

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

第三名

030118

漂浮液珠

學校名稱：宜蘭縣立國華國民中學

作者： 國三 游育欣 國三 吳承泰 國三 余東哲 國二 謝清哲	指導老師： 邱旻昇
---	------------------

關鍵詞：液珠、靜電、表面張力

漂 浮 液 珠

摘要

液體在滴定時，會產生浮於液面的液珠，液面上的液珠會出現振盪、碰撞、互溶(水平及垂直)、撕裂分解的現象，透過實驗可驗證使液珠浮於液面的力確為液體與輸液管摩擦後所產生的靜電力。各項數據顯示靜電力大小與液體流速、輸液管長度、液溫高低及輸液管粗細息息相關且靜電力的產生與大小受溫濕度影響甚鉅。此外，並非僅有水，極性溶液、非極性溶液、電解質水溶液、非電質水溶液、稀薄水溶液…等，皆能摩擦帶電，產生液珠，我們也嘗試確認液珠的電性並以不同方式影響液珠於液面的行為。為使靜電力的大小量化，我們自行發展出可求出測量靜電力及靜電量大小的方法以取代昂貴的測量儀器，更進一步將實驗結合生活，滴定各清潔劑，並以實驗數據評斷各牌清潔劑的效果。

壹、研究動機

在理化課指定的課外讀物「物理馬戲團」中，偶然看到一則名為「漂浮的液珠」的討論，對於液珠之所以能浮於相同的液面上之機制輕描淡寫，僅提出幾個可能的原因：靜電力、蒸氣膜、表面張力……等。之後，又再查詢了許多國內外的資料，也並未有特別的發現，僅知它被稱為「water globule」或「floating drop」。我們針對這個議題且參酌南一版國二自然與生活科技第四冊「靜電」、「力」及南一版高二物理下冊「表面張力」後，進行資料的蒐集討論後設計了一連串的「點滴、磁片、雷射筆實驗」，來驗證使液珠暫留於相同液面的作用力是否真的是靜電力。

貳、研究目的

- 一、設計可觀察液珠及驗證靜電力存在的複合裝置。(實驗 1~實驗 2)
- 二、操縱多種可能會影響靜電力大小的變因，並了解不同水溶液及液體摩擦帶電的特性。(實驗 3~實驗 4)
- 三、驗證使液珠上浮的力確實為靜電力，並觀察液珠出現的情形。
 - (一)確認液珠電性，觀察及操弄液珠滴落液面的現象並作分類描述。(實驗 5~實驗 7)
 - (二)運用下半部及上半部裝置，粗估各類液體的單位體積帶電量。(實驗 8~實驗 9)
- 四、滴定各牌的靜電消除液，以實驗結果評斷各牌靜電消除液品質的良窳。(實驗 10)

參、研究設備及器材

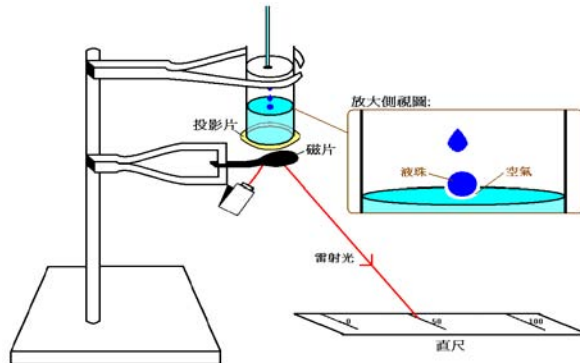
支架、點滴裝置、投影片、磁片、雷射筆、碼錶、數位相機、攝影機、溫濕度計、皮尺、電子天平、靜電清除器、金箔驗電器、滴定管、注射針筒、純水、葡萄糖水、生理食鹽水、酒精、蠟油、乙酸乙酯、甲苯、玻璃清潔劑、洗衣精、衣物柔軟精、振動器、振動平板。

肆、研究過程與結果討論

實驗一：設計可觀察液珠及驗證靜電力存在的實驗組(如圖 1-1)

一、步驟

- (一)將點滴裝置、磁片、雷射筆固定於支架上端，並將皮尺固定於桌面。
- (二)藉由磁片的反射，使雷射光恰好投射在皮尺刻度 0 的位置上。
- (三)啟動點滴裝置，將液體滴入量筒。

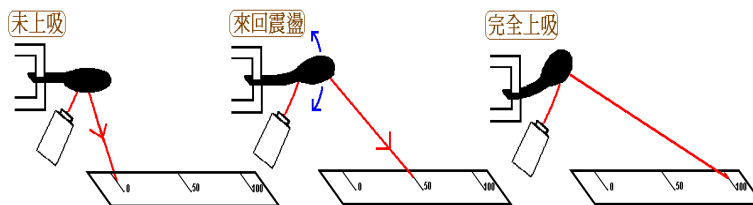


(圖 1-1)

