

# 電解實驗的探討

## 國中教師組化學科第二名

台北市立建成國民中學

作者：楊訓庭、林福興

### 一、研究動機

國中課本第十三、十四、十五章有關電解質的電解實驗，作者多年在指導學生做此實驗時，發現部份課本上電解實驗的效果不太理想，希望能夠設法改良或過去作者所發現的新方法再加以研究改進使更趨向理想，以提高學生學習興趣增進教學效果。並且在電解實驗中發現了電解時所引起化學發光現象，希望藉此研究加以探討，以達到自我進修及教學相長之目的。

### 二、研究項目

#### 1. 電解實驗的改進

- (1) 電解質離子移動實驗裝置的改進。
- (2) 測量電解質，電解前後質量變化實驗的改進。
- (3) 食鹽水電池的新裝置。
- (4) 電解水（或其他電解液）實驗裝置的改進。

#### 2. 化學發光反應的探討。

#### 3. 電解的應用

- (1) 交直流電化學鑑別法。
- (2) 夫來明左手定則實驗裝置。
- (3) 轉動的溶液。

### 三、儀器、材料

壓克力板	三用電表
重鉻酸銅	變壓器
玻璃紙（Cellophane）	碘化鉀
鋁片	酚酞

精密天平	蒸發皿
食鹽	直流電源
鎳線	食鹽
光電池	碳棒
硫酸鈉	氨水
U型磁鐵	銅片
氣仿（壓克力黏接劑）	試管
氫氯酸	草酸
過錳酸鉀	澱粉
硫酸銅	細銅絲
鋅片	

#### 四、研究探討

##### 1. 電解實驗的改進

###### (1) 電解質離子移動實驗裝置的改進。

改進前探討：

方法①：國中化學課本實驗 13-2 以碳棒為電極，通 6 V 直流電流，電解裝入燒杯中之食鹽水注意導電時有沒有化學反應發生。

方法②：國中化學課本第十三章電解質示範實驗：

「在 U 形管中先裝入約三分之一的 2 M 氫氯酸，然後，用吸管吸取重鉻酸銅溶液。把吸管的下端插到 U 形管底部，使溶液緩緩流入。這樣可以在 U 形管中，清晰的看到兩溶液的界面，輕輕抽出吸管，再在兩隻管中各插入一隻附有木塞的碳極，並使碳極下端浸入氫氯酸中約 1 cm。把裝備好的 U 形管，用廣用夾固定在鐵架上。再把 20 V 的直流電用導線與兩隻電極相連。先讓學生分辨兩個碳極中，那一極是陽極，那一極是陰極。通電 5 至 10 分鐘後，觀察陽極支管中界面以上有那一種顏色出現；陰

極枝管中有那一種顏色出現。30 分鐘後再看兩隻管中有顏色的溶液有什麼改變？」

方法③：國中化學課本第十三章電解質學生實驗：

「把濾紙剪成和顯微鏡載片一樣大的紙條，放在載片上，用 0.05 M 稀硫酸滴在紙上，使它與載片黏接，並積水在紙條上。用兩條導綫上的銅夾，分別夾住載玻片和紙條的兩端，並使導綫與電池組連接。最後，在紙條中央放一小粒過錳酸鉀晶體。

通電 20 V 數分鐘後，觀察紫紅色的過錳酸根向那一極游動。將兩個銅夾交換位置，使陰、陽兩極交換，再作相同實驗，看看紫紅色向那一極游動？」

缺點：

方法①：實驗 13-2 電解食鹽水，以碳棒為電極，通 6 V 直流電流，陰、陽極反應因產物溶液均無色，在表面上無顯著變化產生，學生學習效果較差。

方法②：用吸管吸取重鉻酸銅溶液，使溶液流入 U 形管底部時，因液體易流動，如操作不慎易攪混，無法清晰看到兩溶液之界面，通電時間長，反應較慢。

方法③：學生操作難以如課本實驗操作之要求積適量水在紙條上，並使它與載片黏接。若積水太少電流不易流過，若積水太多，放入一小粒過錳酸鉀晶體即溶解於稀硫酸中向四周擴散，無法達到所要求之效果。

