

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 化學科

040201

有沒有這麼「極」

學校名稱：國立新竹高級中學

作者：  高二 施養鑫  高二 孫凡耘  高二 陳宏碩	指導老師：  蔡麗菁  劉永豪
---	-----------------------------

關鍵詞：極性、感應偶極、分子間作用力

## 摘要

極性的液體在電場中會偏折，而本實驗發現非極性的液體在電場中也會偏折。我們發現偏折現象為靜電感應所致，並非摩擦起電或感應起電。在非極性液體當中，被極化的程度是影響偏折的主要因素，而我們發現被極化的程度與液體分子的電子總數呈正相關。在極性液體中，除了分子的極性大小會影響液體的偏折之外，被極化的程度也是重要的因素。而水、乙二醇與丙三醇這類的物質中，因分子間氫鍵個數較多，造成液體在電場中較不易被靜電感應，故偏折較小。

## 壹、 研究動機

在一堂化學課裡，我們知道垂直落下的液體若具有極性，在摩擦過後的保麗龍球旁會產生偏移的現象，但教科書中並未提到非極性液體在電場中的現象，這引發了我們的興趣。在搜尋資料時，大部分的文獻資料支持只有具有極性的液體才會在電場中偏移，同時我們參閱了 51 屆科學展覽會高中組的作品「水被電死了」，在其內容中提及偏移原因是因為離開管口時所產生的感應起電。經過初步試驗後，認為這項結論無法使我們心服口服，因此展開一系列研究。

## 貳、 研究目的

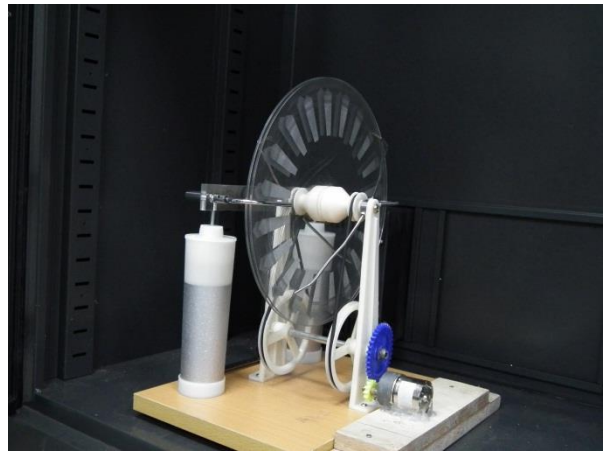
- 一、觀察非極性液體在電場中是否有偏折情形
- 二、研究不同液體在電場下的偏折情形
- 三、研究液體在電場下產生偏折情形的因素
- 四、研究不同碳數的正烷類在電場下對偏折情形的影響
- 五、研究不同碳數的醇類在電場下對偏折情形的影響
- 六、研究同分異構物在電場下偏折情形的影響
- 七、研究分子間氫鍵對極性液體偏折的影響
- 八、研究不同電解質溶液在不同濃度下對偏折情形的影響
- 九、綜合探討液體在電場下的偏折情形

## 參、 研究設備及器材

器材	藥品	製造廠商	藥品	製造廠商
非接觸型靜電場強計(Trek)	蒸餾水	太平洋純水	正己烷	99% 景明化工
韋氏起電器	乙醇	95% 台灣菸酒	正庚烷	>95% 島久試藥
數位單眼相機	乙二醇	>95% 景明化工	正辛烷	100% 景明化工
圓形金屬電板(直徑 19cm)	正丙醇	>99% 景明化工	正癸烷	99% 景明化工
電源供應器(規格 0~55V)	正丁醇	>99% 景明化工	環己烯	>95% 島久試藥
高扭力馬達	丙酮	>95% 島久試藥	對二甲苯	>95% 景明化工
防潮箱	乙酸乙酯	>95% 景明化工	間二甲苯	99% 景明化工
平口針	甲苯	>95% 島久試藥	氯化鈉	島久試藥
方格紙(每格 0.3cm)	鄰二甲苯	>95% 景明化工	硫酸鎂	島久試藥



非接觸型靜電場強計



韋氏起電器



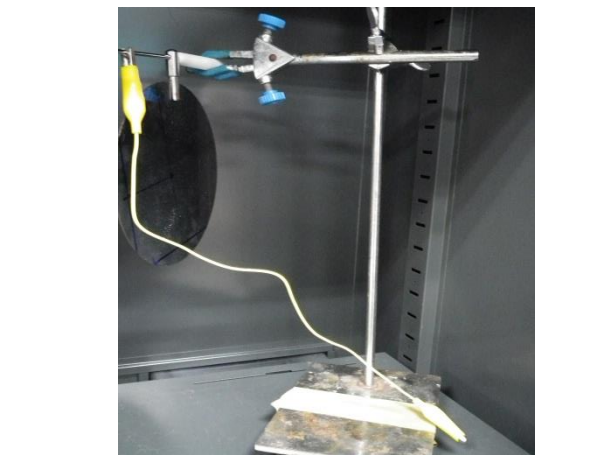
電源供應器(規格 0~55V)



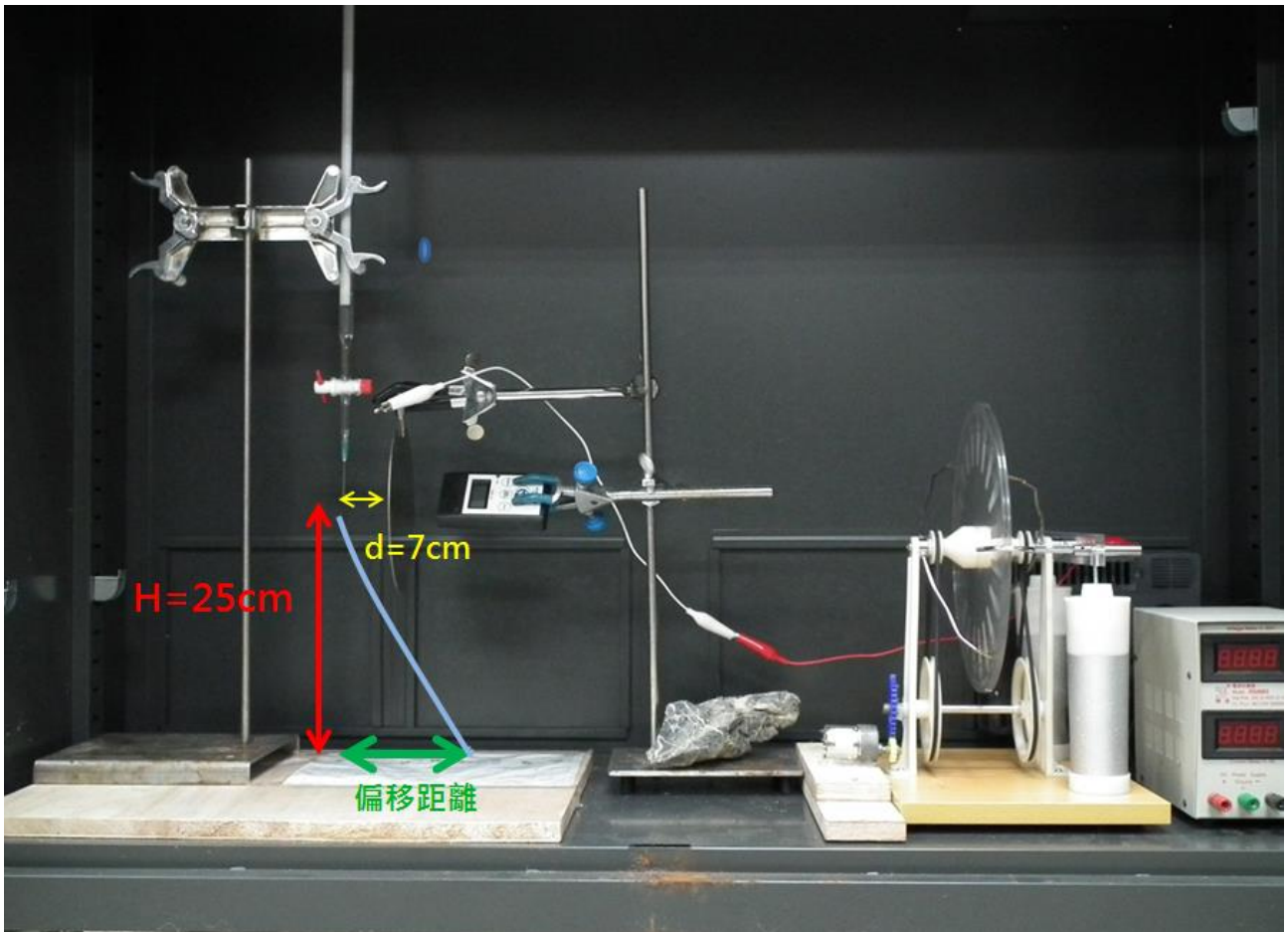
防潮箱



滴定管與平口針



鱷魚夾與電板



為了代替氣球摩擦時所提供的不固定電量，我們需要有穩定的電場，一開始想用高壓電源供應器來製造電場，但顧及到高壓電源供應器的危險性，本實驗最後選擇使用韋氏起電器(利用感應起電的原理穩定供應電荷的器材)來代替，並自行安裝上高扭力馬達，藉此控制轉速，以提供較穩定電場。一開始本實驗使用鐵球當作電極，但因為鐵球無法運用本實驗的非接觸型靜電場強計(測量 17 公分為直徑的圓面積的平均電壓)來測量它的電壓，因此最後本實驗訂作直徑 19cm 的金屬圓盤來當作電極，增加液體受力範圍，同時能測量金屬板的電壓。而選用圓電板的原因是希望圓形電板不會像長方形電板一樣，在尖端產生邊緣效應，使電板上電子分布不均勻。

