

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

佳作

031611

有多「極」，滴滴看就知道

學校名稱：嘉義縣私立協同高級中學

作者：	指導老師：
國三 楊晉瑜	何世明
國三 楊政玔	張財福
國三 黃國育	

關鍵詞：極性分子電偶極矩 電場 側位移

有多「極」，滴看看就知道

摘要

本實驗是利用極性分子的電偶極矩(p)在不均勻電場中，受到淨力不為零的原理，自製造成水平方向均勻與不均勻電場(變化率 $\Delta E/\Delta x$ 固定)的裝置，探討一些極性不同的液體在均勻電場與不均勻電場作用下，利用滴定管滴下，測量其在電場與重力作用下，自由落下相同高度後的側位移，探討側位移與極性的關係，由我們的實驗結果顯示，極性物質在均勻電場中因受合力幾乎為零，無法產生明顯的側偏移。在不均勻(變化率固定)電場作用下，極性不同的液體其側偏移與分子極性呈現一定的相關性，幾近正相關，且重複多次均得到相同的結果。所以，推論應可由此方式得知液態極性物質的分子極性強度。

一、研究動機：

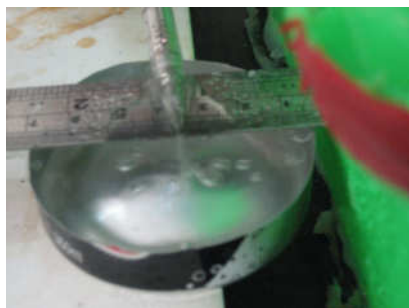
在一堂理化課中，老師談到了「電流的磁效應」，幾個熱愛電學的同學，便在下課閒暇之餘討論電學的理念，恰巧老師曾在課堂略加說明了物質在電場或靜電力的作用下會產生偏移，引發了我們的興趣，決定去找指導老師討論，深入討論後，發現物質的偏轉率似乎與物質的分子極性有關，我們便展開了這次的實驗。

二、研究目的：

1. 分別將極性與非極性物質利用滴定管滴下，測量其在水平均勻電場與重力作用下，自由落下一定高度後是否產生側位移，證明極性物質在均勻電場中因受合力為零，所以無法產生明顯的側偏移。
2. 改用不均勻電場，以相同方式操作，證明極性物質在不均勻電場作用下，因受合力不為零，會產生側偏移；非極性物質在不均勻電場作用下，因受合力幾乎為零，無法產生側偏移。
3. 在相同電場分布(不均勻)條件下，分別將分子極性大小不同的樣品利用滴定管滴下，測量其在電場與重力作用下，自由落下一定高度後的側位移，探討側位移與分子極性的關係，證明可由此方式得知該物質分子極性強弱。

三、研究設備及材料：

- | | |
|--|--------------------|
| 1. 自製平行電板 | 一組(高:156cm、長:60cm) |
| 2. 金屬棒 | 一支(長 60cm) |
| 3. 金屬板 | 一個(約長 15cm、高 10cm) |
| 4. 直流電源供應器 | (500v)、(2000v)各一 |
| 5. 滴定管 | 一組 |
| 6. 滴管 | 數支 |
| 7. 方格紙 | 數張 |
| 8. 正己烷(n-Hexane)、乙酸乙酯(Ethyl acetate)、丙酮(Acetone)、冰醋酸(Acetic Acid)、甲醇(Methyl alcohol)、乙醇(Alcohol)、甲苯(Methyl benzene)、水(water) | 各約 1000ml |
| 9. 橡膠手套 | 若干個 |

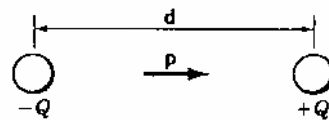


四、原理：

(一)、極性分子在均勻電場中的受力情形：

1. 極性分子乃因分子電荷分佈不均勻，行成一端帶正電、一端帶負電的情形，所以每個分子的電荷分佈可視為一個電偶極。

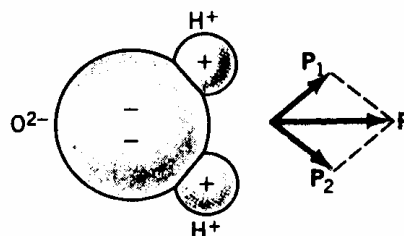
2. 電偶極矩(electric dipole moment) $\vec{p}$ ，如圖(一)，定義為一個電荷 Q 與其分離的距離 d 的乘積：



