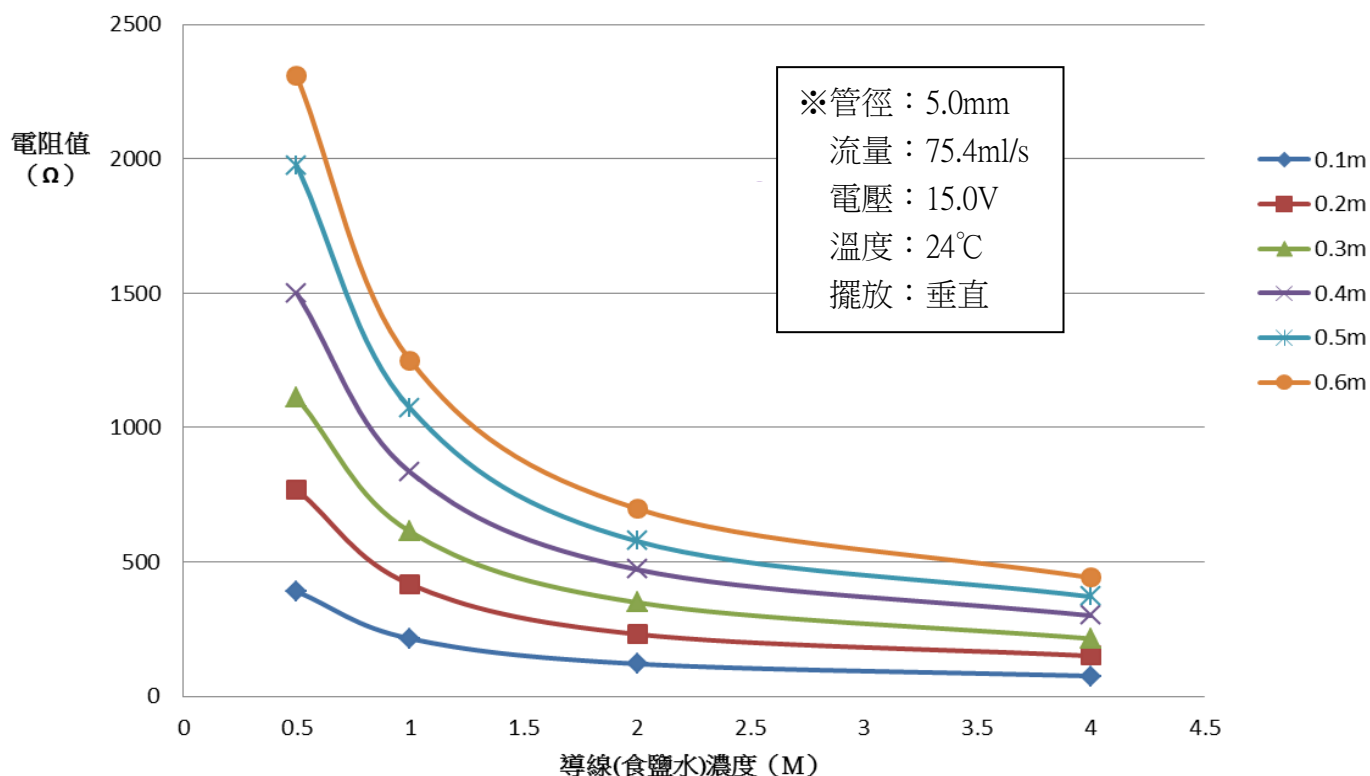
五、探討液體導線「電阻」與「濃度」的關係

本實驗控制導管管徑 5.0mm、兩端電壓 15.0V、液體(食鹽水)溫度 24℃ 及流量 75.44 ml / s，同時將液體(食鹽水)導線垂直擺放，分別改變液體(食鹽水)的濃度，並採取導線不同長度(0.1m—0.6m)，總共進行 6 組實驗，測量流經食鹽水導線的電流值，且實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-6-1 及圖 5-6-1。