為了控制液體落下的初始條件，本實驗在滴定管前加上一平口針，並讓水滴因表面張力不足支撐水滴的重量而以初速為零的方式落下。

最後本實驗將整組實驗裝置放進防潮箱中以控制濕度，因為電板易受氣候、濕度與溫度的影響使電荷不易累積，考量到本實驗的精準度，最後我們使用上圖的實驗裝置。

## 肆、 實驗原理

### 一、極性分子

1. 極性指共價分子中各原子電負度不同，導致整體分子電荷分佈不均勻，形成一端帶部分正電(記作  $\delta^+$ )、一端帶部分負電(記作  $\delta^-$ )的情形。每個分子的電荷分佈可視為一個電偶極。
2. 電子位移極化：在外加電場下，物體內部正、負電荷產生相對位移的過程。電極化會使分子產生感應電偶極，本篇報告的「極化」皆指此種極化。
3. 離子位移極化：溶液中陰、陽離子之間產生相對位移的過程。
4. 電偶極：兩個分隔一段距離，電量相等，正負相反的電荷。分子的電偶極又分為以下三種：
  - (1) 永久電偶極：即是極性分子內的電偶極。
  - (2) 瞬時電偶極：分子中的電子快速運動，以致於電子分布不均勻，這瞬間的狀況會產生暫時的電偶極。
  - (3) 感應電偶極：當施加外電場於一個分子時，外電場的作用會使分子內部的電子分佈被改變，因而產生感應電偶極。

二、感應起電:讓導體上的電荷分離，再移走或導入電子，使導體帶電的方法。

三、摩擦起電:兩種不同的絕緣體相互摩擦，使最外層電子得到足夠的能量發生轉移

四、液滴所受到的力用以下方法來計算：

液滴從針頭滴下來時是以初速為零的自由落體方式落下，以  $F$  表示液滴所受之靜電力，以  $m$  表示每滴液滴的質量， $S$  為液滴偏移之距離， $a$  為液滴在靜電場中所受的加速度。由等速度運動公式  $S=1/2at^2$ ，當高度相同，掉落到地的時間  $t$  會相同，則比較液體所受之相對靜電力大小會正比於液滴的質量與偏移距離之乘積。

$$F = ma \propto mS$$

1.單位質量受力  $\frac{F}{m} = a \propto S$

2.單位體積受力

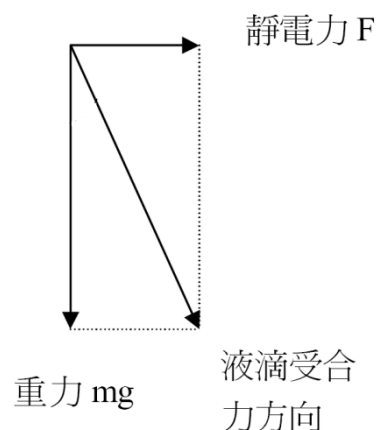
$$\frac{F}{V} = \frac{F}{\frac{m}{D}} = aD \propto SD$$

V:液滴體積 D:溶液密度

3.莫耳分子受力比較

$$\frac{F}{n} = \frac{ma}{n} = \frac{ma}{\frac{m}{M}} = aM \propto aS$$

n:液滴中所含分子莫耳數 M:物質分子量



## 伍、 研究過程與方法

### 一、實驗一：觀察非極性液體在電場下是否偏折

1. 將一氣球運用打氣筒打入定量氣體。
2. 將 50mL 非極性液體裝入滴定管。
3. 控制滴定管以適當流量流出。
4. 將氣球與白紙摩擦 15 次。
5. 放置到液體旁 1~2cm 處。
6. 觀察並記錄液體是否偏折。

### 二、實驗二：研究不同液體在電場下的偏折情形

1. 將馬達連接電源供應器，並用馬達控制韋氏起電器的轉速。
2. 用電線連接起電器與金屬板。
3. 將非接觸型靜電場強度計置於金屬板旁，距離適當測量距離(2.5 公分)。
4. 將平口針裝在滴定管的出口。
5. 將液體出口位置置於離地  $H=25\text{cm}$  處及離金屬板圓心  $d=7\text{cm}$  處。
6. 將不同的液體裝入滴定管並使液體以水滴狀流出。
7. 多次測量 50 滴液滴的重量，並取出液滴重量的平均。
8. 開啟電源供應器，調整金屬板至 10000V(由靜電場強度計得知)。
9. 將裝置置入防潮箱中，並控制其保持在 50%RH(相對溼度)的條件下。  
觀察液滴滴在方格紙上的位置，並記錄之。



圖 5-1 觀察液滴滴在方格紙上的位置

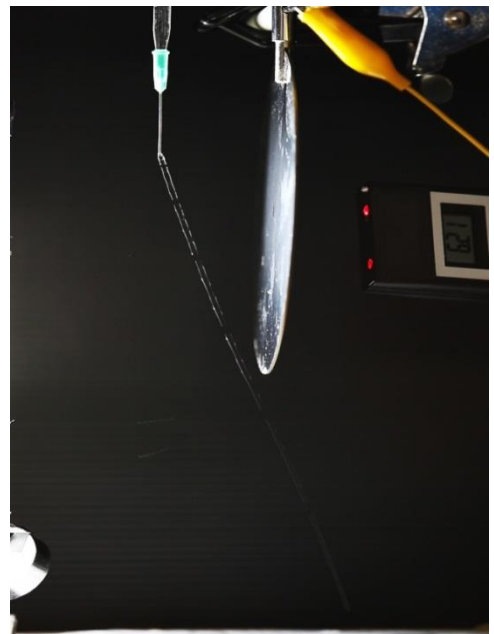


圖 5-2 液體的偏移情形

### 三、實驗三：研究液體在電場下產生偏折情形的因素

#### (一) 證明液體偏移的原因並非摩擦起電

1. 重複實驗二的步驟 1~4。
2. 將針頭接地，並將液體裝入滴定管中使液體以水滴狀滴出。
3. 錄影並疊圖，觀察並記錄液體是否偏折。

#### (二) 證明液體偏移的原因並非管口處的感應起電

1. 將馬達連接電源供應器，並用馬達控制韋氏起電器的轉速。
2. 用電線連接起電器與金屬球。
3. 將金屬球置於離管口處下方 15cm。
4. 將液體裝入滴定管中並使液體以水滴狀滴出。
5. 錄影並疊圖，觀察並記錄液體是否偏折。

#### (三) 證明液體偏折與靜電吸引相關

1. 將馬達連接電源供應器，並用馬達控制韋氏起電器的轉速。
2. 用電線連接起電器與兩金屬電板(一帶正電一帶負電)。
3. 將兩金屬電板置於離管口  $d=5\text{cm}$  處。
4. 將液體裝入滴定管中並使液體以水滴狀滴出。
5. 錄影並疊圖，觀察並記錄液體是否偏折。
6. 再分別將帶正電電板與帶負電電板接地，並以相機記錄其偏折。

### 四、實驗四：研究不同碳數的正烷類在電場下對偏折情形的影響

1. 承實驗二所有步驟，僅改變待測液體與電場電壓。

### 五、實驗五：研究不同碳數的醇類在電場下對偏折情形的影響

1. 承實驗二所有步驟，僅改變待測液體與電場電壓。

### 六、實驗六：研究同分異構物在電場下偏折情形的影響

1. 承實驗二所有步驟，僅改變待測液體與電場電壓。

### 七、實驗七：研究分子間氫鍵對極性液體偏折的影響

1. 承實驗二所有步驟，僅改變待測液體與電場電壓。

### 八、實驗八：研究不同電解質溶液在不同濃度下對偏折情形的影響

1. 承實驗二所有步驟，僅改變待測液體與電場電壓。

## 陸、 研究結果

### 一、觀察非極性液體在電場中是否有偏折情形



圖 6-1 正己烷受帶電氣球吸引的偏折情形

### 二、研究不同液體在電場下的偏折情形

以下實驗數據中，皆以 H 表示針頭離地高度，以 d 表示針頭與電板距離

表 6-1 非極性液體的偏折情形(10000V)

10000V H=25cm d=7cm	正己烷	正庚烷	正癸烷	環己烯	甲苯	對二甲苯
偏移距離(cm)	0.00	0.00	6.90	2.40	2.50	1.50
液滴重量(g)	0.0065	0.0059	0.0086	0.0061	0.0061	0.0057
液滴受力比較	0	0	0.059	0.015	0.015	0.009
莫耳分子受力比較	無法比較	無法比較	980	187	230	159

表 6-2 極性液體的偏折情形(10000V)

10000V H=25cm d=7cm	蒸餾水	乙醇	丙酮	乙酸乙酯
偏移距離(cm)	4.40	9~18	9~21	12~18
液滴質量(g)	0.0145	0.0062	0.0076	0.0044
液滴受力比較	0.064	無法比較	無法比較	無法比較
極性大小(德拜)	1.85	1.69	2.88	1.78

表 6-3 極性液體的偏折情形(7000V)

7000V H=25cm d=7cm	蒸餾水	乙醇	乙酸乙酯	丙酮
偏移距離(cm)	3.30	7.00	7.50	12.00
液滴重量(g)	0.0145	0.0062	0.0044	0.0076
液滴受力比較	0.479	0.043	0.033	0.081
莫耳分子受力比較	59.4	322	661	696
極性大小(德拜)	1.85	1.69	1.78	2.88