二、結果

(一)對磁片的觀察：**(建置了影片檔 1)**

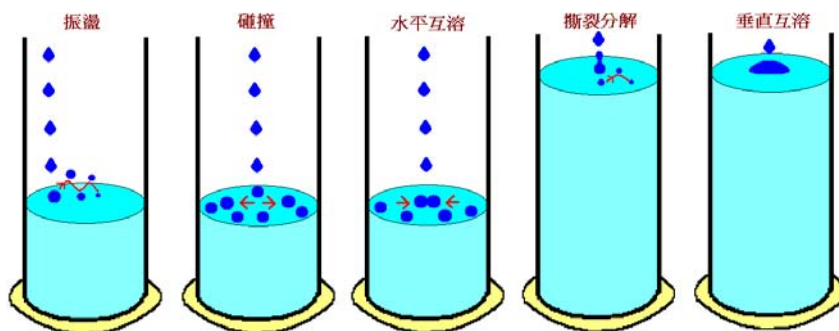
滴定初期，不會發生磁片上吸的現象，必須經過一段時間後，磁片開始出現輕微來回震盪的現象，直到完全被吸到量筒底部為止：



(圖 1-2)

(二)對液珠的觀察：**(建置了影片檔 1)**

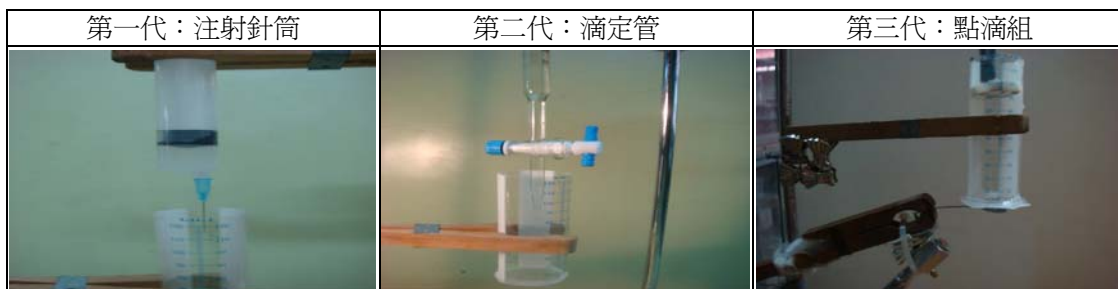
滴定初期，因累積電量尚不充足，並不會有液珠出現，必須經過一段時間後，現象才非常明顯，且比例極高。而浮在液面上的液珠，大致具有五類行為：**(關於液珠的觀察，將於實驗五～實驗七做更詳細的說明)**。



(圖 1-3)

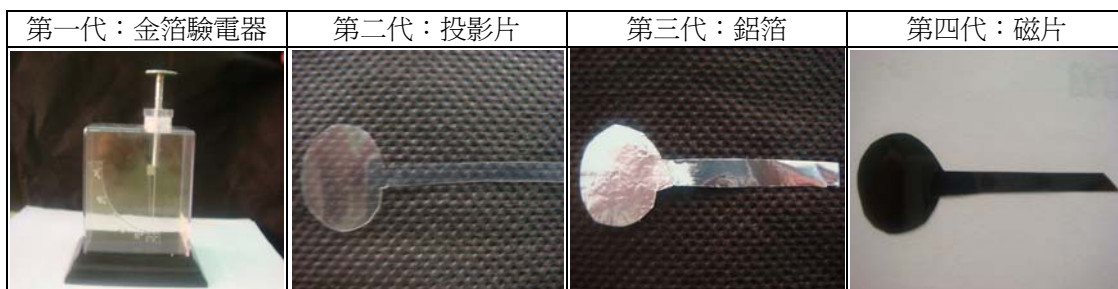
三、討論

(一)有關觀察液珠的裝置，曾經嘗試了注射針筒、滴定管，最後是點滴組：



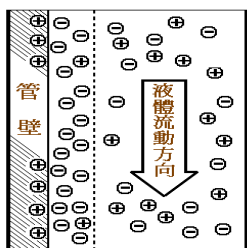
(表 1-1)

有關驗證靜電力存在的裝置，曾經嘗試了金箔驗電器，接著我們思索並搜尋很久後，才發現也可利用光槓桿原理的類似方式測量微小的力，故想出了反射雷射光的方法。接著測試了投影片、鋁箔，最後才是磁片：

