

電解質水溶液導電度變因之探討暨亞佛加厥常數之測定

高中組化學科第三名

省立武陵高級中學

作者：林明輝、莊英銓
孫德萱、葉榮冠

指導教師：鄒碧參

第一部分：電解質水溶液導電度變因之探討

一、動機目的：

化學課本中曾述及電解液導電度隨濃度增高而變大，然而導電度是否隨濃度升高而無限上升呢？又除濃度因素外，是否有其它變因？其影響又如何？故欲藉此實驗作一番探討，俾使同學們對電解的導電度能有一全盤的瞭解。

二、設計實驗：

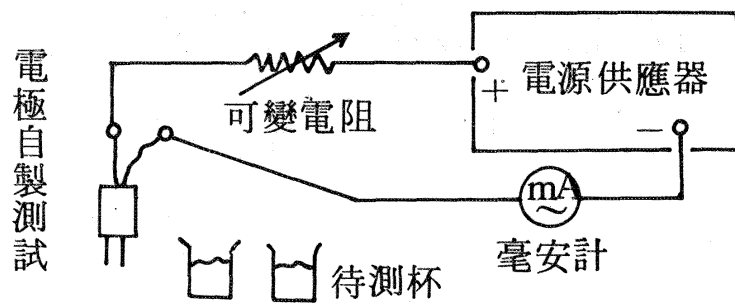
- (一)針對濃度、溫度，對導電性的影響及不同離子之間的導電關係。
- (二)固定電極距離，表面積，則以通過電流強度為電解質溶液之相對導電度。
- (三)觀察，探討各變因下導電度大小，並作結論。

三、儀器與藥品：

電源供應器、石墨棒、恆溫水域、電磁攪拌器、可變電阻、毫安計、溫度計、椎形瓶（250 ml）、燒杯（250 ml, 50 ml）、秒錶、U型管、滴定管、鐵架、電線、酒精燈。

LiCl, NaCl, KCl, $Mg(NO_3)_2$, $Ca(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$, $Ba(NO_3)_2$, Na_2SO_4 , NaOH, NaI, NaBr, Na_2CO_3 , CH_3COONa , KNO_3 , CH_3COOH , $NaNO_3$ ，廣用試劑，洋葉粉。