### 三、研究液體在電場下產生偏折情形的因素

#### (一) 證明液體偏移的原因並非摩擦起電

本實驗發現不論是極性或非極性液體，偏移距離與未接地時無異，如下圖 6-2

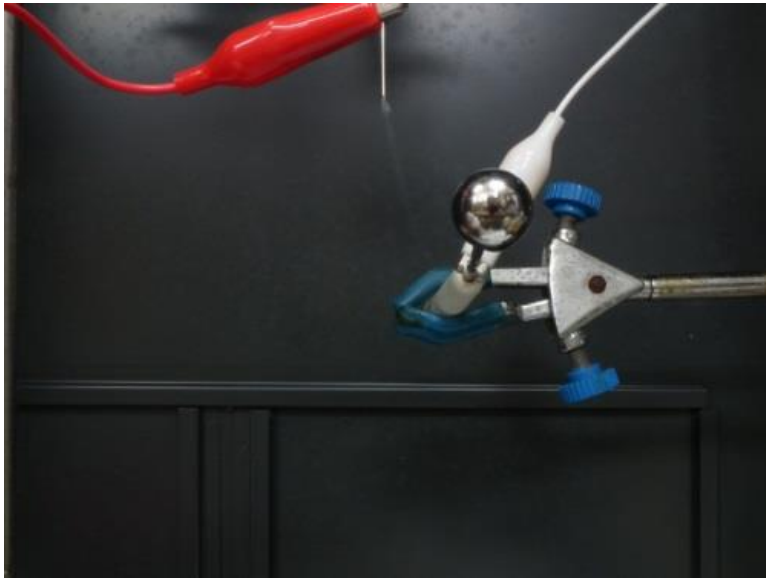


圖 6-2 將針頭接地後的偏移情形

#### (二) 證明液體偏移的原因並非管口處的感應起電

本實驗發現任何液體，在電球置於管口下方時，均會向電球偏折，而偏折距離比電球置於管口處的情況小，如下圖 6-3。

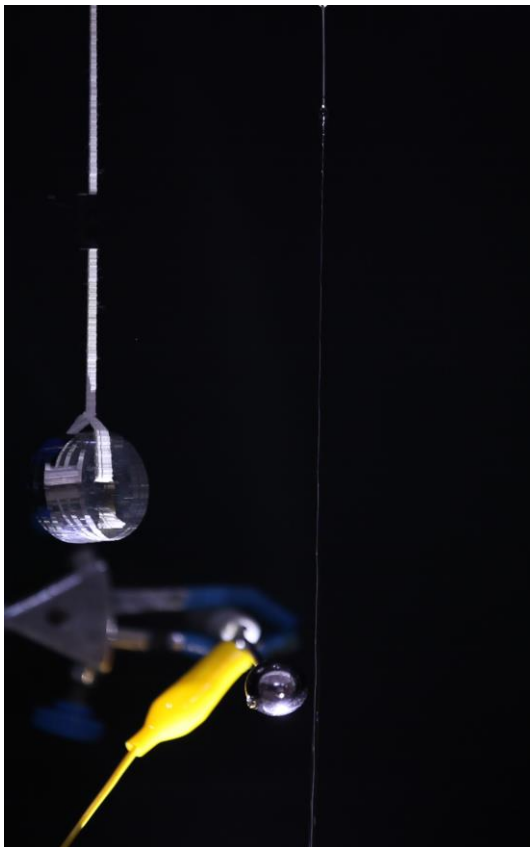


圖 6-3 將金屬球置於管口下方的偏移情形

(三) 證明液體偏折與靜電吸引相關

任何液體在兩電板距離管口相同距離的情況下均不會偏折(如圖 6-4)。若管口處與兩板距離不同，則液滴會偏向距離較近的電板(如圖 6-5)。



圖 6-4 管口與兩電板離相同距離

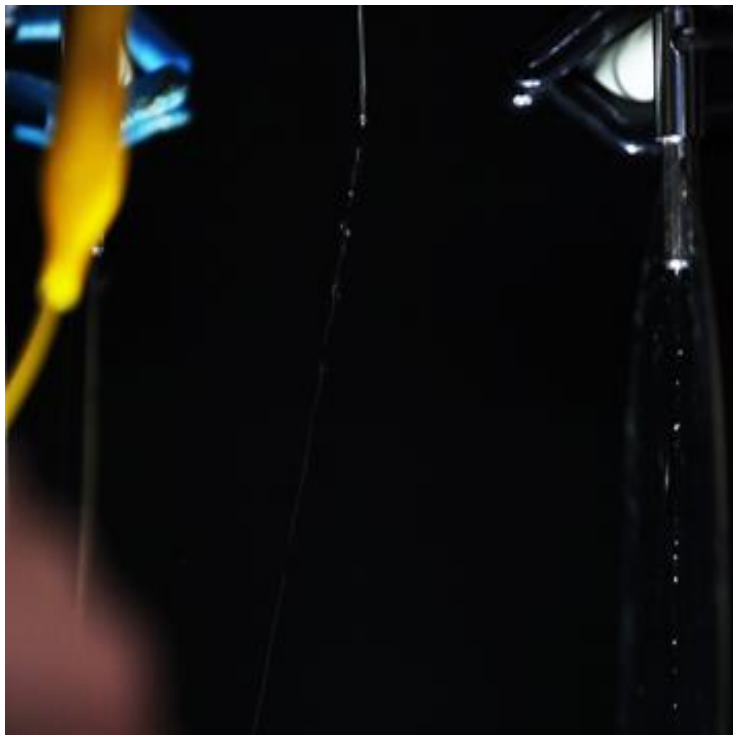


圖 6-5 管口與一電板距離較近

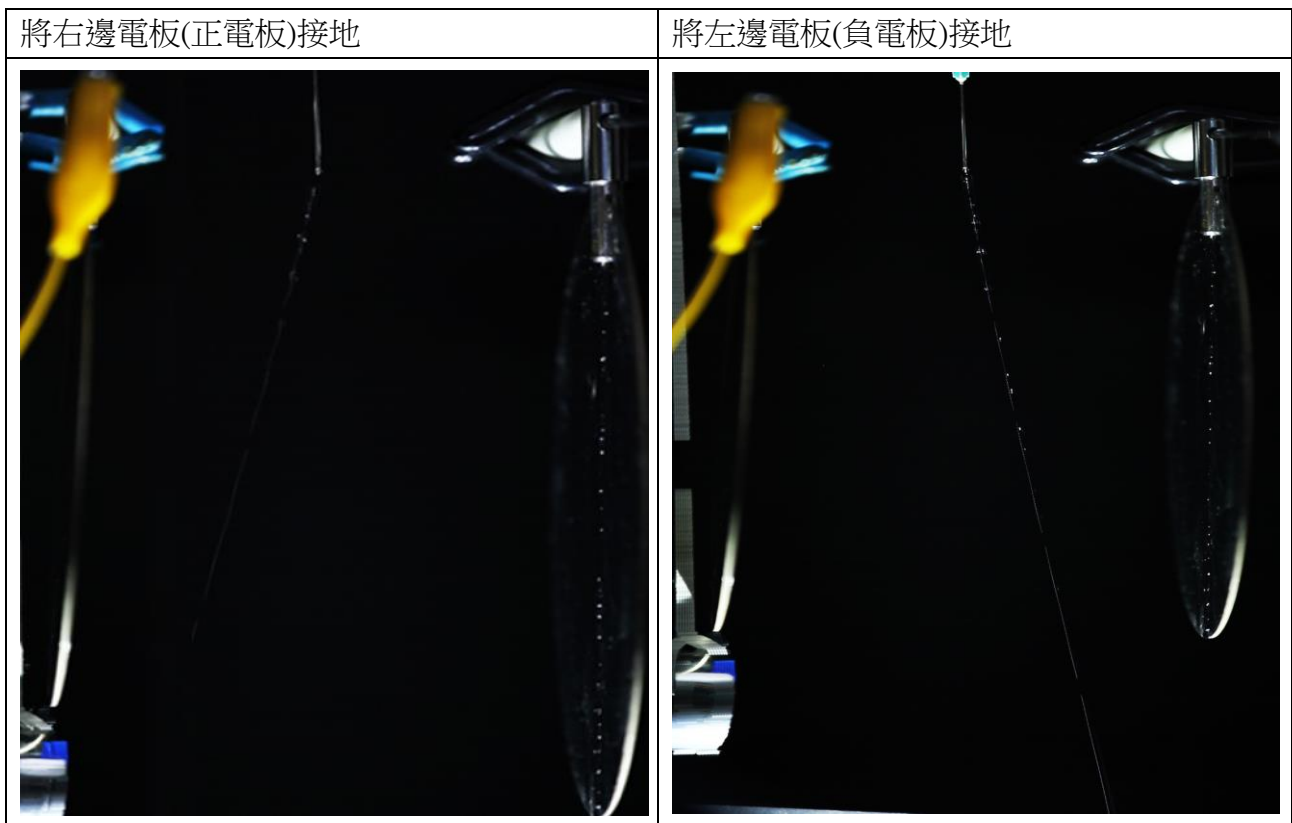


圖 6-6 將正電板與負電板各自接地的偏折情形

#### 四、研究不同碳數的正烷類在電場下對偏折情形的影響

表 6-4 非極性液體的偏折情形(15000V)

15000V H=25cm d=7cm	正己烷	正庚烷	正辛烷	正壬烷	正癸烷
偏移距離(cm)	1.50	2.10	6.60	10.50	12.00
液滴質量(g)	0.0065	0.0059	0.0055	0.0086	0.0086
液滴受力比較	0.010	0.012	0.036	0.09	0.103
莫耳分子受力比較	129	210	752	1344	1704
電子數	50	58	66	74	82

#### 五、研究不同碳數的正醇類在電場下對偏折情形的影響

表 6-5 極性液體的偏折情形(7000V)

7000V H=25cm d=7cm	乙醇	正丙醇	正丁醇
偏移距離(cm)	7.00	10.50	13.50
液滴質量(g)	0.0062	0.0058	0.0064
液滴受力比較	0.043	0.061	0.087
莫耳分子受力比較	322	630	999
電子數	28	34	40
極性(德拜)	1.69	1.55	1.66

六、研究同分異構物在電場下偏折情形的影響

表 6-6 二甲苯的同分異構物之偏折情形(10000V)

10000V H=25cm d=7cm	對二甲苯	間二甲苯	鄰二甲苯
偏移距離(cm)	1.50	1.90	3.00
液滴質量(g)	0.0045	0.0074	0.0070
液滴受力比較	0.0068	0.0141	0.0210
莫耳分子受力比較	159	201	318
電子數	58	58	58
極性(德拜)	0.07	0.33	0.64