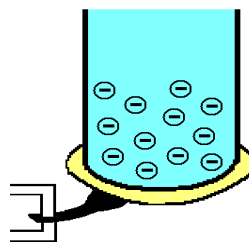


(表 1-2)

(二)磁片之所以會上吸，代表經由輸液管摩擦流出的液珠及量筒內的液體均帶有靜電，而液珠浮於液面上及碰撞是基於同性相斥的原理。



(圖 1-4)

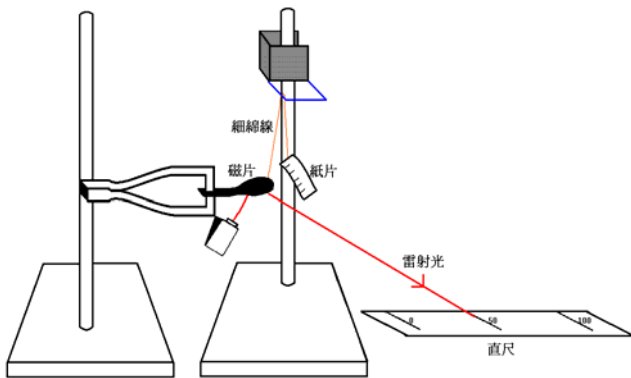


(圖 1-5)

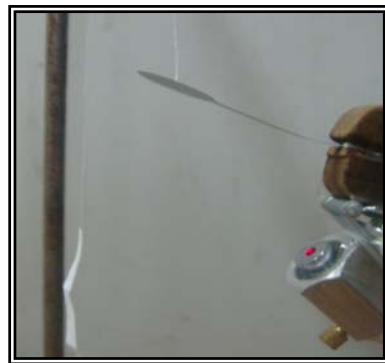
實驗二：求取磁片彎曲狀態方程式，以估算量筒內液體所具之靜電力

一、步驟

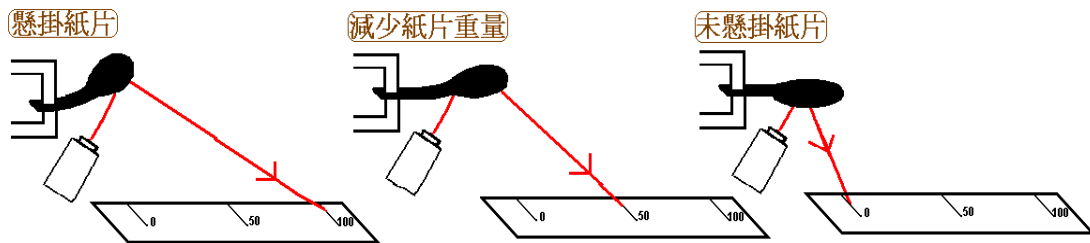
- (一)將細線固定於磁片上，繞過迴紋針，另一端貼上長條紙，長條紙的重量令細線將磁片往上拉到最撐。
- (二)固定雷射筆，使雷射光點能照射到磁片適當位置上並反射到磁片下方的皮尺上。
- (三)依次剪短長條紙，直到磁片恢復平衡狀態。
- (四)重覆 10 次上述步驟，輸入電腦，求出關係式，以求取磁片彎曲的平均狀態方程式。



(圖 2-1)



(照片 2-1)



(圖 2-2)

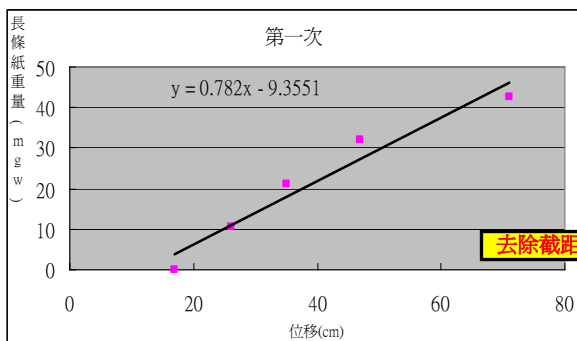
二、結果

(一)求取磁片的狀態方程式

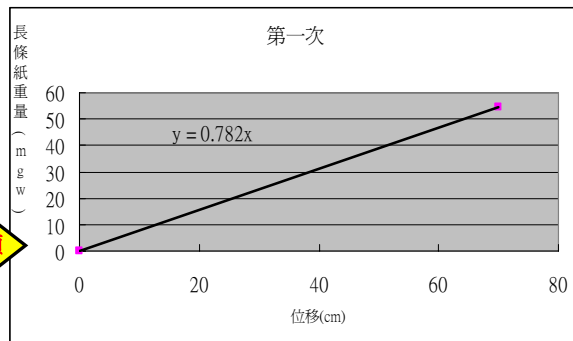
第一次			
整張長條紙原重	撕掉的長條紙重量	剩餘長條紙重	雷射反射的位置
42.6mg	0mg	42.6mg	71cm
42.6mg	10.65mg	31.95mg	47cm
42.6mg	21.3mg	21.3mg	35cm
42.6mg	31.95mg	10.65mg	26cm
42.6mg	42.6mg	0mg	17cm

