

離子在電場中的運動

高中組物理第一名

省立高雄女子高級中學

製作學生：袁正華等四人

指導老師：林 郁 綸

〔研究動機：〕

電場的分佈是研究電學的基礎，課本上並有多張「放草種子在絕緣液體內之電力場」照片，對於各種情況下之電場分佈均有極清楚的照片，然而我們數度以機油當做絕緣液，可是無法獲得預期的效果，所以我們數位同學攜手找尋更好的電力場顯示法，後來我們思考是否可利用離子的移動來顯示？於是着手實驗各種離子受電力場作用移動而留下的痕跡，以進一步瞭解電力場，經過三個多月利用課餘時間作了一些電場分佈及帶電離子移動方向及速度與電場的關係。我們覺得這方法可提供為以後高中物理教材研究及觀察電力場的實驗之一，操作簡單，現象明顯，並可印證多種學理的解釋。

〔實驗原理〕：

在電解液（食鹽水）中滲透過的濾紙上面洒上過錳酸鉀(KMnO_4)的粉末，然後在濾紙兩端加上直流電源，則過錳酸離子(MnO_4^-)會向正極移動（可由濾紙上留下的痕跡觀察），並由此實驗可知：

- (1) 過錳酸離子(MnO_4^-)帶負電荷，其移動方向、移動速度與濾紙的形狀（即電場形狀）或電極的位置有關。
- (2) 離子的移動速度與電場強度或兩極間電位差有關。
- (3) 電流強度可由下列現象說明：
帶有負電荷的質點移動速度愈快，單位時間內橫越之電荷數必然越多，因此電流必越大。
- (4) 電荷在橫截面積較小的導體中速度大，在橫截面積較大的導體中速度較小可證明「同種物質構成的導體（線）粗細不同串聯時，在較細導線中電場較大，粗導線中電場小。

[實驗器材] :

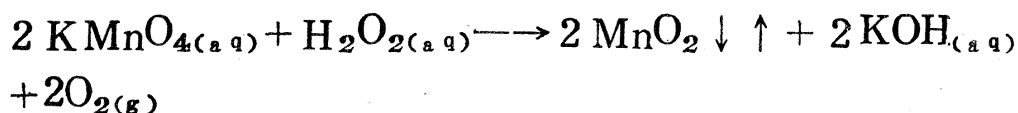
過錳酸鉀粉末	洗照相用的琉璃質盤 (二個)
壓克力板	跑錶 中型書夾 (三個)
濾紙	電源 (400V ~ 50V)
食鹽水 (1 ~ 6 %)	稀雙氧水 (1 ~ 6 %) 篩子 (一個)

[實驗步驟] :

- I、(1)將濾紙浸在食鹽水 (1 ~ 6 %)
(2)將濾紙取出用紗布吸去多餘的水分。
(3)濾紙兩端接電極，再洒以過錳酸鉀粉末。
(4)通以一定時間的電流，此時可見離子移動。
(5)將濾紙取下隨即放入稀雙氧水溶液中，可見到黑色沈澱於紙上。
(6)濾紙再經水洗即可放置使其乾燥。
(7)改變電極形狀，重覆(1)~(5)步驟，以備分析電場與離子運動關係。
- II、爲了使過錳酸離子能在濾紙上留下痕跡，則濾紙不能太濕或太乾 (數次改進) 若濾紙太濕則過錳酸鉀粉末一洒到濾紙上即迅速擴散，以致模糊，若太乾過錳酸離子不易游動，因此浸過食鹽水之濾紙須先用紗布吸去一部份水分，使濕度適中，以使過錳酸離子不致馬上擴散爲原則。

- III、又爲了使過錳酸離子 (紫紅色) 移動痕跡可保留以作分析、記錄用，數度思考嘗試乃得以「雙氧水處理」效果良好。

過錳酸鉀離子經電場作用移動後留下痕跡，若長時間以離子狀態停留在濾紙上，由於擴散，離子移動的痕跡會變得模糊，不明顯，同時若用水洗，過錳酸離子會被洗掉；如用雙氧水處理，會產生如下反應：



KMnO_4 會變成黑色而不溶於水的 MnO_2 ，濾紙雖經水沖洗，但痕跡會以黑色物質保留在濾紙上，因此離子移動過的痕跡也得以顯見。

我們的實驗記錄與數學分析：

I、平行電極的結果

表 (a)

(e) 電極距離	(v) 電極電壓	(t) 通電時間	(d) 電極寬度	(s) 離子位移
8 cm	400valts	2 mm	1.5cm	4.5mm
			3 cm	4.5mm
			6 cm	4.4mm
			9 cm	4.5mm

表 (b)

l	v	t	d	s
8 cm	100 v	2 mm	3 cm	1.8mm
12cm			3 cm	1.5mm
16cm			3 cm	1.2mm
20cm			3 cm	---