改進後探討：

方法①：a 利用透明壓克力板，製成長 13 cm，寬 7 cm、高 6 cm 之長方形盒子，中間用中空壓克力板將方形盒長 13 cm 隔成 3 cm，5 cm，3 cm 三室，另取三片等大的中空壓克力板緊貼玻璃紙（cellophane），用夾子夾緊在原先就貼緊在方形盒上的三片中空壓克力板上，使成三室，中室可以置重鉻酸銅溶液，兩側室置入 2 M 氫氯酸。

兩端以銅片為電極，通 20 V 之直流電源，可以很快的觀察出藍色  $\text{Cu}^{2+}$  向陽極移動，而橘紅色的  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  離子向陽極移動。(如圖 1)

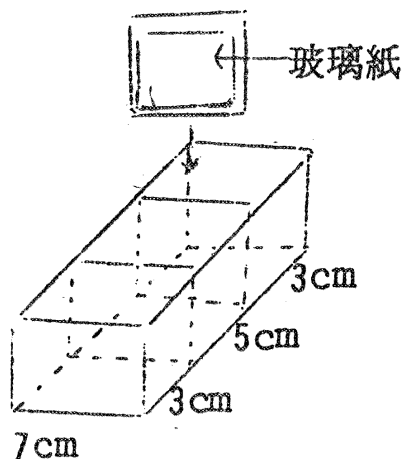
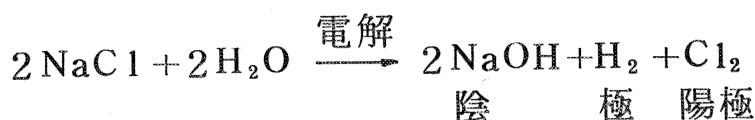


圖 1.

b 裝置同上，以鋁片為電極，三室均放置食鹽水加酚酞，通電後

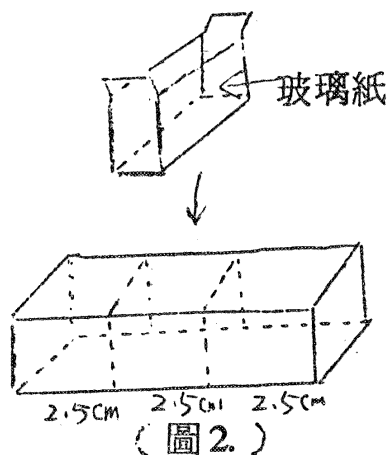
，接近陰極的一室，將產生粉紅色的反應，可證明有氫氧化鈉產生之故，另兩室則無。顏色顯明效果良好。

電解食鹽水之方程式如下：



c 裝置同上，中室置放過錳酸鉀溶液，兩側室置放 0.05 M 稀硫酸溶液，以銅片為電極，通 20 V 電壓之電流，就可看到紫紅色過錳酸根離子向陽極移動。

方法②：取一長 7 cm，寬 5 cm，高 2 cm 之透明壓克力盒，另取一片長 5 cm，寬 2.5 cm，高 2 cm 之透明塑膠片，周圍包以玻璃紙，置入壓克力盒之中央，使壓克力盒等分成三室(如圖



2 )，中室放置 10 % 硫酸銅溶液兩側室各置放氨水 ( 12 % )，兩端以鋁片為電極，通以 20 V 電壓之電流，可清楚看到銅離子向陰極移動，因銅離子與過量氨水作用所產生的深藍色  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  錯鹽離子，將更易看出陰陽極反應之結果。

方法②亦可使用在方法①上的各項實驗中。

優點：

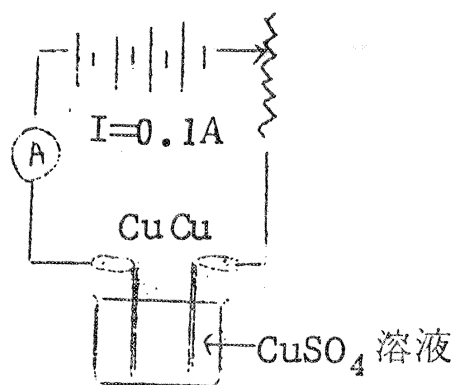
- ①電解槽陰、陽兩極溶液用玻璃紙隔開，因玻璃紙具半透膜之功用，通電後，陰離子滲過半透膜向陽極移動，陽離子滲過半透膜向陰極移動，使溶液不致於混合，容易觀察比較操作方便。
- ②以金屬片為電極，較無以碳棒為電極的黑色雜質出現。
- ③過去作者亦曾作過洋菜 ( agar ) 加硫酸銅等電解質作解離實驗，離子移動，較不易雜混，但反應乃嫌太慢。綜合效果仍以用玻璃紙隔開電解槽最好。