【表 5-6-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「濃度」關係表】

導管長度(m)	食鹽水濃度(M)	電流值(mA)	電阻值(Ω)	後一項電阻值/前一項電阻值
0.1	0.5	38.3	391.6	
	1.0	69.8	214.9	0.55
	2.0	131.2	114.3	0.56
	4.0	200.0	75.0	0.62
0.2	0.5	19.4	773.2	
	1.0	35.8	419.0	0.54
	2.0	64.7	231.8	0.55
	4.0	99.8	150.3	0.65
0.3	0.5	13.2	1136.4	
	1.0	24.4	614.8	0.55
	2.0	42.9	349.7	0.57
	4.0	70.1	214.0	0.61
0.4	0.5	10.0	1500.0	
	1.0	17.8	842.7	0.56
	2.0	32.5	461.5	0.57
	4.0	50.2	298.8	0.64
0.5	0.5	8.3	1807.2	
	1.0	14.0	1071.4	0.54
	2.0	25.9	579.2	0.56
	4.0	40.3	372.2	0.64
0.6	0.5	6.4	2343.8	
	1.0	12.1	1239.7	0.54
	2.0	21.4	700.9	0.56
	4.0	34.2	438.6	0.63

(※管徑：5.0mm、流量：75.4ml/s、溫度：24.0℃、導管兩端電壓：15.0V、擺放方式：垂直)



【圖 5-6-1：液體(食鹽水)導線「電阻」與「濃度」關係圖】

【分析與討論】：

- (一) 本實驗以不同的導線長度總共進行 6 組實驗，由以上的實驗結果分析，發現相同長度之液體導線，在不同液體(食鹽水)濃度下，所產生的電阻大小不同，濃度越高，電阻越小。
- (二) 分析圖 5-5-1 可發現液體導線的電阻值與濃度兩者具有負相關的關係，當液體導線濃度增加時，其導電的電流值亦隨著增加，而電阻隨著減少，但電阻減小的倍率卻隨著濃度倍數的增加而變小；而在允許的理想條件下，當液體導線的濃度增大至某個值時，其導電性質(電阻)將不再隨濃度大小而改變，預測其將趨近於一個穩定的大小值。
- (三) 為了針對以上實驗結果作進一步的比較，本研究再以四種不同的電解質（KCl、NaOH、KNO₃、CuSO₄*5H₂O）重複作相同的實驗，用以分析「液體導線」導電性質與溶質的種類關係；並透過實驗結果來探討「液體導線」導電性質是否同樣俱有「依數性質」，並依據實驗計算結果統計如下表 5-6-2、表 5-6-3、表 5-6-4 及表 5-6-5，並作圖 5-6-2。
- (四) 「液體導線」科學遊戲設計時，參考圖 5-6-1 的實驗結果，為了能明顯表現液體導線導電性質的合適操作條件，建議採取濃度 0.5M~2.0M 範圍的電解質水溶液，此濃度範圍的液體導線導電性質變化較為明顯；另可以更換不同的電解質進行科學遊戲操作，以比較不同電解質液體導線的導電性質之差異。

【表 5-6-2：氯化鉀 (KCl) 水溶液導線「電阻」與「濃度」關係表】

濃度 (M)	電流值 (mA)	電阻值 (Ω)	後一項電阻值/前一項電阻值
0.0625	4.2	3571.4	
0.125	8.4	1785.7	0.54
0.25	14.8	1013.5	0.55
0.5	26.5	566.0	0.56
1.0	43.6	344.0	0.58

【表 5-6-3：氫氧化鈉 (NaOH) 水溶液導線「電阻」與「濃度」關係表】

濃度 (M)	電流值 (mA)	電阻值 (Ω)	後一項電阻值/前一項電阻值
0.0625	6.3	2381.0	
0.125	12.8	1171.9	0.51
0.25	24.3	617.3	0.52
0.5	44.8	334.8	0.53
1.0	83.1	180.5	0.54