圖(一)

$$p = Qd \quad (1)$$

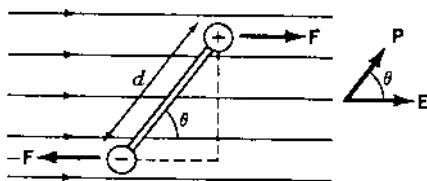
其方向為負電荷指向正電荷。當涉及三個或三個以上電荷時，如水分子(圖(二))，其淨偶極矩為兩偶極矩的向量合。



圖(二)

3. 如圖(三)所示，電偶極矩在均勻電場中，和電場夾 θ 角。電荷由電場感受到大小相等方向相反的力，所以受淨力為零。但此電偶極卻受到一個轉矩

$$\tau = 2(qE)\left(\frac{d}{2} \sin \theta\right) = pE \sin \theta, \text{ 即 } \tau = \vec{p} \times \vec{E} \quad (2)$$

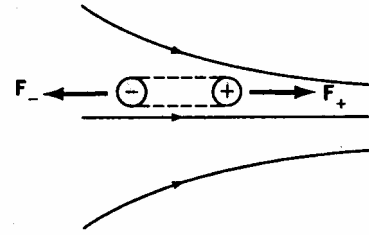


圖(三)

(二)、極性分子在不均勻電場中的受力情形：

1. 如圖(四)所示，電偶極矩在不均勻電場中，受到淨力不為零。圖(四)中，電場在正電荷處較強。如果 E_+ 及 E_- 分別為正電荷及負電荷處的電場強度，則偶極上的淨力為

$$F = q(E_+ - E_-) = q\Delta E \quad (3)$$



圖(四)

2. 如果電偶極沿 x 軸排列，則我們可寫成 $p = q\Delta x$ ；而

$$F = \frac{p\Delta E}{\Delta x} \quad (4)$$

淨力 F 與電偶極 p 及電場強度的變化率 $\frac{\Delta E}{\Delta x}$ 成正比。

3. 如果我們在相同電場分布條件下(固定電場強度水平方向的變化率 $\frac{\Delta E}{\Delta x}$)，分別將分子極性大小不同的樣品利用滴定管滴下，因液體自由滴下相同高度所需時間相同

$$\Delta Y = \frac{1}{2}gt^2 \quad ; \quad t = \sqrt{\frac{2\Delta Y}{g}} \quad (5)$$

而水平方向上，液體每個分子將受電場作用力如(4)式所示 $F = \frac{p\Delta E}{\Delta x}$ ，由

牛頓第二運動定律 $F = ma$ ，其加速度 $a \propto F$ ，而其橫向位移

$$\Delta X = \frac{1}{2}at^2 \quad (6)$$

因液體自由滴下相同高度所需時間相同，故而側偏移 ΔX 將與電場作用力 F 成正比，而在固定電場強度水平方向的變化率 $\frac{\Delta E}{\Delta x}$ 一定的條件下，電場作用力 F 又與電偶極 p 成正比。由此可推知側偏移 ΔX 與分子電偶極 p 成正比。

(三)、實驗原理：

1. 基於前述原理，我們只要固定電場強度的變化率 $\frac{\Delta E}{\Delta x}$ ，則電偶極受電場淨力 F 僅與電偶極 p 成正比。
2. 如果我們在相同電場分布條件下(固定電場強度的變化率 $\frac{\Delta E}{\Delta x}$)，分別將分子極性大小不同的樣品利用滴定管滴下，測量其在電場與重力作用下，自由落下一定高度後的側位移，探討側位移與分子極性的關係，因液體自由滴下相同高度所需時間相同，故而受側向力大小將與側偏移一定的相關性。藉此方式將可證明，可由此方式得知該物質分子極性強弱。