(2)測量電解質電解前後質量變化實驗的改進。

改進前探討：

方法①：國中化學實驗 14-1 裝置如圖 3

a 把硫酸銅溶液倒入小燒杯中約  $\frac{2}{3}$ ，並把兩枚銅片用電極架夾住，插入溶液中，用作電極，使銅片約有  $\frac{2}{3}$  浸在溶液中，用導線把電池組、安培計、電



(圖 3.)

阻器及電極，調整電阻器，使安培計上指針指在 0.1 A 上電解約一小時，其間時時調整電阻器，保持電流強度為 0.1 A，停止電解時，即刻將時間記錄下來。

b 取出二片陰極，依次用蒸餾水、乙醇及丙酮洗乾淨，乾燥後，再用天平分別稱重並記錄下來。

方法②：國中化學實驗 14-2 電鍍鎳，裝置如上圖 3。電鍍完畢後，以蒸餾水沖洗，再在熱空氣中乾燥，靜置一日，使鍍層硬化，不可用手撫摸。

缺點：測量電解前後陰極質量之變化，依次需用蒸餾水、乙醇及丙酮洗乾淨，再在熱空氣中乾燥，靜置一日，手續繁雜，費時而且在乾燥前清洗不少心，被鍍物或陰極所增之質量易被破壞而損失，影響實驗之準確性。

改進後探討：

方法：利用精密天平，將燒杯、電解液、陽極之金屬片及導線上之質量利用天平上之托盤托住使質量不致影響天平的測量。而陰極之金屬片連接細導線完全浸入電解液中，但不得接觸燒杯之杯

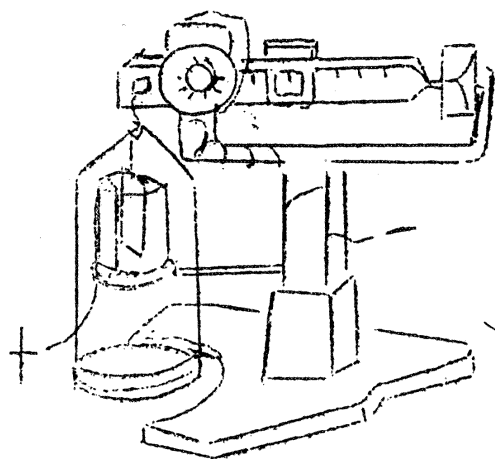


圖 4.

底，並設法將導線懸掛於天平秤鉤上。連接於兩極之導線接上直流電源之後，調整可變電阻器，使電流保持一定，由精密天平上之刻度之變化，可直接測出電解前後陰極金屬片質量增減的變化情形。（如圖 4）

優點：利用精密天平，直接可以測出電解後，金屬片質量的增減，無須清洗，乾燥等手續，操作方便，數據精確，雖金屬片浸入液體中受有浮力，但增減的質量不多，且金屬之密度大增減之體積甚小，影響不大。但析出之質量較大時，應考慮浮力所產生之影響。