表 6-7 丙酮與丙醛的偏折情形(7000V)

7000V H=25cm d=7cm	丙醛	丙酮
偏移距離(cm)	5.80	12.00
液滴重量(g)	0.0096	0.0076
液滴受力比較	0.056	0.081
莫耳分子受力比較	338	696
極性大小(德拜)	2.52	2.88
分子電子數	32	32

七、研究分子間氫鍵對極性液體偏折的影響

表 6-8 丙三醇、乙二醇與正丙醇

7000V H=25cm d=7cm	丙三醇	乙二醇	正丙醇
偏移距離(cm)	2.10	4.50	10.50
液滴質量(g)	0.0398	0.0085	0.0058
液滴受力比較	0.835	0.038	0.061
莫耳分子受力比較	193	279	630
電子數	50	34	34
極性(德拜)	2.56	2.36	1.55
氫鍵個數	最多	次之	最少

八、研究不同電解質溶液在不同濃度下對偏折情形的影響

表 6-9 氯化鈉水溶液

10000V H=25cmd=7cm	1.00M	2.00M	3.00M	4.00M
偏移距離(cm)	4.40	4.50	5.70	6.40
溶液密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.02	1.05	1.08	1.13
單位體積受力	4.48	4.73	6.16	7.23

表 6-10 硫酸鎂水溶液

10000V H=25cm d=7cm	0.50M	1.00M	1.50M	2.00M
偏移距離(cm)	3.80	4.00	4.50	5.00
溶液密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.05	1.09	1.15	1.20
單位體積受力	3.99	4.36	5.18	6.00

## 柒、 討論

### 一、觀察非極性液體在電場中是否有偏折情形

本實驗發現不管是極性或非極性，任何液體均有所偏折，只是程度不同。而且本實驗發現只有在第一次摩擦之後的氣球足以讓非極性液體偏折，推測應該是摩擦多次會使電子轉移的效能降低以致電壓不足而引起明顯偏折。

### 二、研究不同液體在電場下的偏折情形

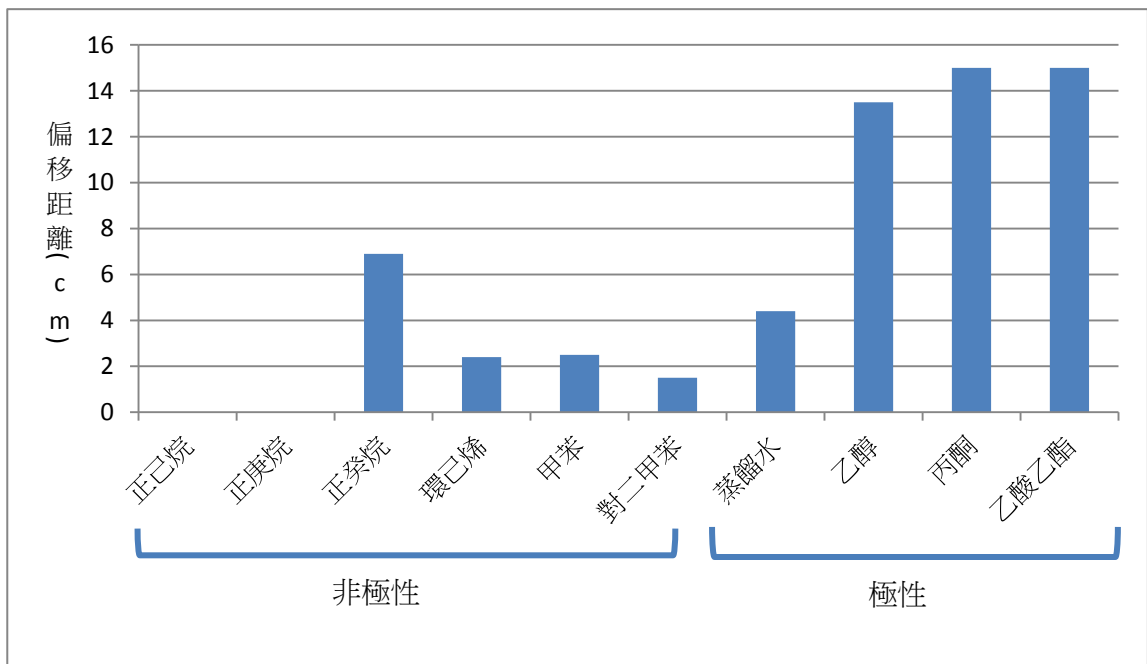


圖 7-1 極性與非極性液體在電場下的偏折距離(10000V)

由上圖 7-1 可以發現整體上非極性液體的偏折小於極性液體的偏折，但可以看到有極性的液體偏移距離與極性大小不是完全正相關，因此無法判斷偏移距離與極性大小的關係。同理也可以發現在非極性液體中，其偏折未必都很小。

由於乙醇、丙酮、乙酸乙酯在 10000 伏特下，三者受力太大，使液滴分散成小雨滴狀散落在一個大致的範圍內，不易觀察，表 7-1 是取散布範圍的上界與下界的平均值。因為乙醇、丙酮、乙酸乙酯三者受力無法比較、因此我們降低電壓至 7000V 並重複實驗，如圖 7-2。

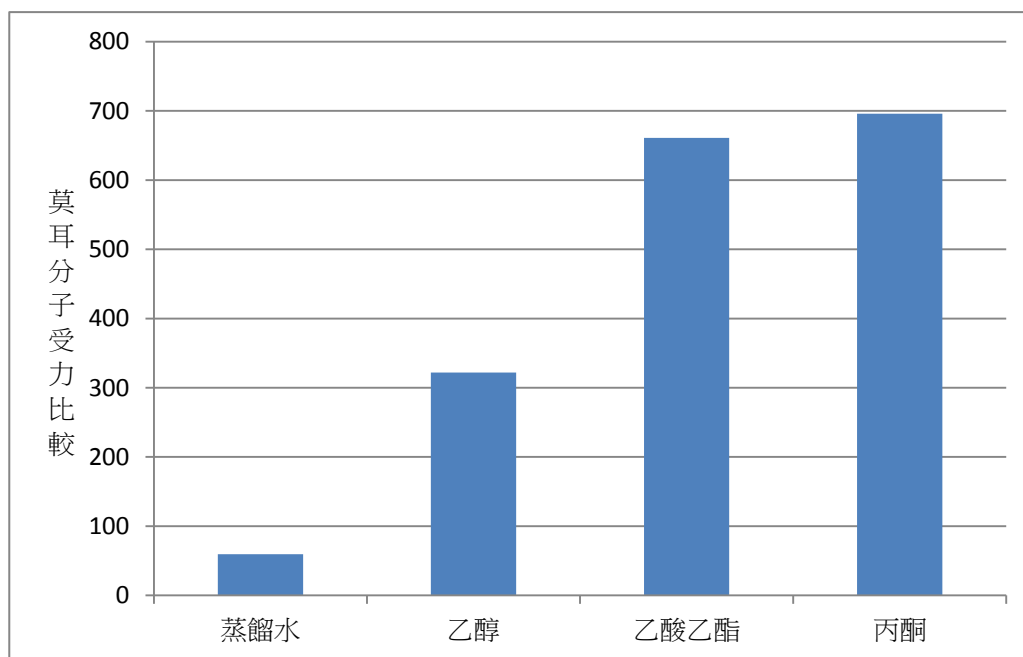


圖 7-2 極性液體在電場下的偏折距離(7000V)

	蒸餾水	乙醇	丙酮	乙酸乙酯
極性(德拜)	1.85	1.69	1.78	2.88

表 7-1 各種液體之極性大小

由上圖可以發現有機極性液體的分子受力比較與極性大小呈現明顯的正相關，但若將水列入此表則無法呈現規律。

我們猜測水的分子間氫鍵較多，儘管有相當大的極性，偏折程度相較於其他極性分子來的不明顯，因此在我們實驗七研究分子間氫鍵對極性液體的影響。

### 三、研究液體在電場下產生偏折情形的因素

#### (一) 證明液體偏移的原因並非摩擦起電

在實驗中我們發現不論是極性或非極性液體，偏移距離與未接地時無異。若是液滴與玻璃滴管發生摩擦起電，則在出管口處時，電荷應該會被接地線帶走，導致液體沒有偏折。另外，若是液滴發生摩擦起電，則液滴應該會與其中一個電板發生排斥。由圖 6-6 可以發現並非如此，因此可以推斷液滴並非摩擦起電。

#### (二) 證明液體偏移的原因並非管口處的感應起電

本實驗發現任何液體均會向電球偏折，偏折距離比電球置於管口處的情況小，如圖 6-3。由於液滴在受力時，已有相當大的向下速度，故偏折較置於管口處的情況小應為合理情況。且若是因管口處的感應起電而偏折(如圖 7-4)，則本實驗在管口處置一電球，並在管口處下方再放置一帶異性電荷的電球時，液滴應該受到斥力而往遠離電球的方向偏折。但根據本實驗的結果，液滴依然會被吸引向電球而沒有發生排斥(如圖 7-3)。因此本實驗也可以推斷液體的偏折原因並非發生在管口處的感應起電。