五、 實驗步驟：

(一)、 極性物質在均勻電場中的受力情形：

1. 在相同條件下，準備一組自製平行電板。
2. 在平行電板下方鋪一張方格紙，以滴管吸取液體，於無電場的情況下，由 150cm 高度自由滴落，並以原子筆點出其中心點。
3. 開啓電源供應器，等其電壓穩定到達 2000 伏特，將極性與非極性物質利用滴定管滴下，在水平均勻電場與重力作用下，由 150cm 高度自由滴下並以原子筆點出其中心點。
4. 算出 2 及 3 的位置差(ΔX ，即側位移)，並紀錄之。
5. 重複 2 到 4 的步驟，算出 ΔX 平均值，並紀錄之。
6. 取各種極性不同之物質，重複以上步驟，並加以討論，最後證明極性物質在均勻電場中因受合力幾乎爲零，所以無法產生明顯的側偏移。



(二)、 非極性物質在不均勻電場作用下受合力是否為零且無側偏移，極性物質，因受合力不為零，會產生側偏移：

1. 在相同條件下，準備一組自製一邊為平電板、一邊為金屬棒的裝置，藉此造成強度隨水平位置近似均勻變化的不均勻電場。
2. 於滴定管下方至一小燒杯，先將正己烷以滴定管滴下，調整調節鈕使液體滴下速度固定(每 30 秒流下 20mL)，固定調節鈕。

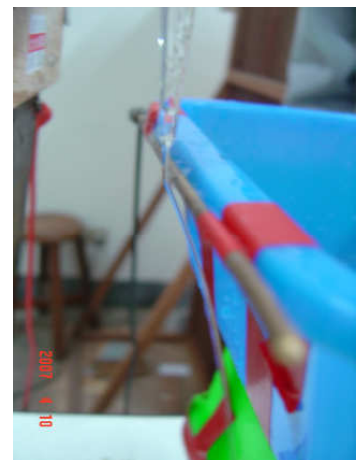


3. 在滴管下方放一容器，在容器上方平放一直尺，是滴管口到直尺的鉛直高度為 25cm，將小燒杯內的液體小心的倒回滴定管內，以相同流速，於無電場的情



況下滴落，並以針尖測出液柱滴下的位置刻度。

4. 開啓電源供應器，等其電壓穩定到達 2000 伏特，重覆 3 步驟，在水平不均勻電場與重力作用下滴落，以針尖測出液柱滴下的位置刻度。



5. 算出 3 及 4 的位移(ΔX)並紀錄之。
6. 重複 2 到 5 的步驟，算出 ΔX 平均值，並紀錄之。
7. 改用分子極性強度相當強的水作為樣品，重複 1~6 步驟。
8. 由結果討論非極性物質在不均勻電場中是否無法產生側偏移，而極性分子物質則有明顯側偏移。

- (三)、 探討相同電場分布(不均勻)條件下，側位移與分子極性的關係，證明可由此方式得知該物質分子極性強弱：如同前一實驗(二)相同方式，在相同電場分布條件下(固定電場強度的變化率 $\frac{\Delta E}{\Delta x}$)，分別將分子極性大小不同的各種樣品利用滴定管滴下，測量其在電場與重力作用下，滴下一定高度(25cm)後的側位移 ΔX ，探討側位移與分子極性的關係。

六、 結果與討論：

(一)、 極性物質在均勻電場中的受力情形：

1. 表(一)為，在相同的均勻電場下，極性不同之物質，測量其側位移 ΔX ，並求出平均值，而表中各物質之分子極性強度與分子量由文獻查得。

表(一)、極性不同的各種樣品，在均勻電場作用下由 150cm 高度自由滴落的側位移 ΔX 平均值

樣品	(分子極性)	ΔX
正己烷	0	0.05
乙醇	1.69	0.28
甲醇	1.7	0.26
冰醋酸	1.74	0.26
乙酸乙酯	1.78	0.34
水	1.85	0.37
丙酮	2.88	0.45

2. 由表(一)數據發現，各物質的側位移並不明顯，且與分子極性並無明顯相關，此結果與推測吻合；但似乎也發現，分子無極性的正己烷幾乎沒有側位移，而具有極性的物質均有輕微的側位移出現，推測原因應該是，平行電板上、下部分的電場分佈並不均勻所致！亦可藉此大膽推測，極性分子在不均勻電場中會受水平力而產生側位移，非極性分子物質則否，且極性愈強的物質，其側偏移應該愈大。