第二次~第十次數據因所占篇幅太大，不在正文呈現，請見附錄

(表 2-1)



(圖 2-3)第一次磁片狀態線性迴歸圖 1



(圖 2-4)第一次磁片狀態線性迴歸圖 2

最後將 1~10 次的結果所求之平均狀態方程式為：[y = 0.72921x](#)

三、討論

- (一)將量筒中帶電液體造成磁片彎曲的現象比擬為長條紙重量增減造成磁片彎曲的現象，便可將量筒中各液體所具靜電力的大小量化。
- (二)在求取直線迴歸方程式過程中，我們求出的是一帶有常數項的迴歸方程式，因此我們將迴歸方程式的截距去掉，使其變成 $y=ax$ 形式的線型函數，此法可把實驗誤差納在此截距項中。此去除截距的方式即與虎克定律中，在求取方程式時去除彈簧原長的方式相似。
- (三)在實驗 8 中，利用理論推導，進一步可將磁片與雷射筆裝置的功用進一步推展成：可計算帶電物體所具有帶電量，而且可以公式化。

實驗三：液體的流速、輸液管粗細、長度及液溫高低與帶電量大小的關係(以純水為例)

一、步驟

- (一)依序以不同的流速、輸液管粗細、輸液管長度及液溫將液珠滴至量筒中。
- (二)將此實驗過程中記錄的數據製成圖表。

二、結果

項目 \ 流速	0.0167ml/s (約 1 滴/秒)	0.05ml/s (約 3 滴/秒)	0.0833ml/s (約 5 滴/秒)	≥ 0.1167 ml/s (已呈水流狀)
磁片完全上吸時間(s)	69.4	16.9	9.8	4.2
雷射光最大位移(cm)	12(d=0.376)	31(d=0.775)	38.6(d=0.874)	33.1(d=0.806)
對磁片之吸引力(mgw)	8.751	22.606	28.148	24.137
單位體積吸引力 (mgw/ml)	7.550	26.752	34.480	49.245
單位體積帶電量(c/ml)	1.15×10^{-9}	5.226×10^{-9}	6.803×10^{-9}	9.67×10^{-9}

(表 3-1)

項目 \ 粗細	粗 (內徑約為 0.197cm)	細 (內徑約為 0.151cm)
單位體積吸引力(mgw/ml)	3.539	9.907
單位體積帶電量(c/ml)	0.621×10^{-9}	1.878×10^{-9}

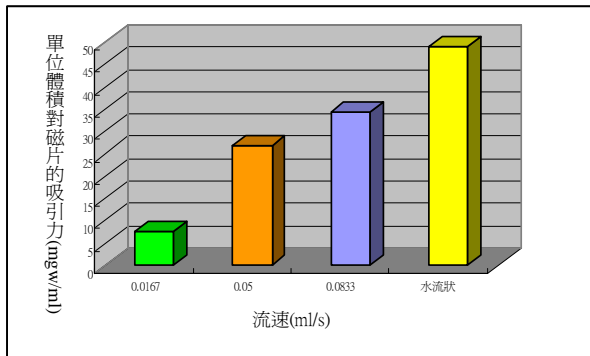
(表 3-2)

項目 \ 長度	104.5cm (一倍長)	209cm (二倍長)	313.5cm (三倍長)
單位體積吸引力(mgw/ml)	40.967	78.629	82.970
單位體積帶電量(c/ml)	7.224×10^{-9}	12.927×10^{-9}	15.474×10^{-9}

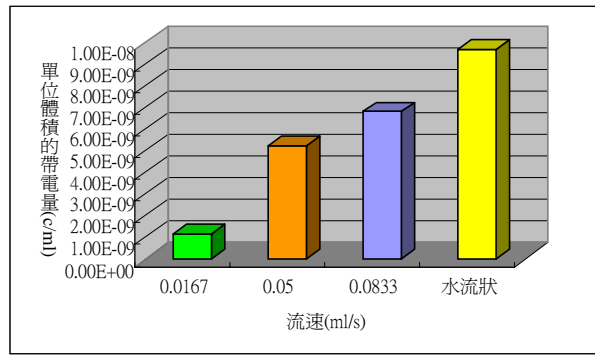
(表 3-3)