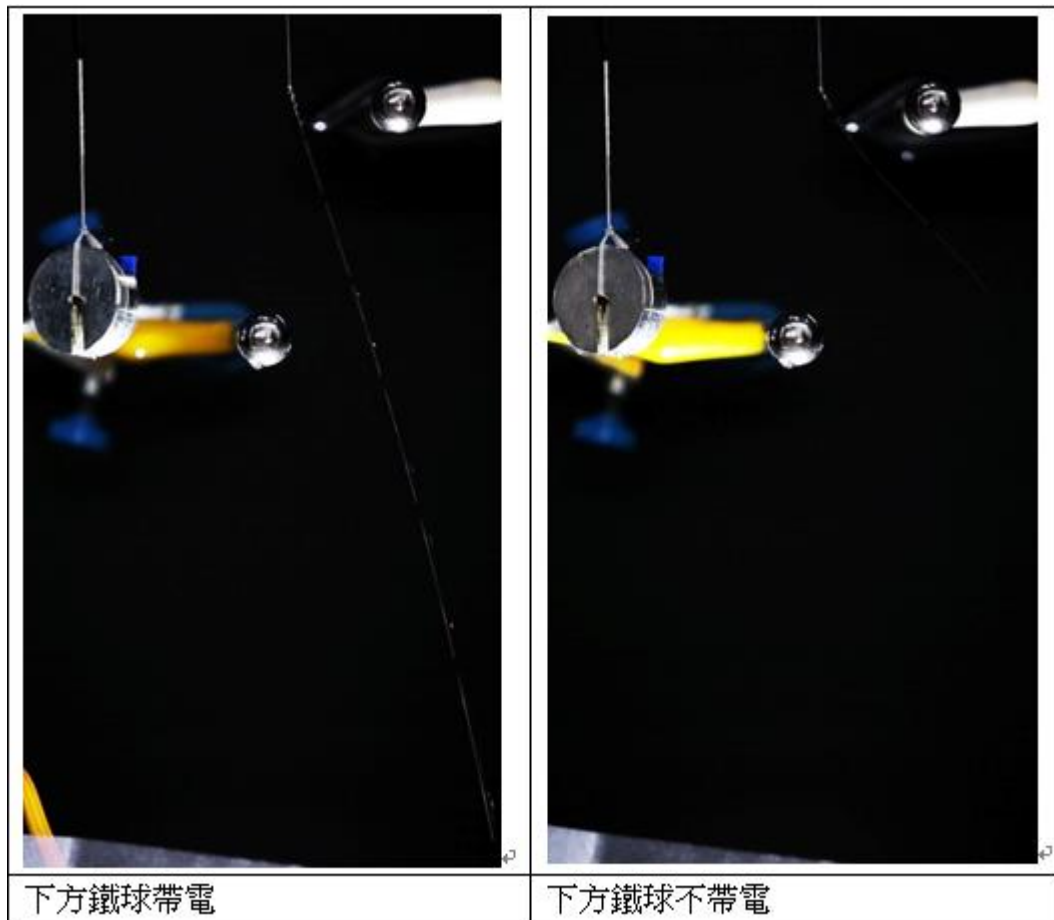


圖 7-3 下方電球仍然會吸引液滴向電球靠近

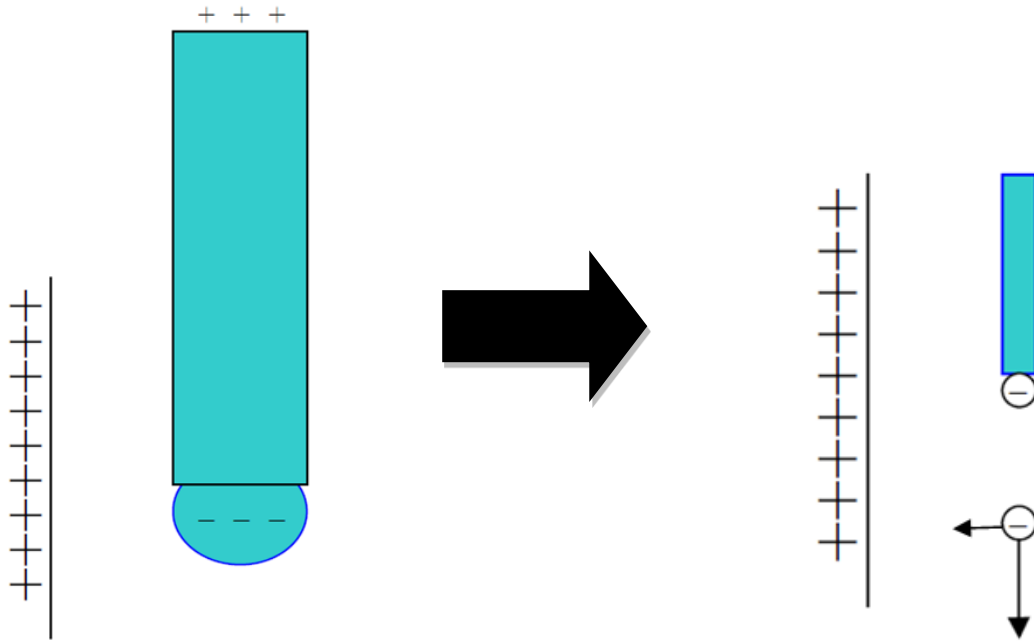


圖 7-4 取自第 51 屆中小學科學展覽會『水被電死了』

### (三) 證明液體偏折與靜電吸引相關

任何液體在兩電板距離管口相同距離的情況下均不會偏折。若管口處與兩板距離不同，則液滴會偏向距離較近的電板。因為較接近其中一邊的電板，受靜電感應比較強，而導致液滴偏向距離較近的電板。

我們合理推論液體偏折的原因為**液體受靜電感應**而造成偏折。以下實驗探討影響**液滴感應電極化**的因素。



#### 四、研究不同碳數的正烷類在電場下對偏折情形的影響

在實驗二中，我們發現正癸烷偏折的情形異常的大。我們推測偏折的大小可能與電子數有關。本實驗選擇六到十個碳數的正烷類來比較，而選擇正烷類是因為正烷類為非極性液體且分子形狀相似。

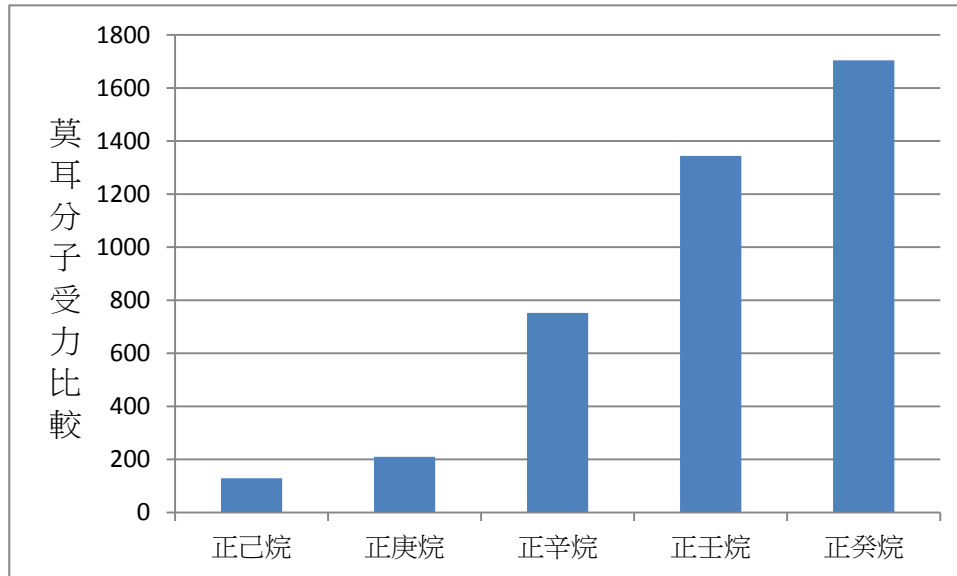


圖 7-5 不同碳數的正烷類的莫耳受力比較(15000V)

	正己烷	正庚烷	正辛烷	正壬烷	正癸烷
電子數	50	58	66	74	82

表 7-2 烷類電子數

由圖 7-5 與表 7-2 可以發現正烷類的電子數與偏折的大小成正相關。根據這個趨勢，本實驗可推測電子數是影響非極性液體被電極化的因素。

## 五、研究不同碳數的正醇類在電場下對偏折情形的影響

在實驗四中，證明了非極性液體的電子數是影響非極性液體被電極化的因素。我們想證明在極性液體中也會有相同結果，並非只適用在非極性液體中。因此在本實驗我們選擇極性相近的醇類，來比較分子中的電子數對偏折情形的影響。

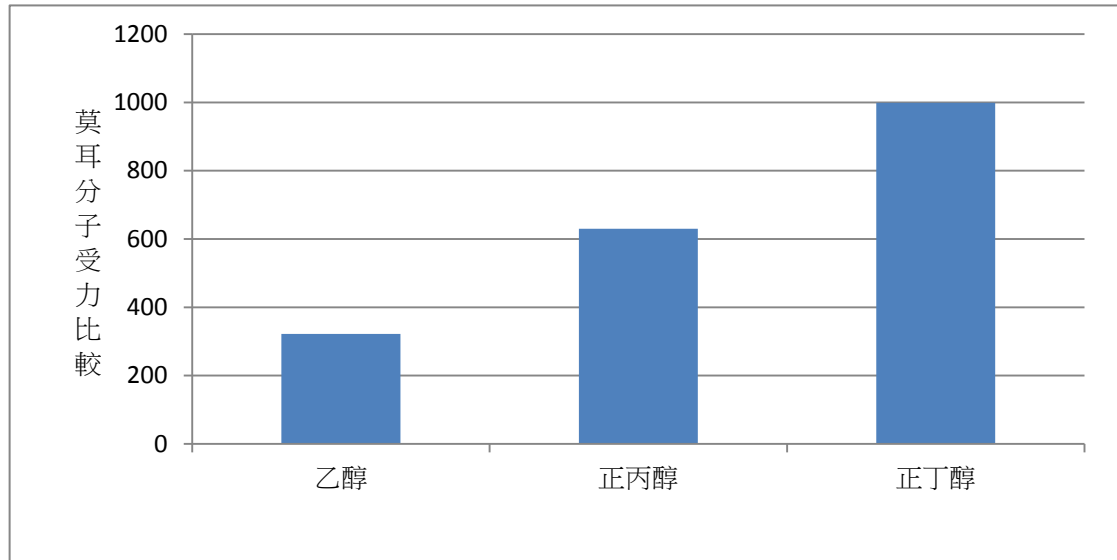


圖 7-6 不同碳數的醇類的莫耳受力比較(7000V)