實驗實例：

通 0.1 A 之直流電源於電解液為 0.1 M 之硫酸銅溶液，

陰陽極均以銅片為電極，將陰極銅片完全浸入溶液中，  
由天平直接測得陰極在一定時間內質量變化的結果：

結果①：通電前時間 15時59分00秒 陰極銅片質量  
10.31 g

通電後時間 18時33分23秒 陰極銅片質量  
10.62 g

通電時間 2時34分23秒 ( 9263 秒 )  
銅片增加質量 0.31 g

理論值陰極銅片應增加  $Q = It$

$\therefore Q = 0.1 \text{ 安培} \times 9263 \text{ 秒} = 926.3 \text{ 庫倫}$

$$\frac{926.3}{193000} \times 63.5 = 0.305 \text{ ( g )}$$

理論值與實驗值比較實驗值多 0.005 g，因天平最小刻  
為 0.01 g，故可謂非常接近。

結果②：通電前時間 9時10分00秒 陰極銅片質量  
10.62 g

通電後時間 19時10分00秒 陰極銅片質量  
11.69 g

通電時間 10時00分00秒 ( 36000 秒 )  
銅片增加質量 1.05 g

理論值陰極銅片應增加：

$Q = 0.1 \text{ 安培} \times 36000 \text{ 秒} = 3600 \text{ 庫倫}$

$$\frac{3600}{193000} \times 63.5 = 1.184 \text{ g}$$

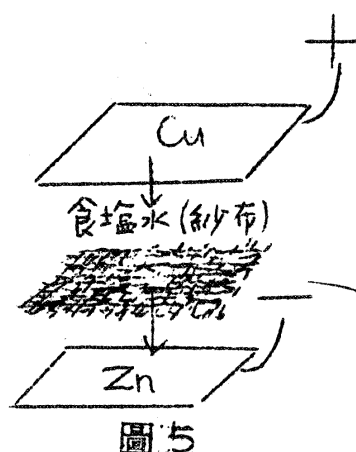
$$\text{析出銅片之浮力} \frac{1.184 \text{ g}}{8.9 \text{ g/cm}^3} = 0.136 \text{ g}$$

( 銅的密度  $8.9 \text{ g/cm}^3$ ，硫酸銅之密度用比重計測  
得為 1.02 )

實驗後陰極銅片增加之質量 + 理論值析出銅片之浮力  
：  $1.05 + 0.136 = 1.186 \text{ g}$  與理論值非常接近。

### (3)食鹽水電池的新裝置

方法：取等大面積之鋅片與銅片各一，中間隔以充滿潮濕飽和食鹽水之紗布，鋅片連接一導線即為食鹽水電池之陽極（負極）銅片連接一導線即為陰極（正極）這就是食鹽水電池的新裝置如圖 5。



- 探討：
- ①過去食鹽水的電池，係以素燒瓷器，隔開陰陽兩極，素燒瓷器取得不易。
  - ②前年（21 屆）全國科展作者曾以鋅銅為電極，以鳳梨果實為電解液製成的鳳梨電池而運轉電子鐘獲得優勝。然鳳梨易腐敗為其缺點。
  - ③綜合上述兩種方法之優點，製成之食鹽水電池以充滿食鹽水之紗布取代素燒瓷器及鳳梨果實，較經濟，材料取得容易，不腐敗，使用長久。

實驗實例：取 20 cm × 10 cm 銅片連接一導線，即為正極，銅片上置放二層大小相等沾滿飽和食鹽水之紗布，紗布上再置放 20 cm × 10 cm 的鋅片夾住一導線，即為負極，緊壓測得其電壓約為 1 V 電流 50 mA 至 100 mA，可連接在電晶體電子鐘上，使時鐘正常運轉。兩極面積愈大電流將愈大。（參考 21 屆全國科展由作者指導國中化學學生組作品利用蔬菜水果製作電池的研究）。

### (4)電解水（或其他電解液）實驗裝置的改進

方法：取一方形透明壓克力槽上層 3/5 表面封閉，2/5 未封閉，上層表面封閉處留置兩出口，出口大小剛好可以緊密插入連有橡皮環刻有刻度的試管，試管內插入電極（鎳線較佳參考 22 屆全國科展作者之作品國中



化學幾項有危險或效果欠佳實驗的改良) 使用時可將壓克力槽側立，倒入電解液，溶液將充滿試管及電解槽，再將電解槽正立，並注意水位應高於試管底部，因大氣壓之作用，試管內之液體將不致於流出。再將兩電極通電，氣體即可產生而浮於試管頂上。如圖 6

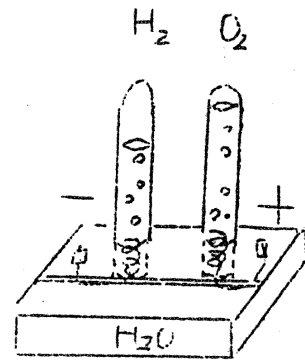
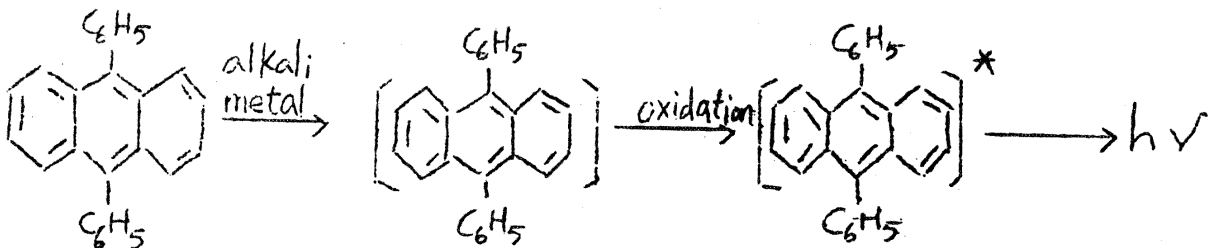