(二)、非極性物質在不均勻電場作用下受合力是否為零且無側偏移，極性物質，因受合力不為零，會產生側偏移：

1. 表(二)為非極性分子物質樣品正己烷其側位移 ΔX 平均值，由數據發現幾乎沒有側偏移，表中數據應是環境氣流與振動、測量誤差所造成。因此，我們可推測非極性物質在不均勻電場作用下受合力應該為零。

表(二)、正己烷在不均勻電場作用下，自由滴落 25cm 高度的側位移 ΔX

正己烷(n-Hexane)			
	未通電之位置	通電之位置	位移差 ΔX
1	0.25	0.25	0.0
2	0.2	0.3	0.1
3	0.35	0.35	0.0
Average			0.03

2. 表(三)為正己烷、乙醇、水等三種極性強度不同的液體，其側位移 ΔX 平均值，由數據發現極性物質，因受合力不為零，會產生側偏移，且極性不同的物質，其側位移亦明顯不同。

表(三)、正己烷、乙醇、水在不均勻電場作用下，自由滴落 25cm 高度的側位移 ΔX 平均值

樣品	dipole moment (分子極性)	ΔX
正己烷	0	0.03
乙醇	1.69	0.52
水	1.85	0.69

(三)、探討相同電場分布(不均勻)條件下，側位移與分子極性的關係，證明可由此方式得知該物質分子極性強弱：

1. 表(四)為分別將分子極性大小不同的各種樣品利用滴定管滴下，測量其在電場與重力作用下，滴下一定高度(25cm)後的側位移 ΔX 平均值，表(五)為重複操作後所得結果。由數據發現，極性不同的物質，其側位移亦明顯不同，且其側偏移與分子極性呈現一定的相關性。

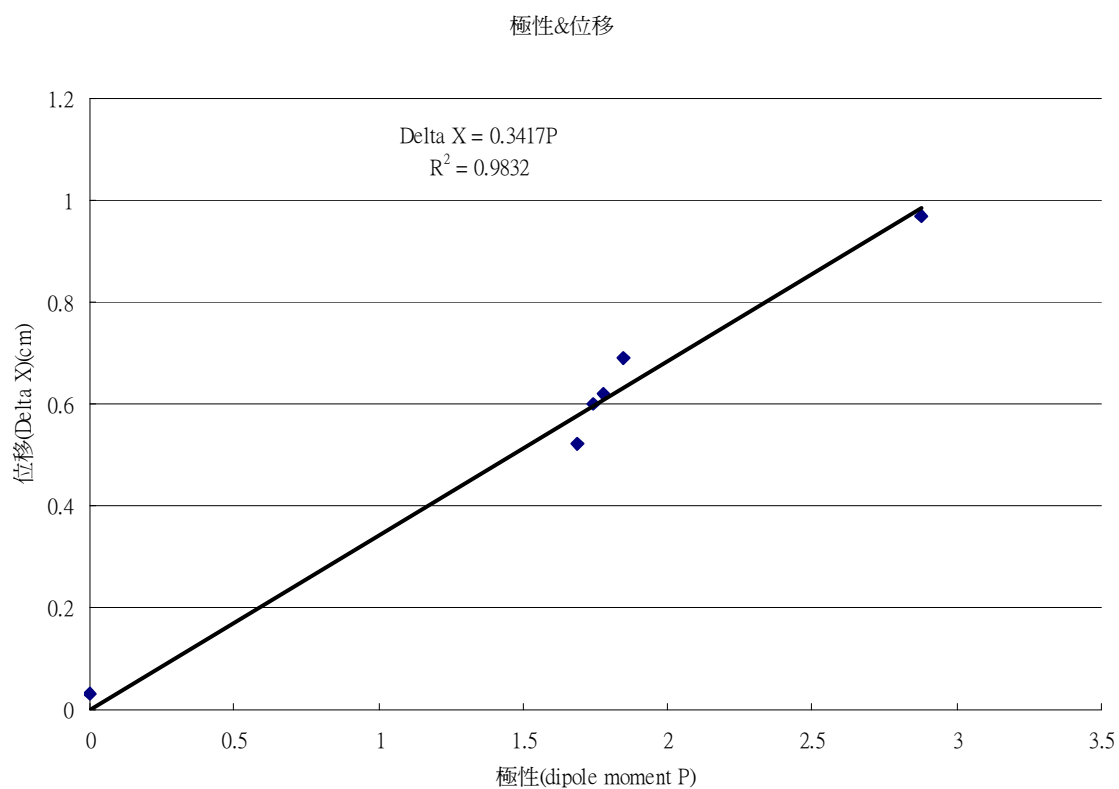
表(四)、極性不同的各樣品在不均勻電場作用下，自由滴落 25cm 高度的側位移 ΔX 平均值