項目 \ 液溫	低溫 (約 3°C)	常溫 (約 20°C)	高溫 (約 47°C)
單位體積吸引力(mgw/ml)	3.486	6.847	11.158
單位體積帶電量(c/ml)	0.606×10^{-9}	1.277×10^{-9}	1.651×10^{-9}

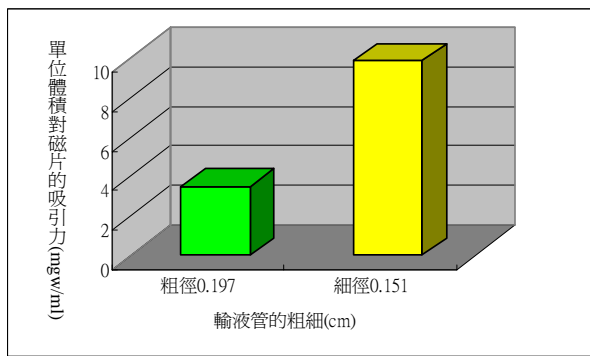
(表 3-4)



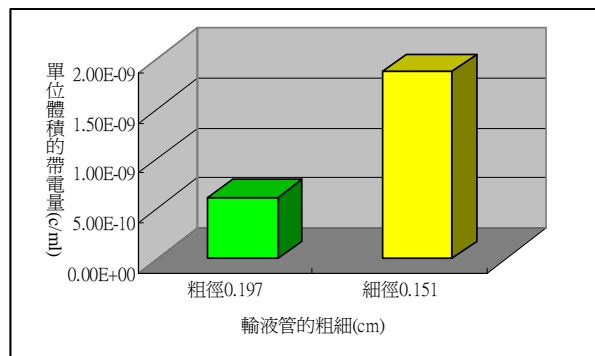
(圖 3-1)



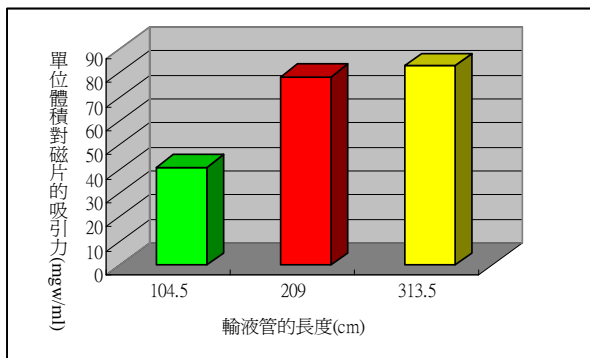
(圖 3-2)



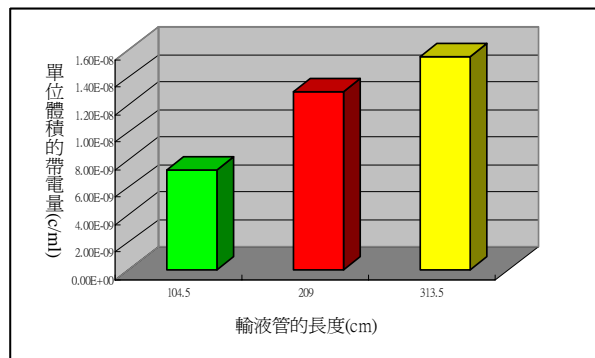
(圖 3-3)



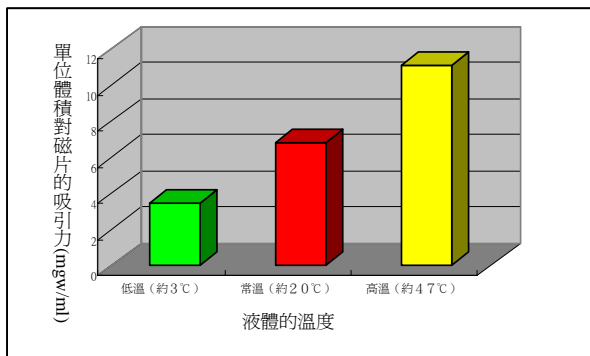
(圖 3-4)



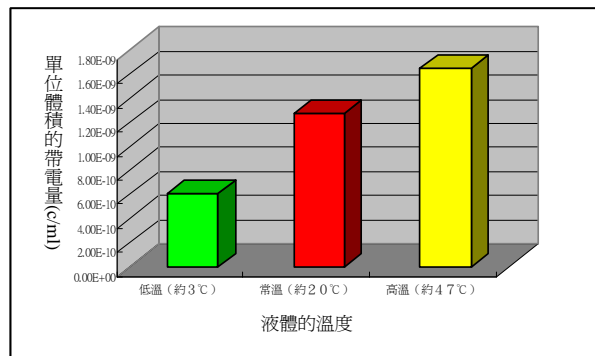
(圖 3-5)