圖 6

- 探討①：利用排水集氣法收集氣體操作中，手不必接觸到電解液，以免有危險性的電解液違害操作者。
- ②：適合於化學初學學生測量電解水，陰、陽極產生氣體的定量實驗，操作方便，清洗容易。
- ③：如果將收集氣體之試管，改用上端塞有橡皮塞的壓克力管，試管收滿氣體後，將橡皮塞打開，可檢驗電解後產生氣體的性質。如電解水產生的氫氣及氧氣可打開橡皮塞後直接點火檢驗，壓克力管不易爆破，沒有危險。

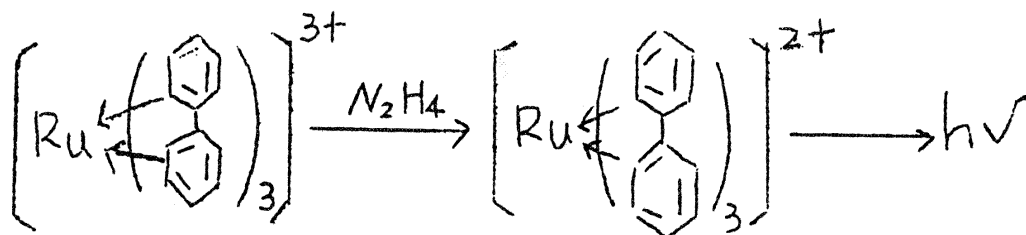
## 2. 化學發光反應的探討：

鹼金屬與芳香族及非均系環狀化合物作用產生帶自由基陰離子，此陰離子經由氧化作用，形成激發態物質，接著發射光線，此乃化學發光反應。下列反應式是一個例子：



以硫酸、銀離子氧化芳香族及非均系環狀化合物，可形成帶自由基陽離子，陽離子還原後，即可生成激發態物質，然後

發出光線。



帶自由基陰離子和陽離子可由電解方式產生，而激發過程能夠在電極上產生。利用交流電電解，在同一電極交互生成陽離子和陰離子，使得陽離子和陰離子結合（cation-anion annihilation）的機會大大的增加，此種反應亦能產生激發態物質，發出光線。

（以上資料係參考 Angew Chem Internat. Edit 13 229  
（1974）感謝師大化學系方教授泰山博士所提供）

實驗實例：

取長 10 cm，寬 7.5 cm 的鋁片兩片為電極，相距 5 cm，置入 600 ml 大燒杯中，燒杯內置 3% 之草酸溶液，在暗室中實驗。通入 0 V → 110 V 之交流電於兩鋁片電極上，可觀察到鋁片電極發光的情形。

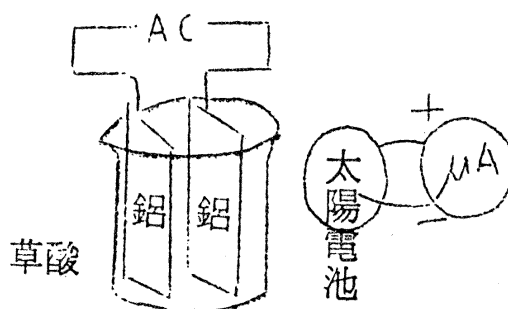


圖 7.