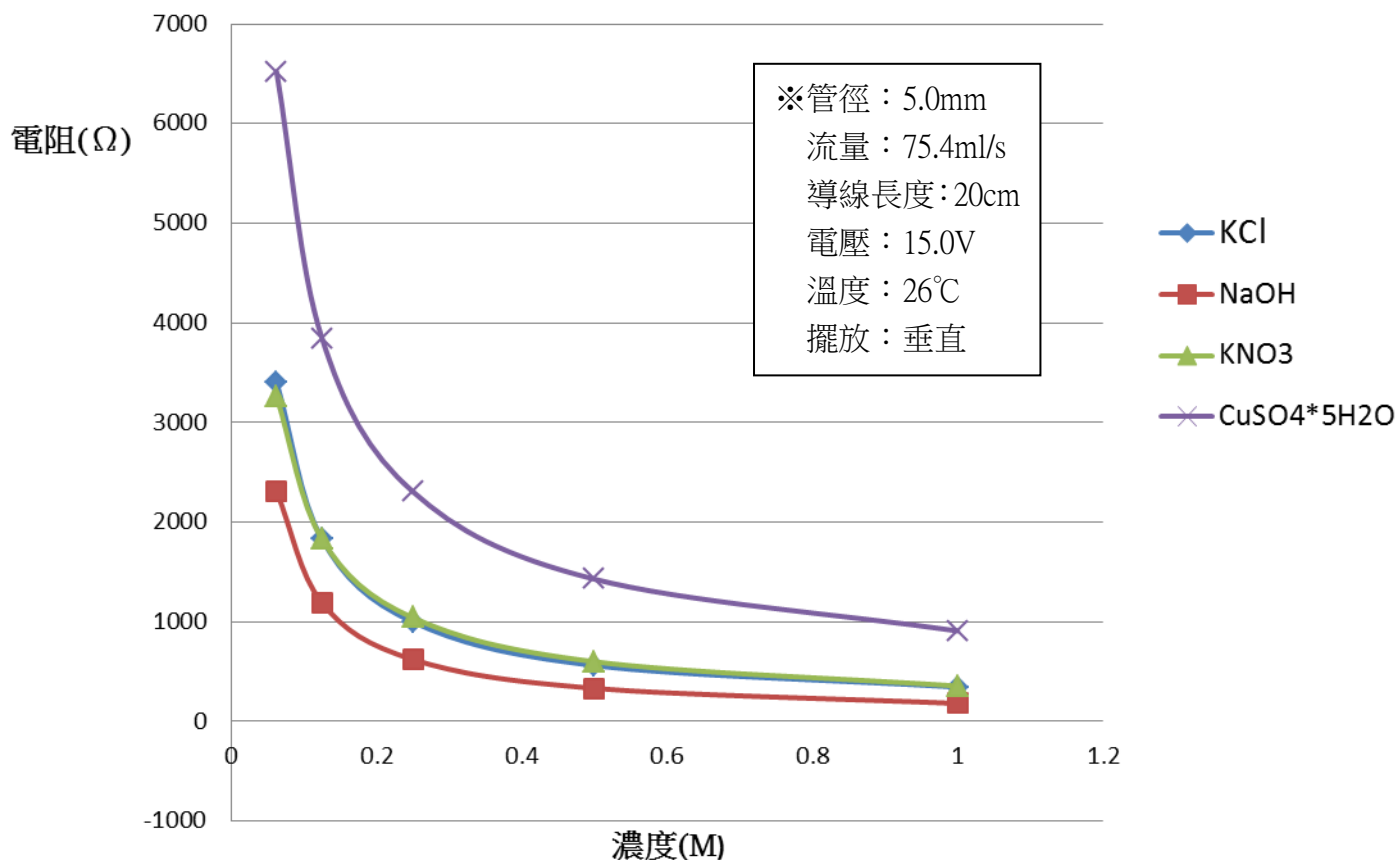
【表 5-6-4：硝酸鉀 (KNO₃) 水溶液導線「電阻」與「濃度」關係表】

濃度 (M)	電流值 (mA)	電阻值 (Ω)	後一項電阻值/前一項電阻值
0.0625	4.5	3333.3	
0.125	8.3	1807.2	0.56
0.25	14.6	1027.4	0.57
0.5	25.2	595.2	0.58
1.0	41.9	358.0	0.60

【表 5-6-5：硫酸銅 (CuSO₄*5H₂O) 水溶液導線「電阻」與「濃度」關係表】

濃度 (M)	電流值 (mA)	電阻值 (Ω)	後一項電阻值/前一項電阻值
0.0625	2.1	7142.9	
0.125	3.9	3846.2	0.59
0.25	6.7	2238.8	0.60
0.5	10.3	1456.3	0.62
1.0	16.6	903.6	0.63

(※管徑：5.0mm、流量：75.4ml/s、導線長度：20cm、電壓：15.0V、溫度：26℃、垂直擺放。)



【圖 5-6-2：不同電解質液體導線「電阻」與「濃度」關係圖】

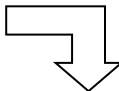
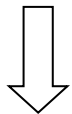
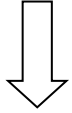
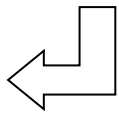
【分析與討論】：

