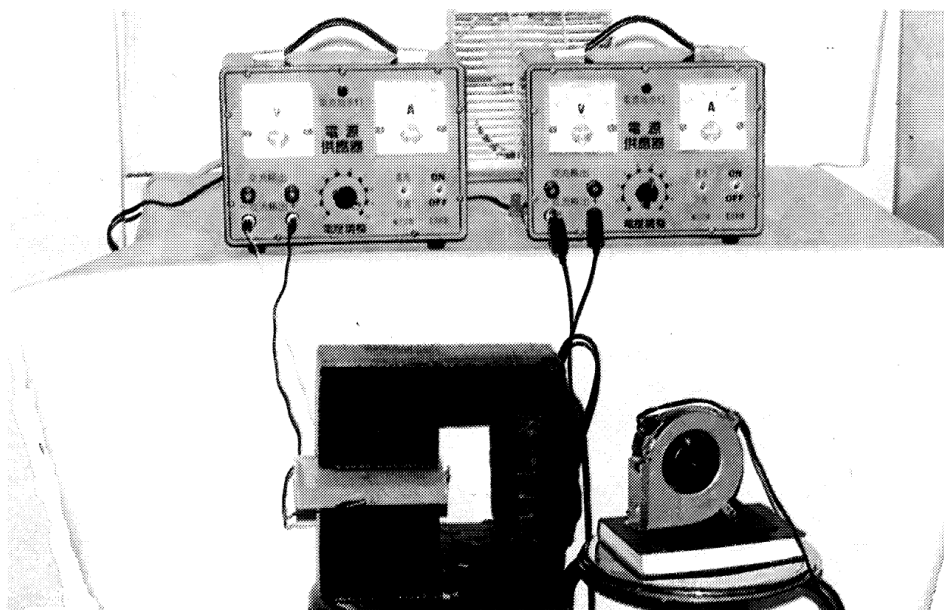


兩極乾坤－探討離子在電場磁場中的走向

國中組化學科第三名

彰化縣立彰安國民中學

作者：吳育恒、陳哲生
李宜泓、曹登富
指導教師：黃錫銘、蘇能雄



一、研究動機

二年級上學期做「水的電解」實驗時，以注射針頭當正、負兩極的材料，我們感到很好奇：如果換成其他金屬不知是否可以？經老師介紹先認識了第四冊「電解硫酸銅水溶液」的實驗，在這個實驗裏，我們瞭解了：「電解時兩極的化學反應與使用的電極材料及電解質有關」。當我們將電解水裝置中的兩注射針頭改成粗銅線後，發現：兩極銅線皆起了化學變化，但是並未看見藍色 Cu^{2+} 移動的詳細過程；於是請教老師如何才能觀察到離子在兩極間前進的慢動作；老師在回答問題時，談到「電場」，順便提及「磁場」的觀念；我們就想：既然離子會受電場影響，不知是否也會受磁場影響？因此在好奇心的趨使下，我們首先以有色的 Cu^{2+} 開始，設計了本實驗。

二、研究目的

本實驗利用國中理化課本所教的簡單知識，（如控制變因、電解、酸鹼中和、氧化還原……等），讓離子在洋菜中慢速移動，以便於觀察。主要的研究目的

有四：

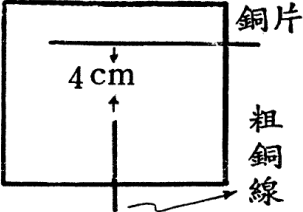
- (一)利用電解觀念，觀察藍色 Cu^{2+} 在電場及磁場中的走向。
- (二)利用電解水所生的 H^+ 與黃色的 CrO_4^{2-} 作用，使生成橘紅色的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，以便於觀察 H^+ 在電場及磁場中的走向。
- (三)比較 Cu^{2+} 與 H^+ 在電場、磁場中走向的異同處。
- (四)由 Cu^{2+} 與 H^+ 在磁場中的走向，檢驗是否符合「右手開掌定則」，俾讓物理學上的理論在化學上獲得印證。