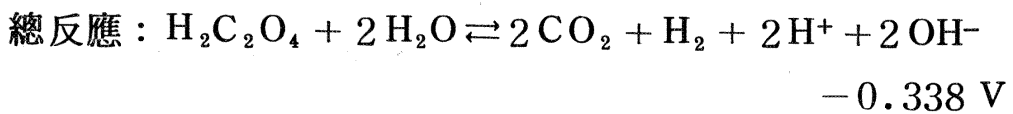
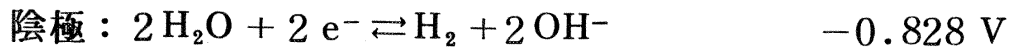
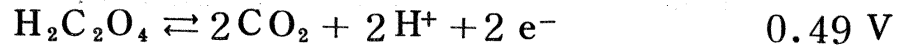
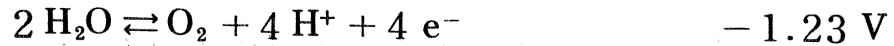
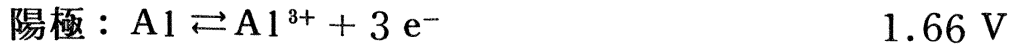
電壓愈大發光愈強，在離燒杯一定距離處置放一太陽電池，由化學發光所產生的強弱發光強度，照射在太陽電池所產生的電能，經微安培計可以測出光能所產生的電能大小。結果計錄如下：

交流電壓	0 V	20 V	40 V	60 V	80 V	100 V	110 V
太陽電池所產生之電流	0 μA	0 μA	1 μA	2 μA	3 μA	4 μA	4 μA

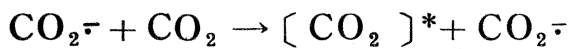
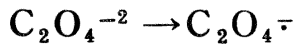
探討：

(1) 電解草酸溶液氧化可以引起化學發光反應，但實際理論尚不太清楚〔參考 *Electrogenerated Chemiluminescence J Amer Chem Soc* 5399 (1977)〕

(2) 電解草酸溶液其電解氧化時可能的過程如下：



(3) 揣測發光之過程： $\text{CO}_2^-$  與某物質作用進行氧化反應使得激發態之 $[\text{CO}_2]^*$ 生成，接著放射光線，生成基態之 $\text{CO}_2$



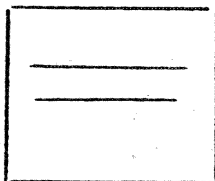
↓

hy

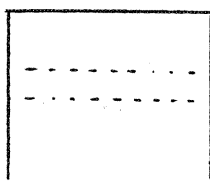
### 3. 電解的應用：

(1) 交直流電化學鑑別法：

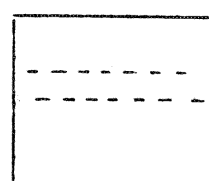
方法：取 100 cc 水加 2.5 g 澱粉共煮，冷卻後加碘化鉀 6 至 10 克，塗於紙上，緊貼在金屬片上（馬口鐵甚佳），用 6 V 至 12 V 之直流電，陰極夾住金屬片，陽極的電極在碘化鉀—澱粉紙上，劃直線，可得藍色的實線條紋，如下圖 a，若改用 6 V—12 V 之交流電，則紙上可得藍色的虛線條紋，如 b 圖。



a 圖



b 圖



c 圖

探討：①電解碘化鉀溶液陽極產生的碘使澱粉變藍色，故通電後陽極可劃出藍色條紋。

②直流電之電流係由正極向負極流動，故得實線。交流電之電流係頻率 60 次 / 秒正、負電交替變化之電流，故得虛線，若交流電兩極同時劃線可得交替出現的雙虛線。如圖 C。

③碘化鉀—澱粉溶液亦可使用硫酸鈉溶液加酚酞，塗在紙上而代替，以陰極劃線，可得紅色的線條。

④在配製碘化鉀—澱粉溶液時應避免使用自來水因自來水中的氯將置換碘化鉀中的碘。

### (2) 夫來明左手定則

方法：在一深 3 cm 直徑 10 cm 之圓形淺盤中，倒入食鹽水等電解質，淺盤緣緊貼一連有導線之鋁片導線連接電池之一極。盤之中央懸一條長 20 cm 細銅線入食鹽水中，但不可碰盤底，另一端連接至電池之另一極，電流通後，以 U 型磁鐵之中央，靠近細銅線，細銅線因通有電流而產生磁場，

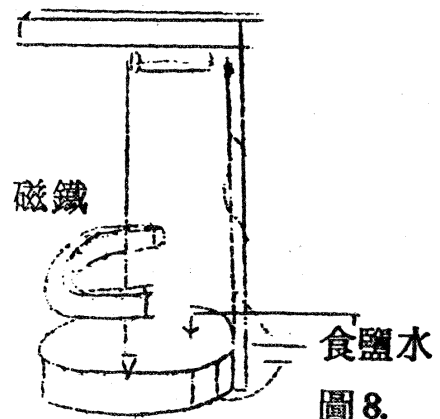


圖 8.