	乙醇	正丙醇	正丁醇
電子數	28	34	40
極性(德拜)	1.69	1.55	1.66

表 7-3 醇類極性大小與電子數

由圖 7-6 與表 7-3 可以發現相同的趨勢存在極性液體中，醇類的電子數與偏折情形也呈現正相關。根據這個趨勢，本實驗可推測電子數也會影響極性液體的偏折。

## 六、研究同分異構物在電場下偏折情形的影響

由於在實驗二中的各種物質，其結構與性質有相當大的差異。因此在本實驗中，我們選擇二甲苯的同分異構物以及丙酮與丙醛，以控制相似之分子結構與相同的電子數，來觀察並確認極性大小與液體偏折有相當密切的關係。

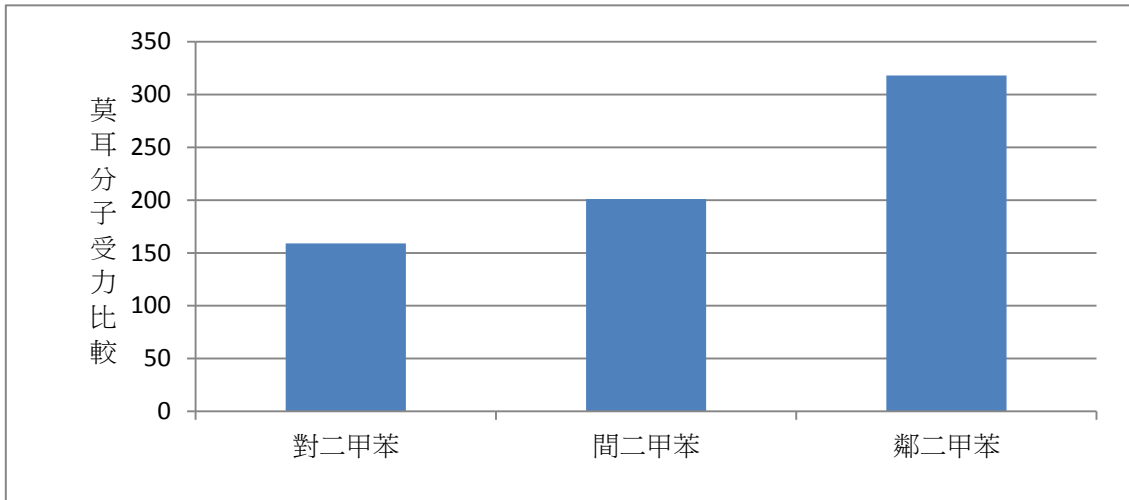


圖 7-7 二甲苯的同分異構物的偏折情形(10000V)

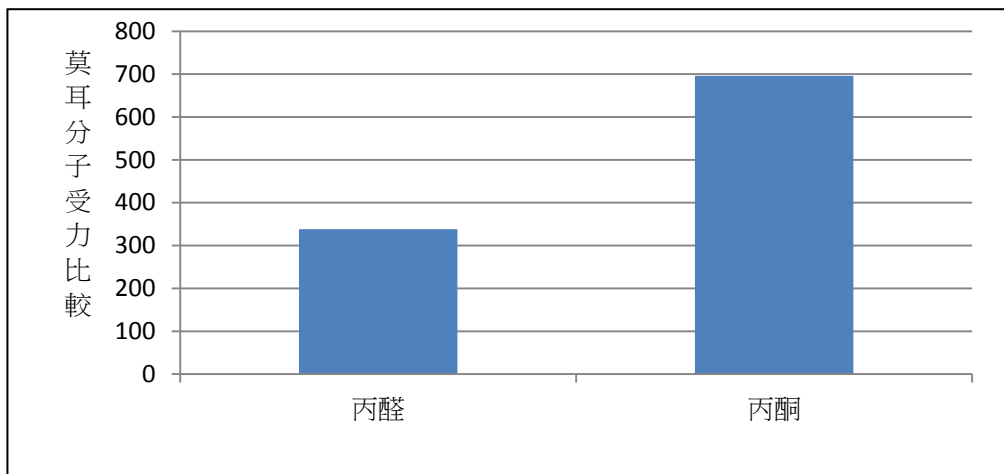


圖 7-8 丙酮與丙醛的偏折情形(7000V)

由圖 7-7 與 7-8 可以發現二甲苯的同分異構物隨著極性的增加，莫耳分子受力比較也隨之增加，而丙酮與丙醛兩種同分異構物也有相同趨勢。由此可推得，液體在受力偏折時，極性同時也是影響偏折大小的重要因素。

## 七、研究分子間氫鍵對極性液體偏折的影響

由於在實驗二中，我們發現水的分子極性大，但偏折較小，使我們深感好奇，推測是因為分子間氫鍵所造成。在本實驗中選擇了乙二醇與正丙醇這兩種極性液體來做比較。而選擇這兩種液體的原因，是因為兩者的電子數相同且乙二醇的極性大於正丙醇，但乙二醇比正丙醇多一個羥基。本實驗以分子間氫鍵為變因來比較。

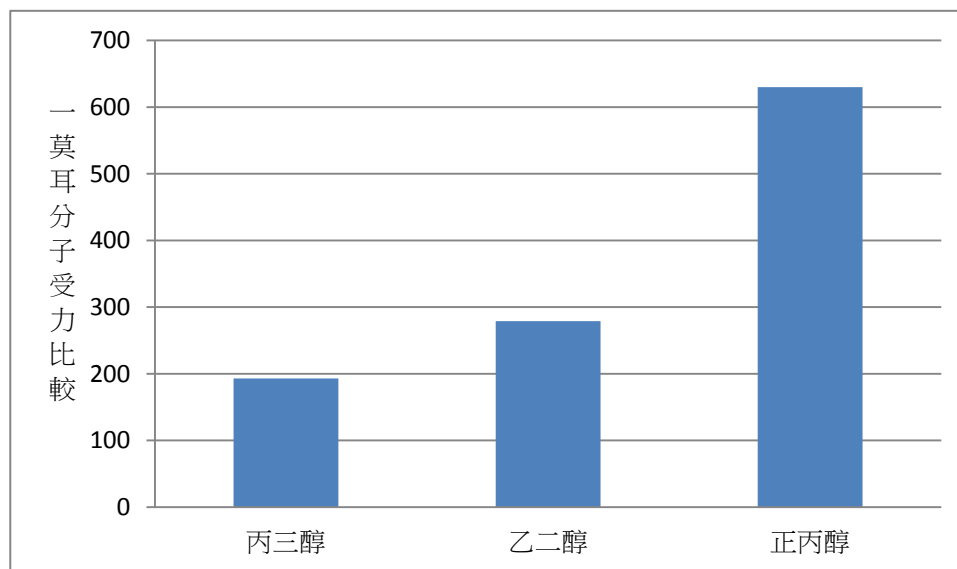


圖 7-9 丙三醇、乙二醇與正丙醇的偏折情形

	丙三醇	乙二醇	正丙醇
電子數	50	34	34
極性(德拜)	2.56	2.36	1.55
氫鍵個數	最多	次之	最少

表 7-5 丙三醇、乙二醇與正丙醇之性質

由圖 7-9 與表 7-5 可以發現乙二醇的莫耳分子受力遠小於正丙醇，但在表中可以發現兩者電子數相同且乙二醇極性大於正丙醇，理論上，乙二醇的莫耳分子受力應大於正丙醇。另外，丙三醇的電子數與極性都是三者最大的，受力卻是最小的。我們推測造成此特例的原因，是因為分子間氫鍵的個數不同所造成。