三、研究設備器材

- (一)電源供應器 (30 V、10A 2 台)、 \square 型電磁鐵、小型電風扇 2 台 (散熱用)、電鍋、自製透明壓克力盒 (15cm × 12 cm × 2cm 側面鑽小孔、附小軟塞) 3 個，有方格的透明壓克力盒蓋 3 個、天平、銅片 (12.5cm × 1 cm)、粗銅線 (直徑 2.5 mm)、鉑絲、燒杯、玻棒、乳頭滴管、量筒、刮勺、導線。
- (二)洋菜粉硝酸鉀、濃硫酸、鉻酸鉀、蒸餾水、廣用試紙。

四、研究過程

實驗(一) 藍色 Cu^{2+} 的移動軌跡

- 1.取 1000ml 燒杯，內裝 750ml 蒸餾水，加入 9.0 克洋菜粉後，將燒杯置於電鍋的內鍋中，並在外鍋加 150ml 的水，接通電源開始蒸煮。
 - 2.蒸煮完畢，再悶蒸 20 分鐘，然後取出燒杯，加入 1.5 克硝酸鉀，置於空氣中冷卻 20 分鐘，再加 4 ml 濃硫酸，以玻棒攪拌均勻後，再置於空氣中冷卻。
 - 3.如右圖：將銅片和粗銅線分別裝於三個壓克力盒內，其中粗銅線前端只留 1 cm，其餘部份以絕緣膠帶包住；粗銅線前端距銅片最短距離為 4 cm；銅片側立豎放。
- 
- 4.將步驟 2 溫度已降低的洋菜溶液攪拌均勻，分別倒入三個壓克力盒內，再以刮勺刮取浮在液面之氣泡。
 - 5.將已凝成糊狀之一盒洋菜的銅片接電源供應器的負極，粗銅線接正極，調整電壓至 24 V，開始電解，每隔 3 分鐘蓋上有方格的透明壓克力盒蓋，由上方俯視，測量並記錄 Cu^{2+} 的移動軌跡。
 - 6.將另一個壓克力盒置於 \square 型電磁鐵缺口中， \square 型電磁鐵的紅夾接電源供應

器正極，黑夾接負極，且將電壓調至 16V，壓克力盒中銅片接負極，粗銅線接正極，調整電壓至 24 V，開始電解；每隔 3 分鐘蓋上有方格的透明壓克力盒蓋上方俯視，測量並記錄藍色 Cu^{2+} 的走向，並與步驟 5 未加磁場的結果比較。

7.將□型電磁鐵的紅夾、黑夾互換，即紅夾接負極，黑夾接正極，重複第 6 步驟。

實驗(二) 無色 H^+ 的移動軌跡

- 1.同實驗(一)步驟 1，將 9.0 克洋菜粉改成 3.0 克，其餘皆相同。
- 2.蒸煮完畢，再悶蒸 20 分鐘，然後加入 12.0 克硝酸鉀和 4.5 克鉻酸鉀，以玻璃棒攪拌均勻後，置於空氣中冷卻。
- 3.同實驗(一)步驟 3，將「粗銅線」改成「鉑絲」，其餘皆相同。
- 4.同實驗(一)步驟 4。
- 5.將已凝固之一盒洋菜的銅片接負極，鉑絲接正極，調整電壓至 17 V，開始電解，每隔 4 分鐘蓋上有方格的透明壓克力盒蓋，由上方俯視，觀察橘紅色 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的生成位置，以測量 H^+ 的移動軌跡，記錄之。
- 6.同實驗(一)步驟 6：電磁鐵電壓調至 16 V，壓克力盒中銅片接負極，鉑絲接正極，調整電壓至 17 V，開始電解；每隔 4 分鐘蓋上有方格的透明壓克力盒蓋，由上方俯視，觀察橘紅色 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的生成位置，記錄之，並與步驟 5 未加磁場的結果比較。
- 7.同實驗(一)步驟 7。