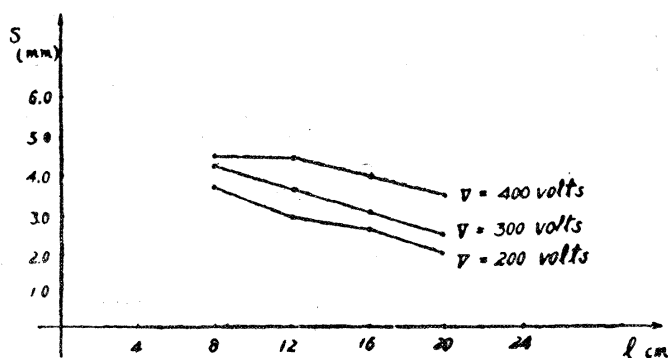
v	l	t	s (mm)
150Volts	8 cm	2 min	2.0mm
	12cm		1.8mm
	16cm		---
	20cm		---
200Volts	8 cm	2 min	3.8mm
	12cm		3.0mm
	16cm		2.8mm
	20cm		2.0mm
300Volts	8 cm	2 min	4.2mm
	12cm		3.8mm
	16cm		3.1mm
	20cm		2.5mm
400Volts	8 cm	2 min	4.5mm
	12cm		4.5mm
	16cm		4.0mm
	20cm		3.5mm

l	V	t	s (mm)
8 cm	100V	2 min	1.8mm
	200V		3.5mm
	300V		5.0mm
	400V		6.5mm

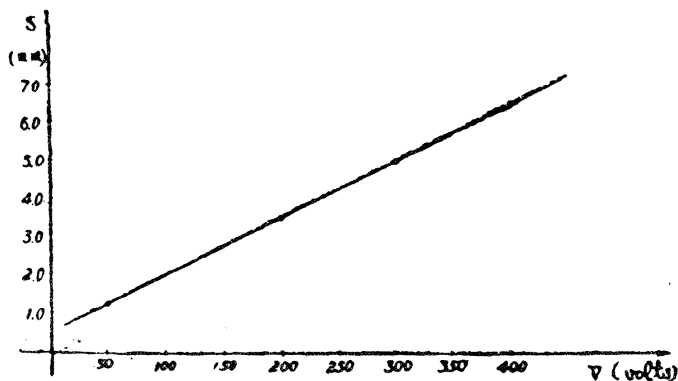
II、數學分析：

(1)由記錄 (a) 表中，可發現離子移動速度均相同，顯示平行電場是均勻的，其電場不因極場的寬度改變。

(2)由 (b) 表中可得在一定時間內，離子移動位移 S 與電極距離 l 函數關係如下：



(3)由 (c) 表中可得在一定時間內離子移動位移與電極間電壓函數關係如下：




[實驗結果及討論]：


I、電力場離子移動：

由於帶電離子必沿電力作用方向運動，故離子移動痕跡即為電力線之分佈：

(a)如果將電極互相平行放置，離子以與電極互相垂直的方向直線運動，即顯示二平行帶異性電荷之平行板間的電場為均勻平行電場。

- (b) 點狀電極者以曲線狀分佈。
- (c) 在 T 字形濾紙導體，以同極使成爲帶同性電而顯示離子移動時，無交叉之現象，亦即證明電力線不交叉。
- (d) 等電壓時，離子移動速度與平行電極之寬度無關，而與平行電極之距離有關，離子移動速度 V 與電極距離 l 成反比。實驗記錄見表 (a) 及表 (b)，其數學關係見曲線 1。
- (e) 當電極距離 l 一定時，離子移動速度 v 受電壓影響，實驗結果見表 (c) 其函數關係見曲線 2。

(f) 在  型電路裝置，可由記錄紙上發現離子移動在電極距離較小的部分較快，在電極距離較大部分移動較慢。

(g) 在  型電路，窄的部分離子移動較快。

II、討論

(a) 由實驗平行電極間離子移動速度可知離子移動速度與電力成正比，而電力 (F) = 電量 (q) \times 電場強度 (E)
過錳酸離子都具一個基本電荷，所以可說離子移動速度與電場強度成正比，實驗記錄顯示極板距離 (l) 小時離子速度大

$$U \propto E$$

$$\therefore E \propto \frac{1}{l} \text{ (見曲線 1)}$$

又當極板距離一定，而兩極間所加電壓 (V) 增大時，可由表 (c) 離子移動見其速度增大， $U \propto V$

$$\therefore E \propto V \text{ (見曲線 2)}$$

$$\text{即 } E \propto \frac{V}{l}$$

(b)兩帶異性電的點電荷在空間造成的電場由離子移動速度顯示與距離有關，靠近電極的離子運動速度大，顯示靠近電極的電場大。

(c)由 $I(g)$ 的實驗結果，我們是這樣解釋的「在窄部分離子受電力較大，移動同樣距離，則電場對離子作功必較大」

$$\because W(\text{功}) = F(\text{力}) \times S(\text{位移})$$

若以電場解釋，可說這部分電場較大電位降也必然較大，正

可說明同一質料之導線橫截面越小電阻越大 $R \propto \frac{1}{A}$

(d)在等長的濾紙兩端加不同電壓(V)，當所加電壓越大則見離子速度越大，我們以為可這樣解釋：同一導線電路若連接較大的電壓因在常溫，電阻一定，電流必與電壓成正比，即 $V = IR$ 之關係可建立。

在均勻導體中若電荷移動速度愈大，單位時間通過的電荷總數必愈大，所以有以上的想法。

III、本實驗採用過錳酸離子的原因：

我們曾試過多種帶明顯顏色的離子化合物如重鉻酸鉀，硫酸銅粉末，但顏色均不及過錳酸根離子的深紫色來的明顯，且經雙氧水的處理後， MnO_2 的黑色化合物易於保留。

IV、本實驗洒「過錳鉀粉末」的技術也經多次改良，原以手指散洒，常使手指染污，後又採用紗布洒粉，可是依然不理想，有次吃麵用胡椒時，靈機一動，想起用洒胡椒的瓶子來洒過錳酸鉀粉末一定很理想，一試却洒下太多粉末，所以在蓋子上又加上16層紗布，才順利的完成這實驗，手也不髒了。