## 八、研究不同電解質溶液在不同濃度下對偏折情形的影響

由於此實驗的待測物體為混合物，不適合以單位莫耳受力比較來探討。因此我們選用單位體積的受力。

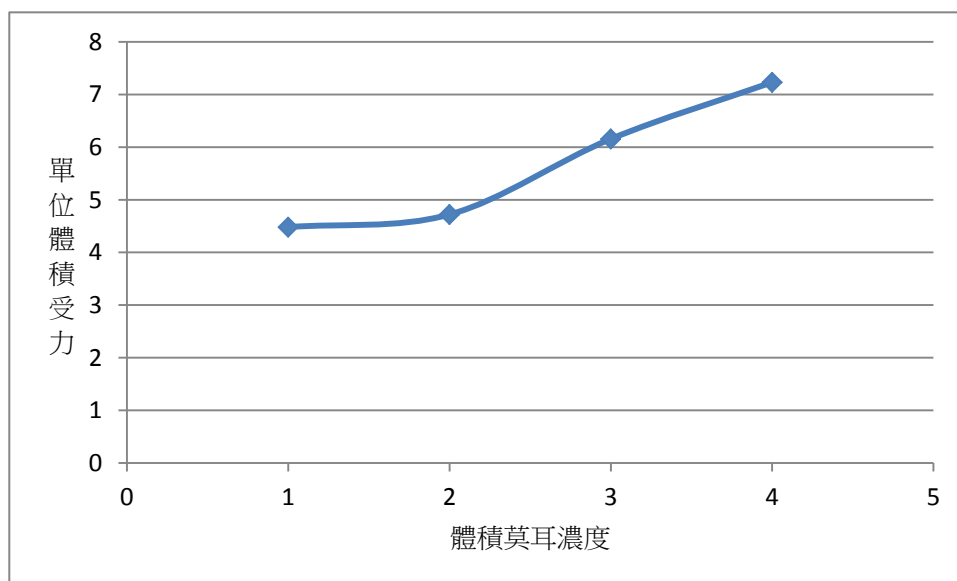


圖 7-10 氯化鈉水溶液的偏折情形

由圖 7-10 可以發現液滴受力明顯與溶液的濃度呈現正相關。

我們猜測離子價數與偏折情形有相當關係，因此選了離子價數不相同的硫酸鎂來實驗。而由於 2M 已接近硫酸鎂在常溫下的飽和濃度，因此我們選定了圖中的四種濃度來做實驗。

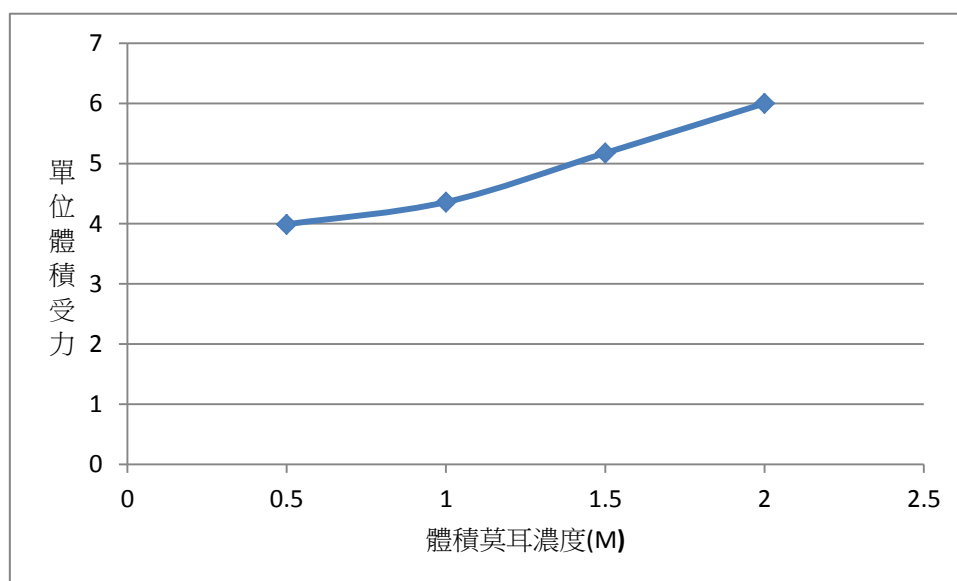


圖 7-11 硫酸鎂水溶液的偏折情形

我們可以發現硫酸鎂不僅也有受力隨溶液濃度上升的趨勢。而且二價的硫酸鎂在相同濃度下的受力也較一價的氯化鈉來得大。由於擁有三價離子及能夠在水溶液中達到一定溶解度的物質不易尋找，因此沒有繼續以三價的離子化合物來實驗。

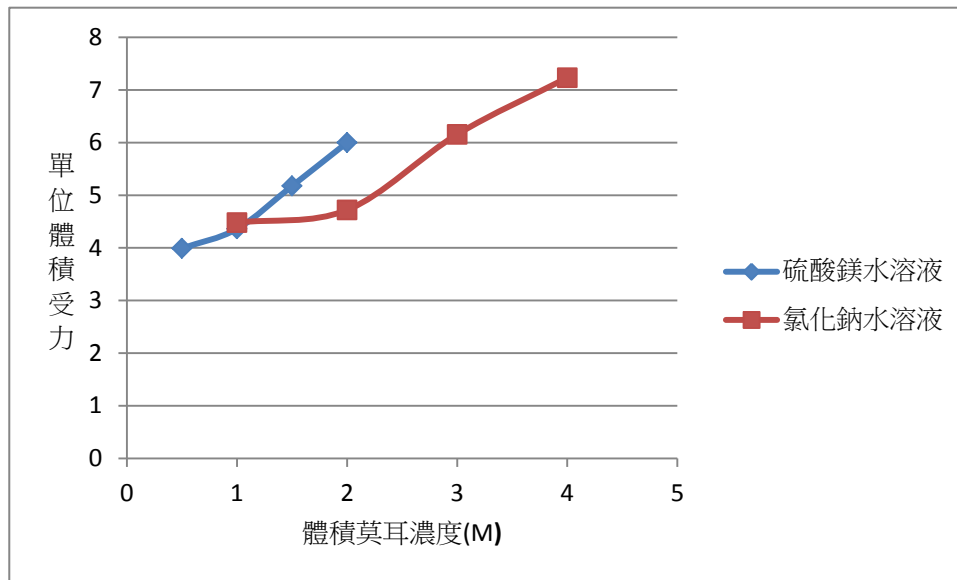


圖 7-12 氯化鈉水溶液與硫酸鎂水溶液的偏折情形的比較

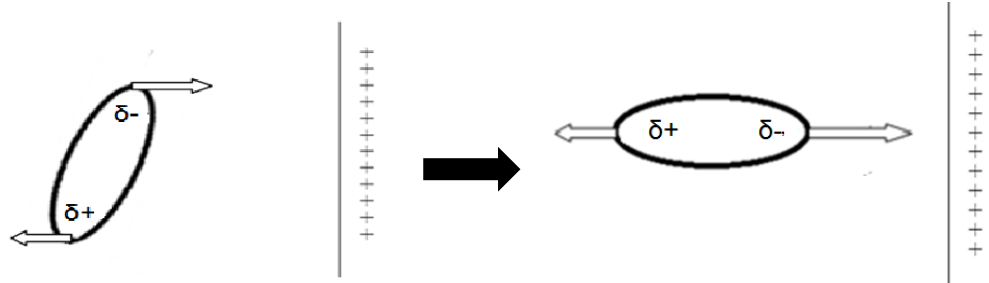
我們推論離子的存在，使離子在溶液中產生相對位移，產生離子位移極化，增加液滴的受力。溶液的濃度越高，價數越高，受力越大。

## 九、綜合探討液體在電場下對偏折情形的影響

(一) 經過上述實驗的結果，我們推得液體偏折的原因是包括下列各項作用力：

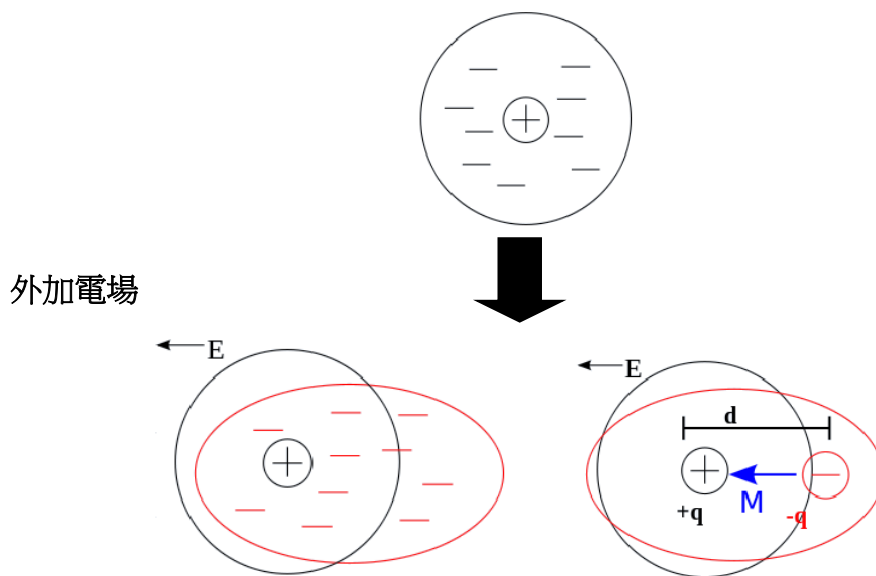
### 1. 極性分子

- (1) 本身的極性在外加電場之下，由於分子帶異性電荷端會被吸引向電板，導至距離電板較近，形成合力向金屬電板的情況。

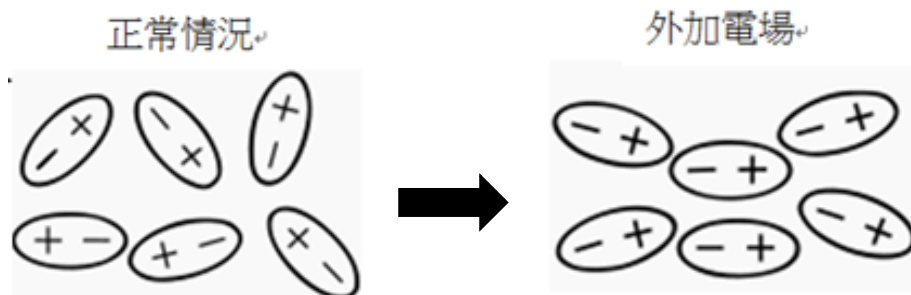


- (2) 內部電子在外加電場下的相對位移(即分子會改變其正常電子分佈), 產生感應偶極

### 正常情況



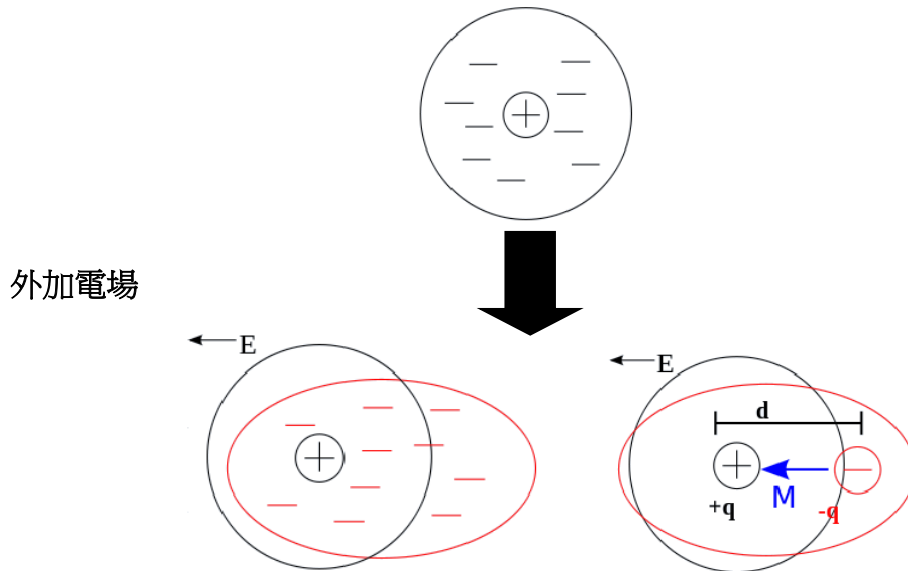
而上述的兩種原因皆會使分子在液滴中的排列趨於整齊，使得整個液滴的受力達到最大，造成如下圖的情況，使液體偏折。