五、實驗結果

實驗(一) 藍色 Cu^{2+} 的移動軌跡

1.未加磁場：

- (1)將洋菜糊狀溶液接通電源後，電壓調至 24 V 時，安培計讀數為 0.6 A (隨著 Cu^{2+} 移近負極，最後電流會增至 1.0 A)。正極粗銅線前端產生微小氣泡往上浮，另外也產生紅色細屑先上浮後下沉；洋菜被產生的熱量熔化(最高溫度可達 90 °C)，此時由粗銅線分解出的藍色 Cu^{2+} 向四方擴散(外圈淡藍色，內圈藍色)，形成一個左右對稱，近似圓形的圖案，最後 Cu^{2+} 直抵負極。
- (2)當負極的銅片整片都一直產生較大之氣泡，附近的洋菜部份變為液體，以廣用試紙檢驗變為藍色，呈鹼性。當 Cu^{2+} 抵達負極時，銅片上有紅色銅析出。

(3)經四次實驗後，將 Cu^{2+} 移動軌跡取平均值，列於下表：

所 經 時 間	30 秒	3 分	6 分	9 分	12 分	14分 45秒
中心點前進距離 的平均值 (cm)	0.50	1.35	1.83	3.00	3.38	4.00
前緣中點偏離粗銅線 的距離平均值 (cm)	0	0	0	0	左偏 0.05	0
反應過程連續照片	照片	“	“	“	“	“

2.加磁場：

(A)磁場方向朝上：電磁鐵的紅夾接正極、黑夾接負極（即 S 極在盤上方，N 極在盤下方）。

(1)將洋菜糊狀溶液接通電源後，電壓調至 24 V 時，安培計讀數為 0.8 A（隨著 Cu^{2+} 移近負極，最後電流會增至 1.2 A），電磁鐵電壓調至 16 V 時，安培計讀數為 9.5 A（隨著時間的增長，安培計讀數會稍減，但約 10 分鐘後，即穩定維持在 7.8 A）。

(2)正極粗銅線前端產生微小氣泡及紅色細屑上浮，洋菜被產生的熱量熔化，此時由粗銅線分解出的藍色 Cu^{2+} 隨液體產生順時鐘方向的漩渦，一路向負極稍偏右前進，致造成近似圓形的圖案，紅色細屑隨後下沉於盒底。當負極的銅片，所生的變化與未加磁場的實驗結果(2)相同。

(3)經四次實驗後，將 Cu^{2+} 移動軌跡取平均值，列於下表：

所 經 時 間	30 秒	3 分	6 分	9 分	12 分	12分 53秒
中心點前進距離 的平均值 (cm)	0.50	1.33	1.76	2.53	3.48	4.00
前緣中點偏離粗銅線 的距離平均值 (cm)	右偏 0.15	右偏 0.40	右偏 0.63	右偏 1.05	右偏 1.50	右偏 1.63
反應過程連續照片	照片	“	“	“	“	“

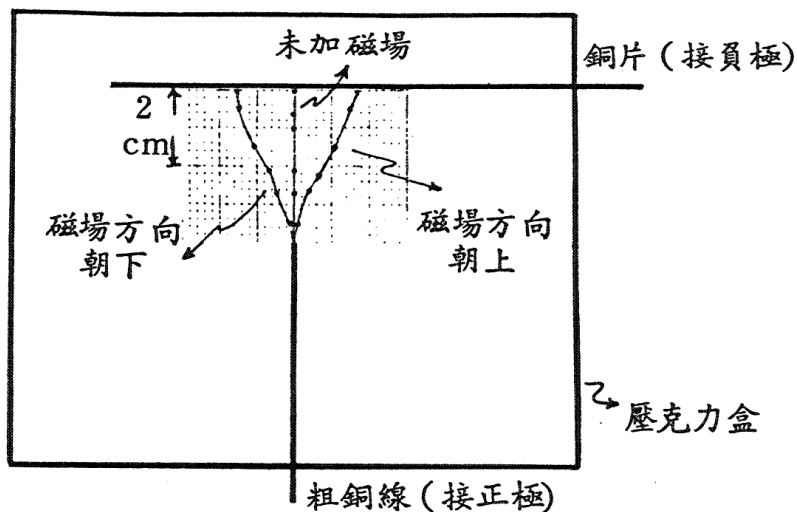
(B)磁場方向朝下：電磁鐵的紅夾接負極、黑夾接正極（即 N 極在盤上方，S 極在盤下方）。