(圖 3-6)



(圖 3-7)



(圖 3-8)

三、討論

(一)利用實驗二中的磁片狀態方程式，可換算出單位體積帶電液體對磁片的吸引力，利用實驗八所推導出的公式，可換算出單位體積帶電液體的帶電量：

- 對磁片的吸引力：測得之雷射光最大位移 × 0.729 (mgw)
- 單位體積吸引力：對磁片的吸引力 ÷ (流速×時間) (mgw/ml)
- 液體的帶電量： $Q = \left[4\pi\epsilon_0 \left(d + \frac{h}{2} \right)^2 \times F \right]^{1/2} \times 3.63$ (coul)
- 單位體積的帶電量： $Q = \left[4\pi\epsilon_0 \left(d + \frac{h}{2} \right)^2 \times F \right]^{1/2} \times 3.63 \div (\text{流速} \times \text{時間})$ (coul/ml)

(二)根據實驗數據，流速愈大、輸液管內徑愈細、輸液管長度愈長、液溫愈高，摩擦帶電的效果愈好。

實驗四：不同水溶液、液體與帶電量大小的關係

一、步驟

- (一)流速以每秒 5 滴、內徑 0.151cm、長度 104.5cm 為主，在常溫下分別將純水、氯化鈉、葡萄糖滴定至量筒中。
- (二)改用滴定管取代點滴裝置(因點滴組對有機溶劑的耐受性不高)，改滴定有別於純水的其它種類液體。

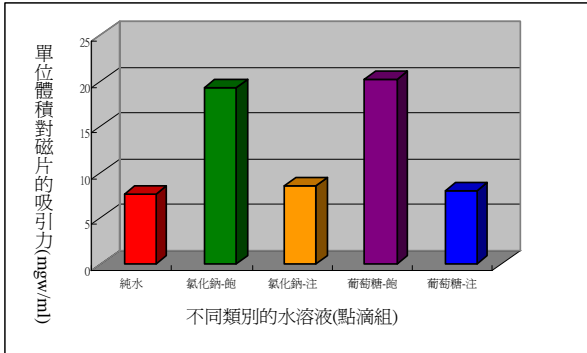
二、結果

項目 \ 溶液別	純水 (點滴組)	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射用)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射用)
單位體積吸引力(mgw/ml)	7.640	19.351	8.625	20.263	7.969
單位體積帶電量(c/ml)	1.157×10^{-9}	2.905×10^{-9}	1.181×10^{-9}	3.439×10^{-9}	0.993×10^{-9}

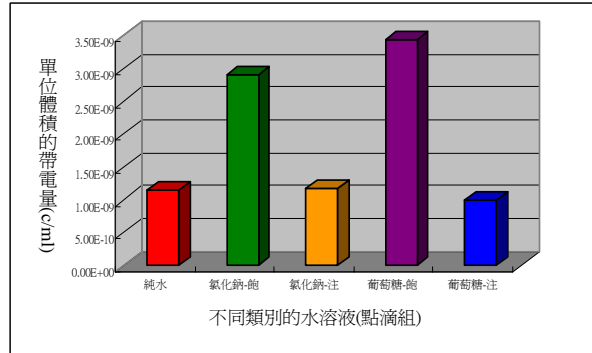
(表 4-1)

項目 \ 溶液別	純水 (滴定管)	酒精	蠟油	乙酸乙酯	甲苯
單位體積吸引力(mgw/ml)	34.929	28.819	24.008	24.677	20.643
單位體積帶電量(c/ml)	6.645×10^{-9}	3.931×10^{-9}	3.505×10^{-9}	3.831×10^{-9}	3.416×10^{-9}

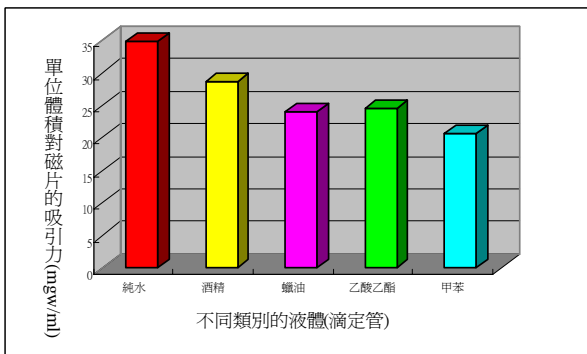
(表 4-2)