四、實驗步驟：



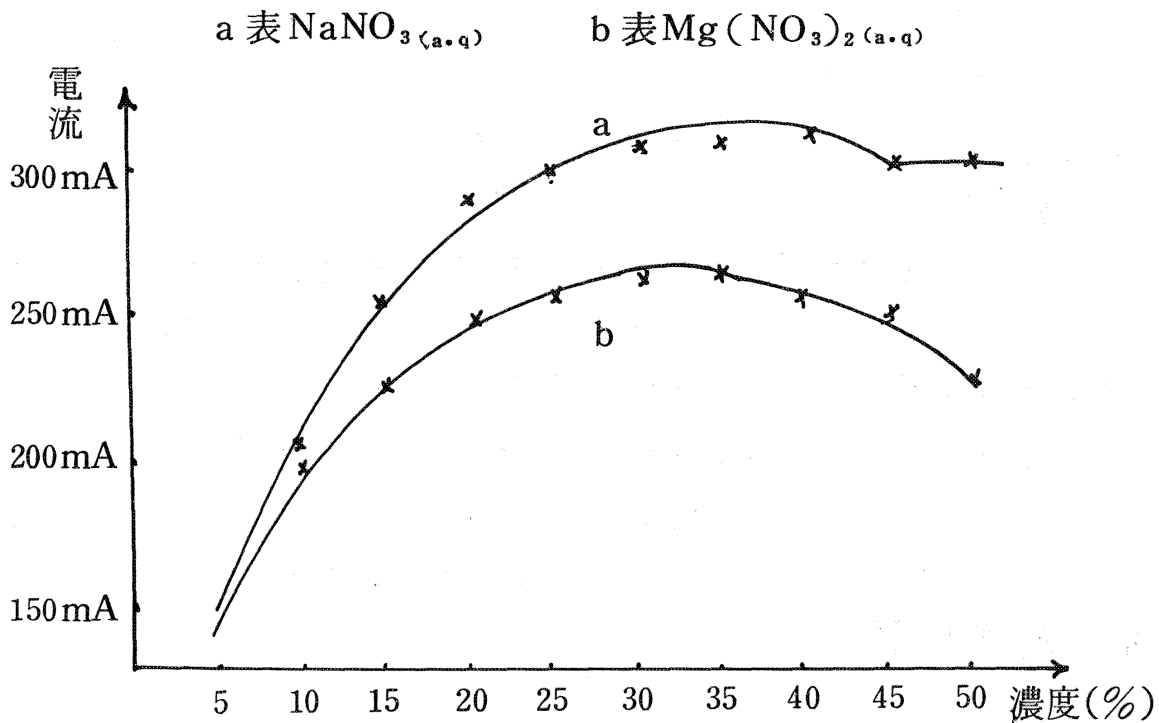
圖：測試相對導電度（mA大小）裝置線路

(一) 溶液導電度與濃度變因之關係

1. 實驗裝置：

- (1) 如圖將線路配置好，另取 NaNO_3 及 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 配成 50ml，濃度由 5%，10%，15%……50%，之溶液各二杯，然後使用裝置測其電流大小。
- (2) 另取高純度（99%）之 CH_3COOH 10 g 於燒杯置電磁攪拌器上，另以滴定管裝蒸餾水每 10 ml 滴定一次，並記錄電流大小。

2. 測得各濃度溶液相對導電度（以mA為基）數據如下：



$\text{NaNO}_3(a.q)$ 和 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2(a.q)$ 之相對導電度（mA大小）對濃度之關係圖

表一 利用滴定測定 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(a,q)}$ 相對導電度對濃度之關係數據

水的體積	0	10ml	20ml	30ml	40ml
CH_3COOH 之溫度	99%	50%	33.3%	25%	20%
mA	0.1	2.06	4.6	5.4	5.8

50ml	60ml	70ml	80ml	90ml	100ml
16.7%	14.3%	12.5%	11.1%	10%	9.1%
6.0	6.2	6.3	6.3	6.1	6.0

(二) 電解質水溶液導電度對溫度變因之關係

1. 取 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 及 KNO_3 ，配置成 200 ml，8% 之溶液各二杯，分別逐次將燒杯置於電磁攪拌器上，固定轉子轉速，插入測試電極及溫計，開啓加熱旋鈕，並於每昇高 5°C 記錄其電流。
2. 取 KNO_3 配成 10% 溶液加入 1% 之洋菜及數滴廣用試劑，分置兩 U 型管中，各插入石墨電極，一置於室溫 (14°C) 另一置於恆溫水槽保溫 (44°C) 以 16V 通電 40 min 後，觀察色環移動。
3. 測得數據如下：

表二

藥品 \ mA / 溫度	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	始擺動，呈不規則。超此溫度後，電錶指針開
	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ①		0.4	0.47	0.57	0.65	0.74	0.866	0.92	0.99	1.05	1.12	
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ②		0.48	0.52	0.62	0.7	0.79	0.87	0.97	1.02	1.07	1.1	1.13	
平均值		0.44	0.495	0.595	0.675	0.765	0.855	0.945	1.005	1.06	1.11	1.145	
KNO_3 ①	0.51	0.59	0.69	0.75	0.9	1.05	1.19	1.3	1.45	1.59	1.7	1.84	
KNO_3 ②	0.53	0.61	0.70	0.76	0.93	1.04	1.21	1.31	1.47	1.6	1.71	1.86	
平均值	0.52	0.60	0.695	0.755	0.915	1.045	1.20	1.305	1.46	1.595	1.705	1.85	