樣品	dipole moment (分子極性)	ΔX
正己烷	0	0.03
乙醇	1.69	0.52
冰醋酸	1.74	0.60
乙酸乙酯	1.78	0.62
水	1.85	0.69
丙酮	2.88	0.97

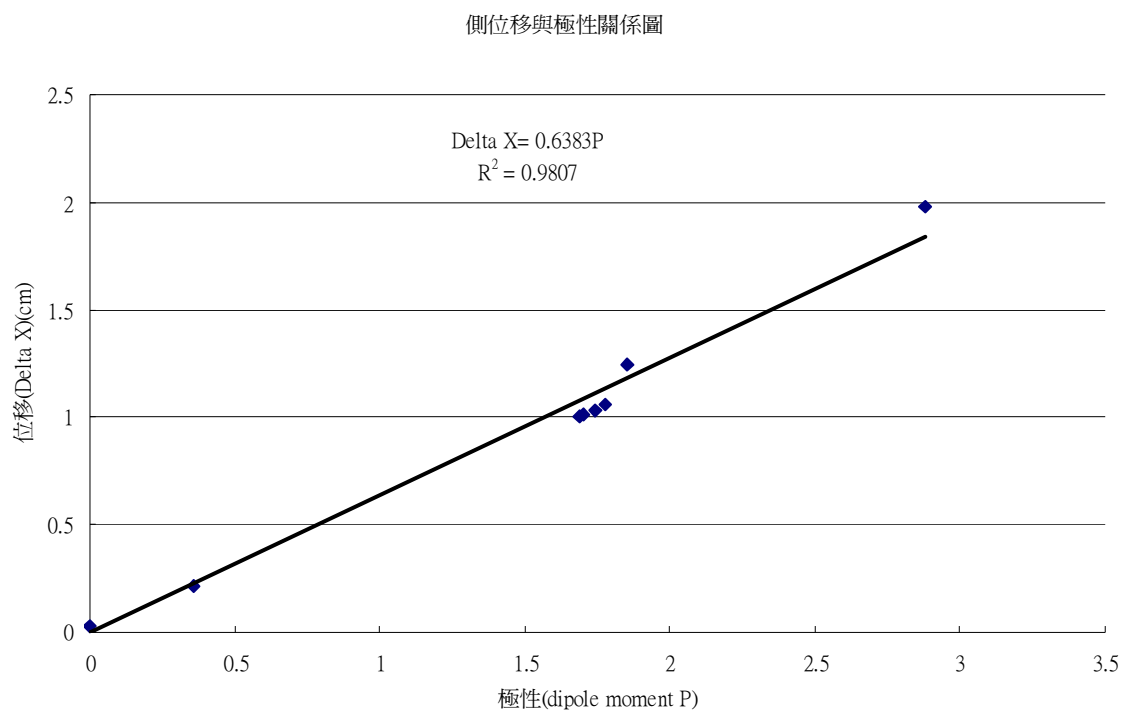
表(五)、重複操作極性大小不同的各種樣品在不均勻電場作用下，自由滴落 25cm 高度的側位移 ΔX 平均值

樣品	dipole moment (分子極性)	ΔX
正己烷	0	0.03
甲苯	0.36	0.21
乙醇	1.69	1
甲醇	1.7	1.015
冰醋酸	1.74	1.03
乙酸乙酯	1.78	1.06
水	1.85	1.25
丙酮	2.88	1.98