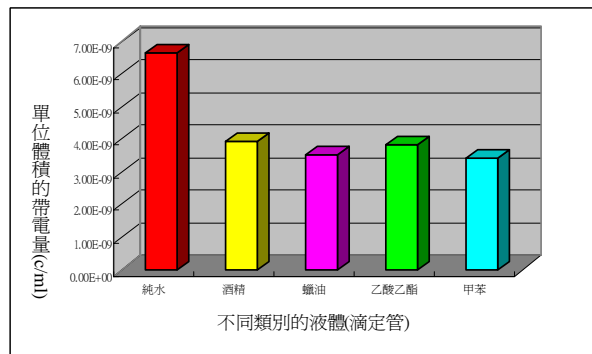
(圖 4-1)



(圖 4-2)



(圖 4-3)



(圖 4-4)

三、討論

圖 4-1~4-4 嘗試從純水及其水溶液、純水及其它種類液體，了解其摩擦帶電的特性，茲分述如下：

純水及其水溶液：如圖 4-1、4-2 所示，水溶液愈稀薄，摩擦帶電特性愈接近純水；濃度愈高，摩擦帶電效果愈好。我們推測溶液中，除水分子外，葡萄糖分子，鈉離子、氯離子與 PVC 輸液管摩擦後，皆能加強摩擦帶電效果。

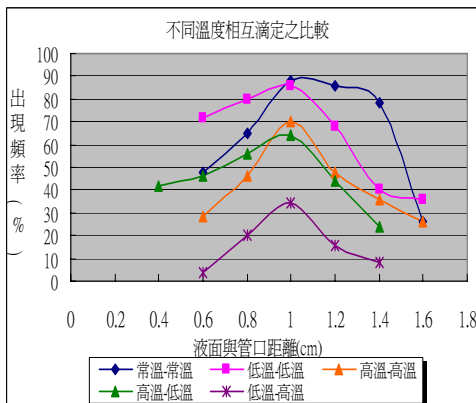
純水及其它種類液體：若以極性的大小作區分：純水 > 酒精 > 蠟油、乙酸乙酯、甲苯。圖 4-3、4-4 顯示出，無論是極性、非極性分子皆會有摩擦帶電的效果，極性大的分子摩擦帶電效果略大於極性小的分子。

實驗五：液珠滴落的現象觀察

一、步驟

- (一)將滴定口固定於量筒內適當位置後，開始滴定水(常溫)，直至出現液珠，測量滴定口至水面的距離，計算液珠的頻率。
- (二)使液面逐次升高(每次升高 0.2cm)，計算液珠的頻率。
- (三)再以低溫水相互滴定、高溫水相互滴定、低溫水滴定高溫水、高溫水滴定低溫水。
- (四)以步驟三之最佳效果(1cm)，分別滴定不同種類的水溶液及其它液體。

二、結果



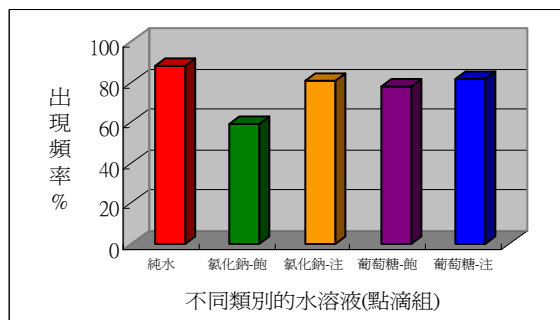
(圖 5-1)

溶液別	純水 (點滴組)	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射用)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射用)
項目	88	59	81	78	82

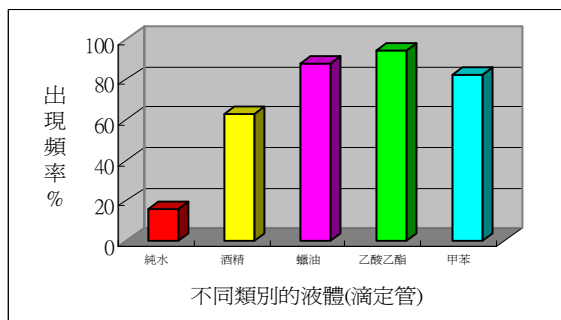
(表 5-1)

溶液別	純水 (滴定管)	酒精	蠟油	乙酸乙酯	甲苯
項目	16	63	88	94	

(表 5-2)



(圖 5-2)





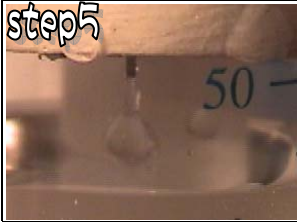





(圖 5-3)