## 2. 非極性分子

- (1) 內部電子在外加電場下的相對位移(即分子會改變其正常電子分佈), 產生感應偶極

### 正常情況



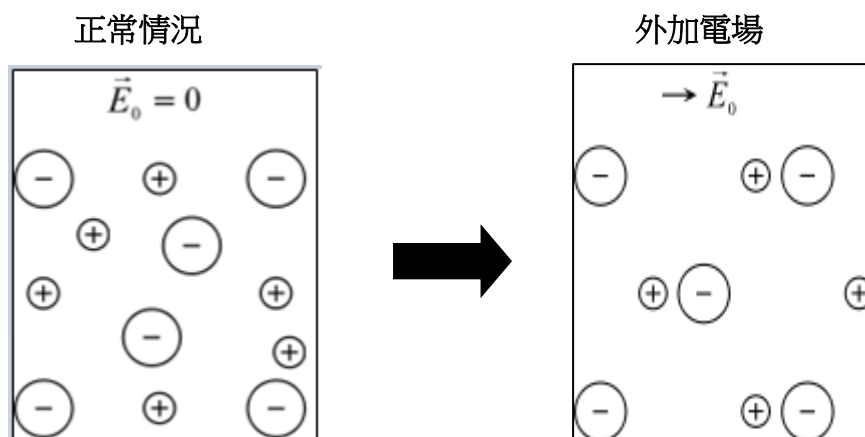
而被極化後非極性分子也會在液滴中重新排列，趨於整齊，並使受力達到最大。如下圖的情況。





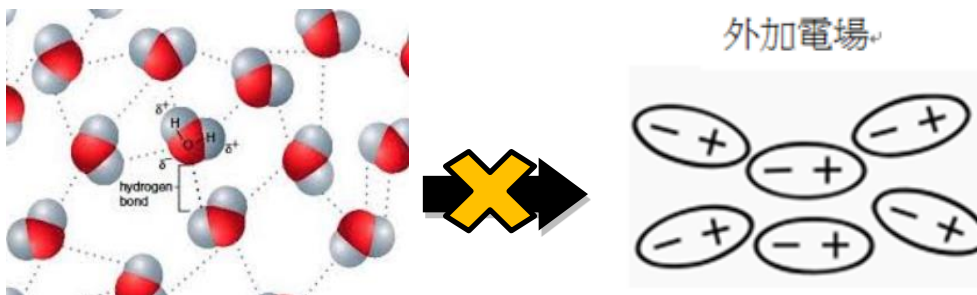
### 3. 離子溶液

- (1) 水分子(即溶劑)的極性在外加電場之下,由於分子帶異性電荷端會被吸引向電板,導至距離電板較近,形成合力向金屬電板的情況。
- (2) 分子內部電子在外加電場下的相對位移(即分子會改變其正常電子分佈),產生感應偶極。
- (3) 離子位移極化:施加外加電場時,溶液中陰離子與陽離子之間產生相對位移的過程。



### 4. 水、乙二醇與丙三醇的特例

而根據實驗結果,我們發現水、乙二醇與丙三醇儘管有相當大的極性,偏折卻相較於其他極性分子來的不明顯。本實驗推論分子間氫鍵個數較多,分子不易重新排列導致受力較其他極性分子小。



(二) 感應偶極矩理論估計：

1. 首先利用電壓求得圓電板上的電荷密度，並利用推得的電荷密度計算電板圓心正右方之電場大小。

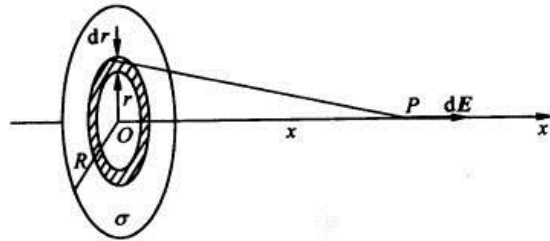
$$E(x) = \frac{V}{R} \left[ 1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right]$$

E(x)：電場大小

V：圓電板之電壓

R：圓電板半徑(9.5cm)

x：與電板圓心距離(7cm)

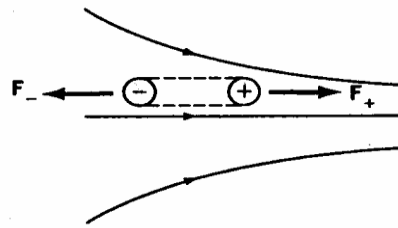


2. 液滴在未離開電板(即仍受有靜電力)，為等加速度運動。而液體在離開電板後，水平方向為等速度運動。利用已知的液滴落地時間(已知距地高度)，與速度運動公式，求出液滴在所受的靜電力大小。
3. 如果電偶極沿水平軸排列，則我們可將受力寫成如下的公式。

$$F = P \frac{dE(x)}{dx}$$

F：單一分子受力

P：單一分子電偶極矩向量和



4. 並用已知的液滴受力推算出單一分子的電偶極矩大小

由於極性分子本身有永久偶極，無法單純計算感應偶極舉的大小。因此我們選用正烷類來估計液體所產生的平均感應偶極矩

15000V H=25cm d=7cm	正己烷	正庚烷	正辛烷	正壬烷	正癸烷
加速度(m/s <sup>2</sup> )	0.689	0.965	3.033	4.826	5.515
單一分子受力(10 <sup>-27</sup> N)	10	16	57	103	130
單一分子感應偶極矩 (10 <sup>-32</sup> C*m)	11.4	18.5	66.2	118	150
單一分子感應偶極矩 (Debye)	0.034	0.056	0.199	0.355	0.451

由於我們的估計方法是以每個分子皆沿垂直電板之水平軸排列，且電場大小取液滴離開針口處的電場，故實際值應大於上表之估計值。

## 捌、 結論

- 一、由實驗一我們用摩擦後的氣球做為電場，發現各種液體其實都會偏折，並不是只有極性的液體會偏折。
- 二、由實驗二發現非極性液體在電場 10000V 下，正己烷與正庚烷不偏折，其他皆會偏折；而在電場 15000V 下，全部非極性液體皆會偏折。
- 三、極性液體在電場 10000V 下，乙醇、丙酮、乙酸乙酯會因受力過大，而無法凝聚在一起，成噴霧狀，導致不易觀察；而在電場 7000V 下情況會改善。
- 四、由實驗二得到結論：液滴在電場中的偏折現象，極性是不可忽略因素之一，並非唯一的決定因素。與第 47 屆中小學科學展覽會—『有多「極」滴滴看就知道』中提及非極性液體的偏折為誤差不相符。
- 五、由實驗三證實液體偏折的主要原因為靜電感應，並非是第 51 屆中小學科學展覽會—『水被電死了』中所說的液體之偏折是管口處的感應起電造成的。
- 六、由實驗四發現正烷類碳數與偏折情形成正相關，推測電子數是影響非極性液體被極化的因素。
- 七、由實驗五發現正醇類碳數與偏折情形成正相關，推測電子數也是影響極性液體被極化的因素。
- 八、在實驗六中，進行同分異構物的探討，去除電子數的影響，發現在電子數相同的異構物中，極性大小與偏折情形成正相關，推測極性是影響液體偏折的重要因素。
- 九、在實驗七我們證明水、乙二醇與丙三醇的特例(雖較其他分子的極性大，但偏折情形較小)的原因，是因為三者皆有較多的分子間氫鍵，造成不易改變排列方式，故偏折與預期不符。
- 十、在實驗八中發現電解質溶液的濃度越大，離子的價數越大，液滴的受力越大。
- 十一、本實驗經過理論推導，我們可以計算出感應偶極矩的大小。
- 十二、本實驗得到結論：偏折現象並非單一因素引起。在極性液體中，極性與電子個數同時影響液體的偏折；而非極性液體中，電子個數是主要的影響因素。

## 玖、 未來展望

- 一、本實驗希望能找出在極性液體中，極性大小與被極化的難易程度(電子數多少)對分子偏折影響的比例大小。
- 二、未來希望將本方法應用於同分異構物的判斷(以往必須經過儀器的分析)，而且本方法所需時間極短，器材便宜，操作簡單，更重要的是此方法為非破壞性分析，即分析過的液體仍可以使用。且本方法操作過程並不會產生有害環境的物質，是符合綠色化學的好方法。

## 壹拾、 參考資料

- 一、《教學資源》抽刀斷水水帶電 / 陳偉民（新莊高中教師）－ 遠哲科學教育基金會  
發現月刊第 141 期
- 二、中華民國第 47 屆中小學科學展覽會－『有多「極」滴滴看就知道』－嘉義縣私立協  
同高級中學
- 三、中華民國第 51 屆中小學科學展覽會－『水被電死了』－國立羅東高中
- 四、中華民國第 18 屆中小學科學展覽會－『極性及非極性分子的研究』－國立台南二中
- 五、中華民國第 51 屆中小學科學展覽會－『拍出液體的表面張力』－宜蘭縣立中華國民  
中學
- 六、Arthur R. von Hippel 《Dielectric Materials and Applications》 (Technology Press of MIT and  
John Wiley, NY, 1954).
- 七、Weast, Robert C. (1984). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (65th ed.). CRC Press.  
ISBN0-8493-0465-2

## 【評語】 040201

研究目的為探討極性及非極性液體在電場中偏折之行為，並試圖解釋偏折的原因。作者提出了以極化程度解釋偏折的原因，但較缺少文獻的探討以支持所提出解釋之合理性。