2. 圖(一)為以分子極性為橫軸，側偏移 ΔX 為縱軸所繪的關係圖，其中方形點為實驗所得數據，而實線為以一次函數吻合的圖線，圖(二)為重複操作結果所繪的關係圖，由兩圖實驗數據與吻合結果。圖(一)中以一次函數吻合結果 $\Delta X = 0.3417p$ ， $R^2 = 0.9832$ ；圖(二)中吻合所得函數 $\Delta X = 0.6383p$ ， $R^2 = 0.9807$ ，均可發現側偏移 ΔX 與分子極性 p 呈現一定的相關性，幾近正相關，而兩次吻合所得比例常數明顯不同，其原因為兩次操作時的滴管滴落鉛直線與金屬棒水平距離不同所致(同一次操作時，不同液體其滴管位置保持固定)。因而我們可以推論，可以利用本實驗的方式來測未知液體的極性，如能更精確裝置與測量，並修正其他影響因素，應該可以得到相當精確的結果，甚至可以用此方法來測極性不同的物質所形成的溶液濃度，如酒的濃度...等。



圖(一)、分子極性與側偏移 ΔX 關係圖



圖(二)、重複操作所得結果的分子極性與側偏移 ΔX 關係圖

七、 結論

本研究是利用金屬板、金屬棒，以固定的電壓分別造成均勻與不均勻電場，以樣品物質從電板頂端自由落下，探討電場對物質的影響，由實驗結果證明極性分子在不均勻電場中會受力而產生側位移。針對此探討主題，設定控制變因使其他非探討因素歸一化，以電腦軟體整理，加以分析數據，達到僅需做簡單測量便能得到良好的結果。

根據實驗的測量和分析結果，我們可以提出，可以使用本實驗方法測量液態極性物質的分子極性強度。針對本實驗各研究目的，我們提出下列幾點結論：

1. 極性物質在均勻電場中因受合力幾乎為零，所以無法產生明顯的側偏移。
2. 非極性物質在不均勻電場作用下，因受合力幾乎為零，無法產生側偏移；極性物質在不均勻電場作用下，因受合力不為零，會產生側偏移，且極性愈強，側偏移愈明顯。
3. 在相同電場分布(不均勻)條件下，分別將極性強度不同的液體用滴定管滴下，測量其在電場與重力作用下，滴下一定高度後的側位移，由多次實驗結果顯示側偏移與分子極性呈現一定的相關性，幾近正相關，所以應可利用本實驗的方式來測未知液體的極性。

八、 應用

若我們能更精確裝置與測量，應可以得到相當精確的結果，並做出一系列精確數據，修正所有變因，可以加以設計出一種小型儀器，內部有一極靠近平電板、金屬棒，以高壓電源供應器產生電場強度變化明顯的不均勻電場，使其密閉，減少氣流的干擾，底部有一個能精準測出液體偏離中心點位移的儀器，搭配我們的實驗數據，即可利用本實驗的方式來測未知液體的極性，甚至可以用此方法來測極性溶液的濃度如酒的濃度等，未來更可推廣範圍至其他溶液，成為一個可測出多種溶液濃度的簡易儀器；如分析市售酒所含的酒精濃度。

九、參考文獻：

- [1] 郭重吉 等，國中自然與生活科技第三、四、五冊，台南市，南一書局出版(95.08)。
- [2] 陳秋炳主編，高級中學化學課本，初版，台南市，翰林出版社出版，(95.08)。
- [3] 林明瑞主編，高級中學物理上冊，再板，台南市，南一書局出版，(95.08)。
- [4] Benson, “普通物理學 第三冊”，朱達勇等人翻譯,歐亞出版社出版。
- [5] University of Southern Maine Department of Chemistry ，Solvents ， from http://www.usm.maine.edu/~newton/Chy251_253/Lectures/Solvents/Solvents.html
- [6] NIST Chemistry WebBook ，NIST Standard Reference Database Number 69. (June 2005) ， from <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
- [7] Properties of Solvents on Various Sorbents ，polarity index (november 03, 2002) http://home.planet.nl/~skok/techniques/hplc/elutotropic_series_extended.html

【評語】 031611 有多「極」，滴滴看就知道

優：看得出學生花很多心思在做此實驗。

缺：1.使用的電壓太高，違反安全規則。

2.對實驗誤差的來源應探討清楚，變因的控制須要注意!

3.請盡量用圖代替表來表達實驗結果，數據部份可以放在附錄!

4.每張照片應說明，數據圖下方應解釋其物理意義。