(1)實驗結果除正極產生逆時鐘方向的漩渦且偏左前進與上法不同外，其餘皆相同。

(2)經四次實驗後，將 Cu^{2+} 移動跡軌取平均值，列於下表：

所 經 時 間	30 秒	3 分	6 分	9 分	12 分	13分 4 秒
中心點前進距離的平均值 (cm)	0.53	1.25	1.83	2.58	3.53	4.00
前緣中點偏離粗銅線的距離平均值 (cm)	左偏 0.13	左偏 0.43	左偏 0.68	左偏 1.03	左偏 1.45	左偏 1.55
反應過程連續照片	照片	〃	〃	〃	〃	〃

3. 未加磁場與加磁場後， Cu^{2+} 前進方向的比較圖，列於下方：



實驗(二)：無色 H^+ 的移動軌跡

1. 未加磁場：

(1)將固狀洋菜接通電源後，電壓調至 17 V 時，安培計讀數為 0.3 A (最後增至 0.6A)，正極鉑絲前端產生氣泡往上浮(氣泡比實驗(一)正極產生的較大)，洋菜被產生的熱量熔化且有煙生成，此時在鉑絲表面產生的 H^+ 與盤內黃色的 CrO_4^{2-} 反應，形成橘紅色 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 向四方擴散(外圈較淡，內圈較深)，形成左右對稱，近似橢圓形的圖案。隨著橘紅色 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的前進，可知 H^+ 往負極移動，但電解至 19 分 15 秒時，前緣即無法前進。

(2)當負極的銅片整片都一直產生氣泡，附近的洋菜部份變為液體，以廣用試紙檢驗變為藍色，即產生 OH^- 。

(3)經四次實驗後，將 H^+ 移動軌跡取平均值，列於下表：

所 經 時 間	1 分	4 分	8 分	12 分	16 分	19 分 15 秒
中心點前進距離的平均值 (cm)	0.67	1.05	2.13	2.35	2.58	2.80
前緣中點偏離鉑絲的距離平均值 (cm)	0	0	0	0	0	0
反應過程連續照片	照片	"	"	"	"	"

2.加磁場：

(A)磁場方向朝上：

- (1)將固狀洋菜接通電源後，電壓調至 17 V 時，安培計讀數為 0.4 A (最後增至 0.7 A)，電磁鐵的情況同實驗(-)加磁場結果。
- (2)正極鉑絲前端立即形成橘紅色 $Cr_2O_7^{2-}$ ，洋菜被產生的熱量熔化，此時形成順時鐘方向的漩渦，一路向負極稍偏右前進，(此乃 H^+ 移動之故) 致造成近似圓形的圖案，但電解至 17 分 20 秒時，前緣即無法前進。當負極的銅片，所生的變化與未加磁場的實驗結果(2)相同。
- (3)經四次實驗後，將 H^+ 移動軌跡取平均值列於下表：(由表中可知：偏離鉑絲的幅度比實驗(-)小。)

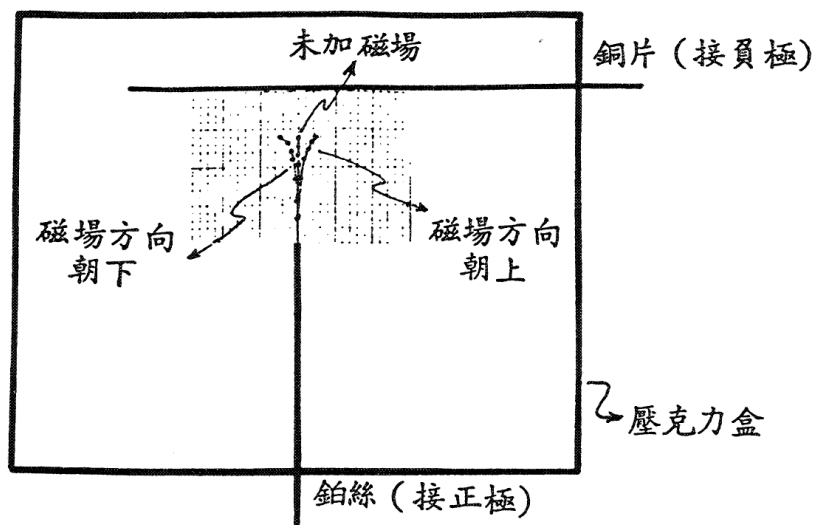
所 經 時 間	1 分	4 分	8 分	12 分	16 分	17 分 20 秒
中心點前進距離的平均值 (cm)	0.65	1.75	2.23	2.45	2.73	2.80
前緣中點偏離鉑絲的距離平均值 (cm)	0	右偏 0.05	右偏 0.13	右偏 0.23	右偏 0.34	右偏 0.45
反應過程連續照片	照片	"	"	"	"	"