- (一) 分析圖 5-6-2 發現，不同的電解質水溶液的濃度與其液體導線的電阻均具有負相關的關係，而且；由表 5-6-2、表 5-6-3、表 5-6-4 及表 5-6-5 中「後一項電阻值/前一項電阻值」可歸納得知：不同的電解質亦體導線的電阻隨著濃度增加而減少，但電阻減小的倍率卻隨著濃度倍數的增加而變小。
- (二) 綜合以上的實驗結果證實，液體導線的導電性質具有「依數性質」，即電解質水溶液隨著濃度的倍數增加，解離的離子數隨之增加，但；水溶液濃度變大後，解離度卻減小，故離子增加的數目變少了，所以導電率並不會隨著濃度的倍數增加而同樣作倍數的增加，反而，增加的倍數減少了，因此，濃度越大時，食鹽水導線的電阻減小了，但；減少的倍率卻變小了，故液體導線的濃度增大到一定值時，其導電性將趨於穩定不變。
- (三) 分析圖 5-6-2 另外可發現：相同濃度的 NaOH (分子量 40) 導電性最好，KCl (分子量 74.6) 次之，且與 KNO₃ (分子量 101.1) 接近，而 CuSO₄*5H₂O (分子量 159.5) 最差，顯見除了液體導線中的電解質的解離度大小之外；導電粒子種類 (離子：例如 Na⁺、K⁺ 或原子團：例如 NO₃⁻、SO₄²⁻) 與性質，皆可能影響液體導線的導電性質。