溫度	cm 電極	陰 (H ⁺)	陽 (OH ⁻)
	室溫 (14°C)		1.9
小域 (44°C)		2.8	3.6

表三 簡易測量離子遷移速率：高、低溫下OH⁻及H⁺色環移動距離表

註：色環實驗係利用KNO₃水溶液電解時，陽極產生OH⁻，陰極產生H⁺，遇廣用試劑則陰極產生淡紫色，陽極產生淡粉紅色，藉以觀察離子移動情形。

(三)導電度與陰陽離子差異之關係

1.實驗裝配：

(1)取LiCl, NaCl, KCl, Mg(NO₃)₂, Ca(NO₃)₂, Sr(NO₃)₂, Ba(NO₃)₂, Na₂SO₄, NaOH, NaI, NaBr, Na₂CO₃, CH₃COONa, 分別配置成250ml, 5%之溶液各1瓶, 取多個50ml小燒杯, 每一次各試液約倒出50ml, 以測其電流大小。

(2)另取NaNO₃, Mg(NO₃)₂, Al(NO₃)₃分別配置成250ml, 5%溶液各一瓶, 如上法(1)測其電流大小。

2.測得各數據如下：

表四 固定陰離子分別測出IA及IIA族陽離子之相對導電度

mA 次數	藥品	LiCl	NaCl	KCl	Mg(NO ₃) ₂	LA(NO ₃) ₂	Sa(NO ₃) ₂	Ba(NO ₃) ₂
	1		137	153	160	126	131	107
2		130	139	149	110	111	105	94
3		115	125	130	97	100	103	85
平均		127.3	139	146.3	111	114	105	96.3

表五 固定陽離子，各陰離子之相對導電度

mA 次數 \ 藥品	Na ₂ SO ₄	NaOH	NaCl	No I	NaBr	NaCo ₃	Ch ₃ LooNa
1	92	210	150	135	130	139	69
2	103	206	140	130	145	135	66
3	99	190	138	125	129	140	71
平均	98	202	142.7	130	134.7	137.7	68.7

表六 對不同電荷數之陽離子所測得之相對導電度

mA 次數 \ 藥品	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Al(NO ₃) ₃
1	135	139	148
2	127	130	141
3	124	126	140
平均	128.6	131.7	143

※注意事項：

1. 電極之距離及其與溶液接觸之表面積用木片及膠帶固定，使其條件一定。
2. 磁石攪拌器之攪拌速率須固定，使其環境條件一致。
3. 測量離子遷移速率之實驗中，洋菜膠不可太過凝固（不要放太多），以免電解時壓抑氣泡而阻隔電極使電流變小。

五、結果與討論：

(一) 由解質水溶液的導電度隨溶液濃度增加而升高，但到達一頂點後又下降。

1. 電解質水溶液導電乃因水中陰陽離子攜帶電荷於兩極間傳遞，故產生電情形。
2. 電解質水溶液中若陰陽離子數目增加，則攜帶電荷數亦增加，故導電度會增加。

3. 另一方面若水溶液中，陰陽離子數目增多，則其粒子間的碰撞次數加大且互相靠近，相互間引力亦增加，使得形成阻礙陰陽離子通過，故導電相形會因此減低。
4. 當溶液由無限稀釋濃度漸增時，因離子間距離尚大故 2. 之趨勢遠優於 3. 故導電度漸增，但濃度達一程度時，則彼此距離短。3. 的趨勢漸優於 2. 的趨勢，故導電度漸減，因此產生如實驗圖形，導電度（相對）線有一高峯。

(二) 電解質水溶液的導電度隨溶液溫度升高而變大。

1. 我們由離子遷移速率對溫度做一簡單實驗，知溫度愈高則離子移動速率愈快，相對的將電子早些送去，故導電度隨溫度升高而變大。
2. 但實驗時若溫度超過 $75^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 時，則電流指針左右晃動，很不規則，無法測定是其電流（時高時低）蓋討論後解釋如下：
 - (1) 溫度升高則離子遷移速率變快。
 - (2) 溫度升高則離子本身動能亦增加。
 - (3) 初加溫之時，因(2)所述動能尚小，其間碰撞阻礙趨勢尚不足勝於(1)所述的離子行動變快趨勢，故導電度平穩地上升，但達到高溫時，則(2)所述的動能太大，以至打破(1)所述趨勢，故呈不規則。