(B)磁場方向朝下：

- (1)實驗結果除正極產生逆時鐘方向的漩渦且偏左前進與上法不同外，其餘皆相同，但電解至 17 分 45 秒時，前緣亦無法前進。
- (2)經四次實驗後，將 H^+ 移動軌跡取平均值，列於下表：

所 經 時 間	1 分	4 分	8 分	12 分	16 分	17 分 45 秒
中心點前進距離的平均值 (cm)	0.67	1.68	2.18	2.35	2.63	2.80
前緣中點偏離鉑絲的距離平均值 (cm)	0	左偏 0.08	左偏 0.10	左偏 0.20	左偏 0.33	左偏 0.43
反應過程連續照片	照片	"	"	"	"	"

3. 未加磁場與加磁場後， H^+ 前進方向的比較圖，列於右方：



六、討論

(一) 實驗(一) 藍色 Cu^{2+} 的移動軌跡

1. 正極反應： $2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$ 及 $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

負極反應： $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ 及 $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ (Cu^{2+} 抵達才發生)。

2. 實驗一開始所加的濃硫酸除幫助導電外，主要目的是要中和負極生成的

OH^- ，以讓 Cu^{2+} 能直抵負極；因為濃硫酸加太多無法使洋菜凝固，故加硝酸鉀當電解質，除可幫助導電外尚可幫助洋菜凝固。

3. 當 Cu^{2+} 快抵達負極前，負極銅片附近若有黃色物質生成（由 OH^- 所造成），可加數滴稀硫酸中和成無色，如此才能使 Cu^{2+} 抵達負極。

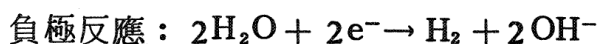
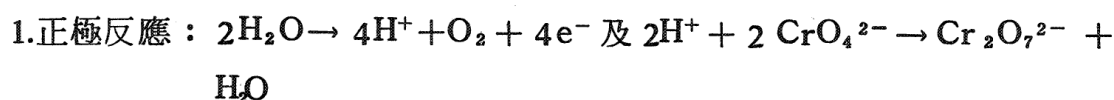
4. 正極有紅色銅屑脫落，可能是電壓較大，部份銅未及變為 Cu^{2+} ，致造成脫落現象。

5. 由本實驗步驟 6 和 7 結果來看：若將 Cu^{2+} 前進方向看成電流方向，當磁場方向朝上時，依右手開掌定則知 Cu^{2+} 將受一向右之力作用；當磁場方

向朝下時，依右手開掌定則知 Cu^{2+} 將受一向左之力作用。

此理論與本實驗結果相符。

(二)實驗(一) 無色 H^+ 的移動軌跡



- 2.本實驗因受制於黃色 CrO_4^{2-} 會與酸作用生成橘紅色的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，因而無法如實驗(一)事先在洋菜溶液中加酸，故正極生成的 H^+ 雖移往負極，但在抵負極前會被負極所放出的 OH^- 中和，因之才有橘紅色前緣無法直抵負極的現象發生，所幸無損本實驗的結論。
- 3.本實驗未如實驗(一)討論 3.在負極加數滴稀硫酸，其原因是無法控制所加之酸恰中和 OH^- ；若加過量酸，反干擾原實驗之進行。
- 4.同實驗(一)討論 5，若將 H^+ 前進方向看成電流方向，則本實驗結果亦與右手開掌定則相符。