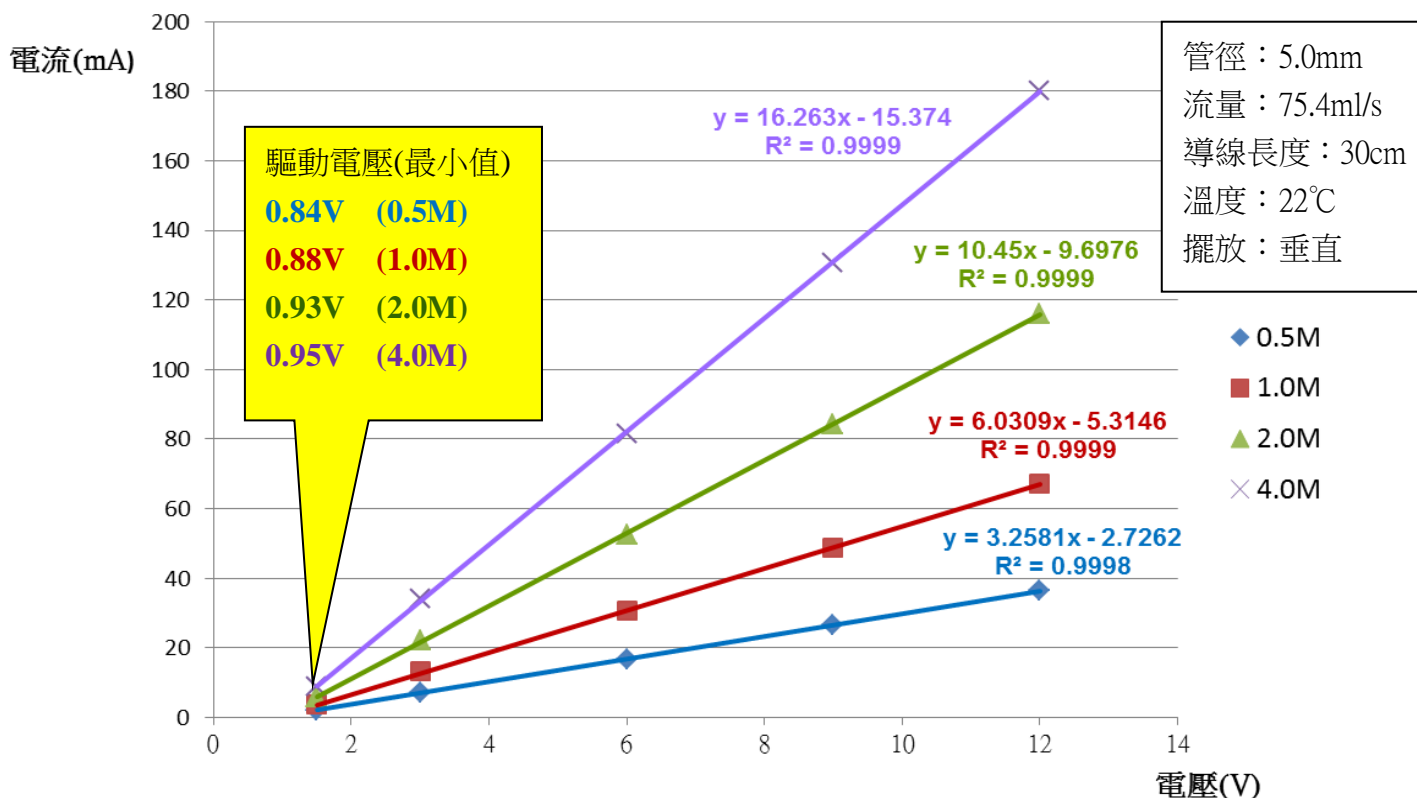
七、比較「液體導線電阻」與「歐姆式電阻」的關係

本實驗控制導管管徑 5.0mm、長度 0.3m、液體(食鹽水)溫度 24℃ 及流量 75.44 ml / s，同時將液體(食鹽水)導線垂直擺放，分別改變液體導線兩端的電壓，並採取液體(食鹽水)導線不同的濃度，總共進行 4 組實驗，測量流經食鹽水導線的電流值，且實驗採用絕熱近似的假設條件(因為每一次測量電流時間短暫，期間的溫度變化很微小，故假設測量時的溫度是固定值)，實驗計算結果統計如下表 5-7-1 及圖 5-7-1。

【表 5-7-1：液體(食鹽水)導線「電壓」與「電流」關係表】

液體(食鹽水)導線濃度 (M)	電壓(V)	電流(mA)	平均電阻 (Ω)	相鄰電阻差
0.5	1.5	2.1	431.02	 <div>-190.39</div>
	3.0	7.3		
	6.0	16.6		
	9.0	26.5		
	12.0	36.5		
1.0	1.5	3.6	240.63	<div>-97.79</div> 
	3.0	13.2		
	6.0	30.6		
	9.0	48.7		
	12.0	67.3		
2.0	1.5	5.9	142.84	<div>-49.4</div> 
	3.0	22.2		
	6.0	52.4		
	9.0	84.2		
	12.0	116.0		
4.0	1.5	8.8	93.44	
	3.0	34.2		
	6.0	81.6		
	9.0	130.6		
	12.0	180.2		

※管徑：5.0mm、長度 0.3m、溫度：22.0℃、流量 75.44 ml / s、擺放方式：垂直



【圖 5-7-1：液體(食鹽水)導線「電壓」與「電流」關係圖】

【分析與討論】：

- (一) 本實驗以不同的食鹽水濃度總共進行 4 組實驗，由以上的實驗結果分析，發現同濃度之液體導線兩端的電壓值與通過的電流值兩者俱有線性關係，經由分析圖 5-7-1，發現每組實驗結果作圖所得直線之相關係數 $R(0 < R < 1 \text{ 且 } R \div 1)$ ，即表示液體導線兩端的電壓值與通過的電流值兩者具有正相關的關係，顯示液體導線電阻與一般歐姆式電阻相似。
- (二) 實驗結果另外可發現：液體導線隨著濃度增加，直線之斜率卻減小，亦即兩相鄰的電阻值改變就減小了(另由表 5-7-1 亦發現：隨著濃度增加，電阻改變變小)。其結果同樣可推論：隨著濃度增加，垂直導線中的導電離子數目增加的數目會逐漸減少，所以液體導線的電流增加的值也就逐漸減小。因此；濃度越小的液體導線越能明顯表現出與歐姆式電阻的相似關係；而濃度越大，則越不明顯，其導電性則越趨於穩定不變。
- (三) 分析圖 5-7-1 可發現驅動液體導線導電的電壓有一個最小值(如圖 5-7-1 所示)，濃度越小的液體導線其驅動電壓越小，若驅動電壓(電位差)未達該最小值，則無法有效趨動導電離子移動，因而使液體導線無法進行導電。
- (四) 「液體導線」科學遊戲設計時，參考圖 5-7-1 的實驗結果，為了能明顯表現液體導線導電性質的合適操作條件，建議採取直流電壓 9V~18V 範圍，此直流電壓範圍驅動的液體導線導電性質變化較為明顯。