(三) 電解質水溶液的導電度與陰陽離子之關係

1. 由實驗數據得導電度

$$\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+, \text{Ba}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+}$$
2. 影響離子遷移因素包括離子質量與水合作用大小及其帶電荷數和其粒子間相互作用吸引力大小又水合作用正比（電荷數 / 離子半徑）故電荷數一定，水合作用反比於離子半徑大小。
3. 由 2. 不難了解 $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+$ ，因離子半徑為 $\text{Li}^+ (0.61) < \text{Na}^+ (0.95) < \text{K}^+ (1.33)$ ，故水合作用 $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ，又其三者離子數目 $\text{Li}^+ : \text{Na}^+ : \text{K}^+ = 5 : 2 : 1$ ， \therefore 水合作用影響趨勢大於離子數目的影響。（離子間相互作用力）
4. 實驗結果 5 % 之 $\text{Ba}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+}$ 若依無限稀釋

及上 2. 所述應 $Ba^{2+}(1.35) > Sr^{2+}(1.131) > Ca^{2+}(0.991) > Mg^{2+}(0.65)$ 但 $Ba(NO_3)_2$ 之溶解度極小，5% 幾乎飽和，故其間作用引力必大，又其離子質量特重，離子數量又較前者小很多，故於 5% 時，導電度反低，另 Sr^{2+} 之水合作用與 Ca^{2+} 接近（因其離子半徑很接近）又離子重甚於前者，離子數量低，溶解度亦低。∴離子間作用大，而 Ca^{2+} ， Mg^{2+} 之溶解度大，分子間作用小，又水合作用差距大。∴實驗結果 $Ba^{2+} < Sr^{2+} < Mg^{2+} < Ca^{2+}$ 。

5. 除陽離子影響外，由表示亦可見到其陰離子不同時，導電度也跟著改變而有所不同。
6. $Al^{3+} > Mg^{2+} > Na^+$ ，因離子半徑 $Al^{3+}(0.5) < Mg^{2+}(0.65) < Na^+(0.95)$ ，故水合作用 $Al^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ 又電荷數愈大者，其陰離子—陽極間及陽離子—陰極間引力增加，故遷移速率變快，導電度也較大。

第二部分 亞佛加厥常數之測定

一目的：

因亞佛加厥常數是化學上常用的數值，且值十分龐大，而它的測定法亦有數種，如：X-ray 繞射法，放射性元素蛻變法……等。而本實驗是利用簡易的電解法，以增加同學對此數值進一步的認識。