(三)綜合討論：

- 1.實驗(一)(二)皆使用電鍋蒸煮洋菜溶液，其目的是要使其濃度均勻（直接加熱易使近燒杯底的洋菜焦硬）。
- 2.實驗(一)(二)兩電極最短距離採用 4 cm，是因超過 4 cm 時電流較小反應慢；然而太接近，時間短反不易看出偏離正極的現象。
- 3.實驗(一)(二)未加磁場時洋菜電壓分別調至 24 V 和 17 V，是因實際(一)在 24 V 下正極所生氣泡仍小，不影響 Cu^{2+} 前進；而實驗(二)在 24 V 下氣泡大且多，會影響橘紅色正常的移動軌跡，故改用 17 V。又加磁場時電磁鐵電壓僅調至 16 V，是因其指示電流 9.5 A 已接近電源供應器的最大負荷量 10 A；再者若降低電磁鐵的電壓，磁力將減弱，如此偏離正極的現象將不明顯，故採用固定電壓 16 V。
- 4.實驗(一)(二)未加磁場時，帶正電的 Cu^{2+} 及 H^+ 皆向負極直線前進，但 Cu^{2+} 比 H^+ 移動快。加磁場：當磁場方向朝上時： Cu^{2+} 與 H^+ 皆形成順時鐘漩渦且有偏右向前進的現象，可見 Cu^{2+} 與 H^+ 皆受一向右之力作用。當磁場方向朝下時：剛好相反；然而 Cu^{2+} 比 H^+ 前進時偏離正極的幅度大，此乃 Cu^{2+} 在前進過程中沒起化學反應且它所存在的洋菜較軟，故導電度較佳、移動快之故。
- 5.實驗(一)(二)電解洋菜溶液時，電流皆有隨時間的增長而變大的現象此乃：電解時間愈長，產生的陰陽離子數量增多之故。至於加磁場時，通過電磁鐵

線圈的電流有隨時間增長而變小的現象，此乃：通電後電磁鐵線圈的溫度增高，電阻變大，致電流漸減。

七、結論

- (一)在洋菜溶液中添加適當、適量的電解質後，可用來觀測有色離子的慢速移動。
- (二)在電場中：帶正電的陽離子游向負極，帶負電的陰離子游向正極。
在磁場中：帶正電的陽離子移動時，有如通電導線一般，會受一力作用，致造成陽離子前進方向偏移，由此可見此化學現象也符合物理學上的「右手開掌定則」；就物理、化學統整教材方面而言，本實驗提供一個最佳的驗證典範。
- (三)本實驗利用簡單的電解法，在自行設計的壓克力盒中產生陰陽離子，藉著離子顏色的變化，我們發現：正、負兩極及N、S兩極對離子居然有如此大的影響力；相信在兩極的天地下，一定還可以發現更多、更有趣的科學知識。

八、參考資料

- (一)國民中學理化教科書 第一冊 59～60頁、第三冊 64～81頁 93～97頁
142頁、第四冊 42～44頁 48～75頁 國立編譯館。
- (二)邱翼聰等三人編譯：定性分析 629頁～632頁 合記出版社。

附記：

我們曾將實驗(二)中的4.5克鉻酸鉀改成10.5 ml的廣用指示劑，再以銅片當正極，鉑絲當負極，兩極相距7 cm，其餘條件不變，如此當負極的鉑絲所生的OH⁻與廣用指示劑作用所生的紫色物質移至何處，即代表OH⁻移至該處。實驗結果發現：加磁場時，若磁場方向朝上：產生逆時鐘方向漩渦，但左偏情況不明顯，由此可知：OH⁻移動軌跡仍符合右手開掌定則，但為何左偏、右偏不明顯，這問題仍待我們深入探討。

評語

本作品利用電解觀念觀察離子在電場及磁場作用下的走向，並驗證離子在磁場中的走向是否符合右手開掌定則。本件在電解槽電極之設計上尚具創意。以藍色銅離子為觀察對象或以無色 H_3O^+ 離子配合 CrO_4^{2-} 離子以顯現橘紅色的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 離子的存在，在實驗設計上都有很好的考慮，離子的移動軌跡因有顏色的顯現，更能具體的表現出來，在教學示範的應用上值得推廣。