八、「液體導線」科學遊戲設計

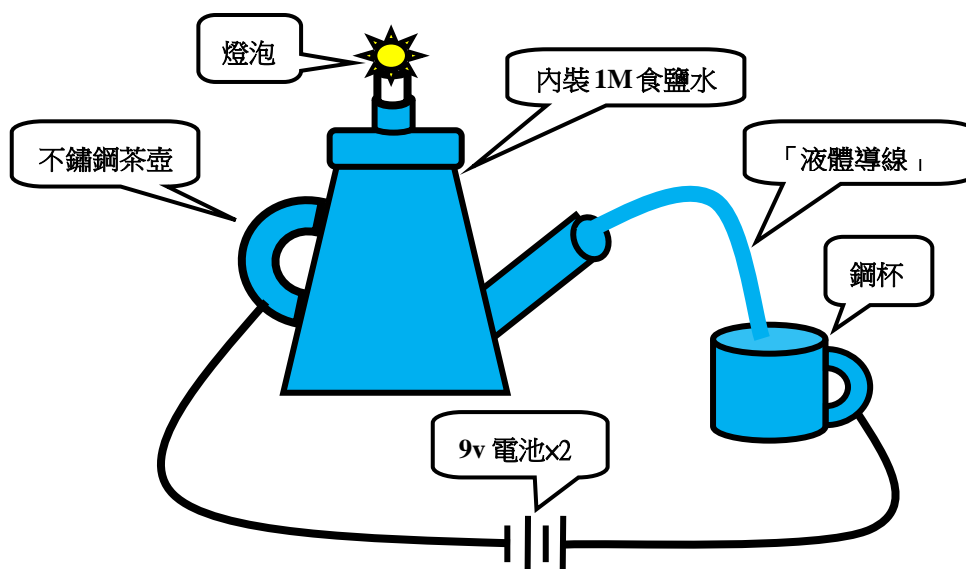
(一)目的：利用電解質水溶液作為簡易電路中的一段導線，透過垂直方向流動的電解質水溶液連接整個電路，使電燈泡發亮，而能深刻感受到科學的神奇與趣味，並思考及應用電解質導電與液體導線的原理。

(二)器材：不鏽鋼茶壺*1、鋼杯*1、燈泡（含座）*1、9v 電池（含接頭）*2、單心銅電線*1
1M 食鹽水……………1500cc。

(三)步驟：1.如下圖 5-7-1 將不鏽鋼茶壺、鋼杯、燈泡及二顆 9v 電池利用單心銅電線串接成一個簡單的串聯電路。

2.將 1M 食鹽水倒入不鏽鋼茶壺中，並蓋上茶壺蓋，將不鏽鋼茶壺提起，把 1M 食鹽水倒入鋼杯中，觀察燈泡發亮的情形。

3.改變不鏽鋼茶壺與鋼杯的距離，食鹽水溫度、濃度及傾倒食鹽水的流量大小與快慢，觀察燈泡發亮的情形。



【圖 5-7-1：液體(食鹽水)導線科學遊戲活動裝置示意圖】

(四)觀察與討論項目：

- 1.觀察食鹽水導線與金屬導線電路實驗，兩者有何不同？
- 2.倒入食鹽水後，觀察燈泡是否發亮？思考整個電路連接迴路的情形？
- 3.觀察不鏽鋼茶壺與鋼杯的距離(即：食鹽水導線的長短)、食鹽水溫度、濃度、傾倒食鹽水的流量大小及快慢，與燈泡明亮程度有沒有關係？
- 4.綜合以上的觀察結果，食鹽水在整個電路中扮演何種角色，它與電路導電性質有何關係？