二儀器與藥品：

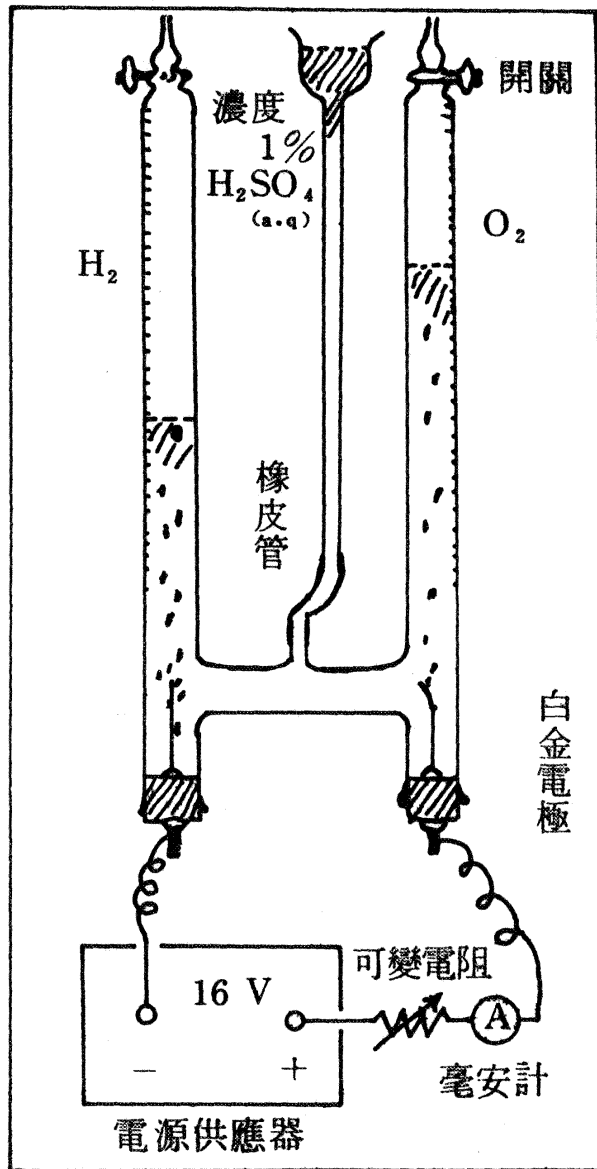
Hofmann 電解裝置、毫安計、電源供應器、可變電阻、硫酸。

三步驟：

- (一) 利用通過硫酸水溶液中電子之莫耳數 = 被陰極還原所出氫離子之莫耳數的關係式，來求亞佛加厥常數。
- (二) 配置濃度 1% 硫酸溶液，倒入電解裝置，再如圖裝架起來。
- (三) 通電數分鐘後，溶液中氫氣飽和時，排去多餘氣體，開始通電，並調整可變電阻使電流固定於 0.05 安培。
- (四) 等氫氣至適量時，切斷電源，並記錄氫氣體積，時間。

表七 實驗環境狀況

室壓，室溫	飽和蒸氣壓	莫耳體積
755.8 mm-Hg, 15°C	12.8 mm-Hg	24171.45 ml
756.6 mm-Hg, 14°C	12.1 mm-Hg	24038.99 ml



Hofmann 電解裝置

表八 亞佛加厥常數之推求值

	室壓 (mm-Hg)	室溫(°C)	時間(分)	H ₂ 體積 (ml)	No
1	775.8	15	75	29.4	5.781 x 10 ²³
2	755.8	15	75	29.0	5.861 x 10 ²³
3	756.6	14	80	30.6	5.892 x 10 ²³
4	756.6	14	80	30.8	5.854 x 10 ²³
5	756.6	14	76	29.6	5.786 x 10 ²³
平均					5.835 x 10 ²³

註：實際值 No = 6.023 × 10²³

誤差 = 3.12 %

計算：例(1) 電子莫耳數 = 氫離子莫耳數

$$\frac{t \times I}{1.6 \times 10^{-19} \times N_0} = \frac{V_{H_2} \times 2}{V_{mole}}$$

$$\Rightarrow \frac{(75 \times 60) \times 0.05}{1.6 \times 10^{-19} \times N_0} = \frac{29.4 \times 2}{24171.45}$$

$$\Rightarrow N_0 = 5.781 \times 10^{23} \dots\dots\dots \text{同理推求實驗(2)(3)(4)(5)}$$

六、結 論：

(一)實驗中 Hofmann 裝置有所變異：將中間之薊頭漏斗與裝置分離而用橡皮管連接，如此於測量氫氣體積時，不須再測量液差，可直接調整液面使其同高，而亦可減少手續上之誤差。

(二)實驗之值較實際值為小，其誤差生成之因素可分為由測量氫氣體積及室溫室壓上的人為誤差，和由儀器中的電阻與刻度上的儀器誤差，兩者影響而產生。

評語：

本作品包括二部分：

第一部分：以常見的鹽類與酸爲例設計實驗，證實電解質水溶液的導電度隨溶液濃度增加及溫度升高而變大。

第二部分：以簡單的電解法利用通過硫酸溶液中電子之莫耳數及析出氫之莫耳數推求亞佛加厥常數，誤差不大。

本研究數據相當完整，表達生動，教學上有價值。