因受 U 型磁鐵磁力的作用而擺動。如圖 8。

探討：①夫來明左手定則係以中指表電流，食指表磁場，大姆指表導線運動方向三者互相垂直，一般物理此項實驗裝置，因受導線迴路重量重等阻力之影響，導線運動效果欠佳。若導線中之電流經電解質而流動，阻力少效果甚佳。

②電壓愈大，磁力愈強，偏向幅度愈大。

### (3) 轉動的液體：

方法：在一深 3 cm，直徑 10 cm 之圓形盤中，置入食鹽與

酚酞溶液，盤之中央入一直徑 2 cm，3 cm 之銅環，並接一導線至電池之一極，圓形盤邊之一緣緊貼長 3 cm，寬 2 cm 之銅片，並用導線連接至電池之另一極，通電 3 V 至 6 V 後

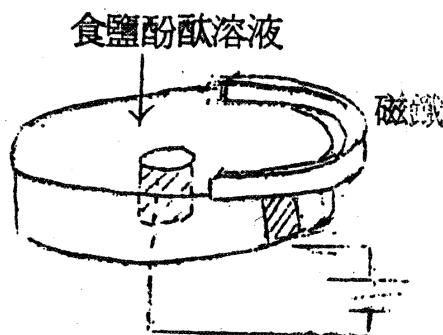


圖9.

，用U形磁鐵靠近溶液之中央，食鹽水被電解，紅色的溶液慢慢產生，隨液體而迴轉。（如圖9）

探討：①電解食鹽水因產生氫氧化鈉溶液使酚酞變紅增加實驗之效果及美感。

②原理與夫來明左手相同。

③電壓愈大或磁力愈強轉動愈快。

## 五、結 論

本研究係在有關化學電解上，將一些國中課本中有關電解實驗裝置加以改進。同時在電解草酸溶液時發現有發光反應等現象，及電解在各項應用上加以探討，具體結果概論如下：

1. 電解質離子移動實驗裝置，係利用半透膜玻璃紙隔開電解質，使陰、陽極離子移動的情形或產物不致於混雜，觀察容易，效果比作者過去試驗過的利用洋菜加入電解液中做電解實驗，更節省時間，陰、陽極界限更清楚，是一項提高教學效果更佳的改進。
2. 測量電解質，電解前後質量的變化，直接利用精密天平測出其變化，不必經繁雜的洗清及費時的烘乾等手續，測得實驗值亦非常精確，是一項成功的實驗裝置改進。
3. 食鹽水電池是一項新構想，構造簡單，效果良好，大大提高學生實驗的興趣。
4. 電解水實驗裝置的改進，實驗者利用此裝置做此項實驗時，手

- 不必接觸到電解液，避免雙手受傷害，是一項很進步的改進。
5. 利用交流電電解草酸溶液可以引起化學發光反應，對作者而言是一項新發現，對於其發光之原因僅係揣測，尚待進一步之研究。
  6. 利用電解質電解時，陰、陽極產物的顏色變化所劃出的虛、實線條，用來鑑別交直流電，方法簡易，效果良好。
  7. 在物理實驗方面，夫來明左手定則實驗裝置，因所受導線重量太重的影響，導線不易受磁力作用而運動。但若導線電流經電解質而流通使它產生通路，因阻力小，導線受磁力之作用而容易運動，效果較佳，值得物理實驗時之參考。
  8. 利用磁力的作用使圓盤上因通電流而讓直線流動的離子在圓盤上運轉可以提高學生實驗的興趣，增加教學效果。
- 本研究探討如有未盡理想之處尚請專家不吝指正。

評語：本研究包括三部份共有八項，其中「電解實驗的改進」及「電解的應用」兩部份乃配合現行國中課本實驗教學而研究設計；「化學發光反應的探討」部份則是作者為自我進修而進行的研究。

作者在研究過程中除對一些課本上裝置方法或實驗效果不太理想的實驗加以改良外，也對以往作者本人已完成的改良法繼續改進以求更趨完善。又對「化學發光」這一尖端科學加以研究，充分表示其工作態度認真，對科學深具熱忱。值得鼓勵。