陸、結論

一、針對「液體導線」的基本導電性質，經由實驗結果探討，得到以下六點結論：

- (一) 液體導線內的導電離子移動並沒有明顯受到重力作用的影響，因此；液體導線的擺放方式（水平或垂直），並不會影響液體導線的導電性質。
- (二) 液體導線內導電離子於導電時的移動情形並沒有明顯受到整個導電液體運動狀態的影響，因此；液體導線內的液體流動方式（流動或不流動），並不影響液體導線的導電性質。
- (三) 液體導線的溫度越高，其導電性越好(電阻越小)，其「電阻」與「溫度」具有負相關的關係，其與一般的金屬導線(歐姆式電阻)隨著溫度越高，電阻越大的性質明顯不同。當溫度越高，液體導線的解離度增加的值也就逐漸減小，因此；在控制其他變因的條件下，不斷增加液體溫度，液體導線的電阻值預測會趨近於一個最小的固定值。
- (四) 濃度越小的液體導線，其電阻與導線的長度越能明顯表現出正相關的關係，此部分與一般歐姆式電阻導電性質相同，亦意謂著串聯液體導線，其電阻將會隨著串聯長度具有正相關的關係，此外；當液體導線的濃度增大至某個值時，其導電的電阻將不再隨長度而改變，預測其將趨近於一個穩定的大小值(即保持固定的導電性質)。
- (五) 濃度越小的液體導線，其電阻與截面積越具有負相關的關係，此部分與一般歐姆式電阻導電性質相同，亦意謂著並聯液體導線，其電阻仍會隨著並聯液體導線而具有負相關的關係，此外；當液體導線的濃度增大至某個值時，其導電的電阻將不再隨截面積而改變，預測其將趨近於一個穩定的大小值(即保持固定的導電性質)。
- (六) 液體導線的電阻值與液體導線濃度兩者具有負相關的關係，而且明顯具有「依數性質」，隨著液體導線的濃度逐漸增大時，其導電性將逐漸趨於穩定不變。另外；比較多種電解質的液體導線實驗結果，顯見除了液體導線中的電解質的解離度大小之外；導電粒子種類(離子：例如 Na^+ 、 K^+ 或原子團：例如 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) 與性質，皆可能影響其導電性質。

二、比較「液體導線電阻」與「歐姆式電阻」的實驗結果發現下列二點結論：

- (一) 濃度越小的液體導線，其兩端的電壓值與通過的電流值兩者具有明顯正相關的關係，此顯示濃度越小的液體導線電阻與一般歐姆式電阻相似；而濃度越高的液體導線的導電性則與歐姆式電阻的相似關係越不相似，結果顯示液體導線具有「依數性質」。

(二) 驅動液體導線導電的電壓有一個最小值，濃度越小的液體導線，其驅動電壓越小，若未達到最小驅動電壓，則無法有效趨動導電離子移動，因而使液體導線無法導電。

三、綜合本研究探討液體導線基本導電性質的實驗結果，可提供相關趣味科學遊戲設計參考
有下列二點結論：

(一)明顯表現液體導線導電性質的合適操作條件如下：

溫度	長度	濃度	直流電壓	傾倒流量
20°C~60°C	10cm~30cm	0.5M~2.0M	9V~18V	大小(粗細)與快慢

透過燈泡的明暗程度，帶領觀眾認識液體導線基本導電性質。

(二)藉由遊戲演示可以提供進一步思考：「液體導線」與「金屬導線」兩者之間的比較及更多深入的探討。

四、本研究探討「液體導線」的導電性質的實驗結果與應用：

雖然限於場地、環境及儀器的....等因素限制，皆會影響觀察記錄結果的準確度，且測量的誤差亦不可避免，然而；綜合實驗的定量及定性的分析結果，可清楚認識「液體導線」的基本導電性質，並適合提供於不同一般狀況的電路導線之設計思考與創意應用。

柒、研究展望

本研究針對探討「液體導線」導電性質所設計的實驗，只能針對本研究實驗的器材規格範圍內進行實驗探究，因此建議未來在場地及儀器許可下，兼顧每個實驗細節，可針對「長度更長」、「濃度更高」或更多「不同的電解質」水溶液導線...等變因，持續進一步相關研究。

捌、參考資料

1. 王雪梅、劉秀英（1996）：物理化學，文京圖書，P.436-449。
2. 黃加定（1994）：物理化學實驗，正中書局，P.71-75
3. T.R.Dickson 著、黃芳裕、尹淑萍、廖金閔譯（2001）：普通化學，五南圖書，P.313-348。
4. William H.Nebergall、Henry F.Holtzclaw, Jr.、William R.Robinson 著、潘家寅譯（1998）：大學化學上冊，台灣中華書局，P.428-536。
- 5.第五冊 自然與生活科技課本 第四章 電，南一出版社，P118-143。
- 6.第四冊 自然與生活科技課本 第三章 電解質，南一出版社，P56-67。

【評語】 030118

電解液須補充，較麻煩，若改成迴圈，自動循環，效果更佳。

若能利用水力簡易發電機來代替電池，加裝 LED 鳴蜂器，效果會更明顯。團隊合作有默契，值得嘉許。