三、討論

- (一)常溫下，滴定口距水面約 1.0cm 時，液珠出現頻率達最高。
- (二)滴定時，必須經過一段「醞釀期」，才會逐漸有液珠浮於液面，出現的頻率會逐漸提升，趨於一穩定狀態。
- (三)液珠出現的比例以常溫滴定常溫、低溫滴定低溫較高。我們認為：高溫摩擦後的水，固然帶電量較高，對磁片的吸引力也較大，但在液面上也會因蒸發出的水氣較多，使得液面上的靜電泄除較快，故液珠的比例相對較低。由此論點，低溫滴定高溫液珠出現比例會最低就不難理解了。因為除了低溫液珠帶電量較低且密度較大，高溫的液面上靜電也會泄除較快，以致於液珠比例遠低於其他滴定方法。
- (四)各液產生液珠比例為：純水及注射用氯化鈉、葡萄糖水溶液 > 飽和氯化鈉及葡萄糖水溶液。因飽和氯化鈉及葡萄糖水溶液分子間的吸引力大於水，使得液面的分子與液面上的液珠吸引力較大，再加上密度也大於純水及注射用水溶液，因此產生液珠比例較小。而蠟油、乙酸乙酯及甲苯分子間的吸引力較小，使得液珠的體積較小，重量也相對較輕，故液珠的比例較高。
- (五)浮在液面上的液珠，大致具有五類行為：**振盪、碰撞、水平互溶、垂直互溶及撕裂分解**，茲將上述情形以照片 5-1~5-4 說明如下：**(建置了影片檔 1)**


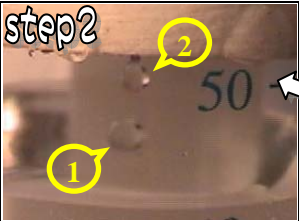
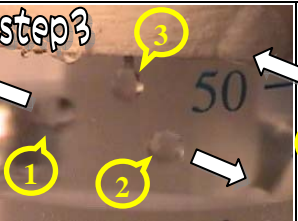
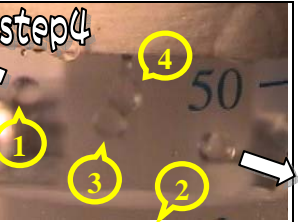
振盪及垂直互溶：

			
剛落下的液珠，因重力加速度，些許下陷	距離較小，靜電力大於重力，造成液珠抬升	距離較大，重力大於靜電力，液珠又下陷	液珠又抬升，上方滴定口液珠持續生成中
			
液珠持續抬升，並與上方液珠產生垂直互溶	互溶完成，液珠又下陷	液珠更下陷	液珠不敵下方液體的分子吸引力，沒入液面

(照片 5-1)

每張照片時間間隔為 0.2s





碰撞：

			
1 號液珠生成中	1 號液珠落至液面，2 號液珠生成中	2 號液珠落至液面，將 1 號液珠撞至左上方，2 號液珠則反彈至右下方	1 號、2 號液珠持續滑動遠離中，3 號液珠落至液面，4 號液珠生成中

(照片 5-2)

每張照片時間間隔為 0.2s

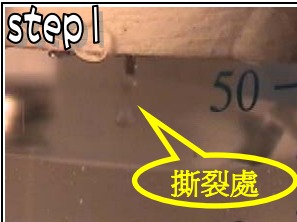
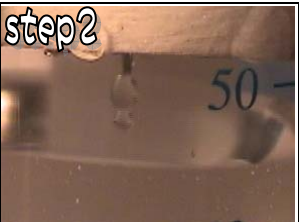

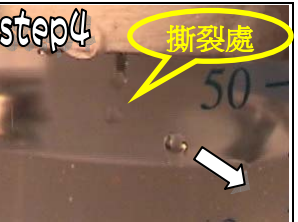
水平互溶：

			
液面上兩顆液珠產生碰撞	液珠產生互溶，液珠變形	互溶中	互溶完畢，液珠變回球體，體積變大

(照片 5-3)

每張照片時間間隔為 0.2s

撕裂分解：

			
液珠產生撕裂，但並未完全分離	上半部液珠持續變大中，下半部液珠大小不變	下半部液珠受上半部液珠推擠與液面之靜電排斥力，最終撕裂彈出	彈出之液珠比正常液珠小，上方滴定口之液珠再次有撕裂情形

(照片 5-4)

每張照片時間間隔為 1/30s

實驗六：確認液珠的電性、改變液珠的行為 I：「消失的液珠」

一、步驟

- (一)以感應起電的方式令金箔驗電器帶正電。
- (二)將金箔驗電器置於量筒下方，滴定各液，觀察金箔角度的變化。
- (三)將帶負電的塑膠尺及帶正電的玻璃棒靠近漂浮於液面的液珠以及滴落中的液珠，觀察液珠的狀況。

二、結果

(一)(建置了影片檔 2)

點滴組	純水	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射)
θ 變大次數	6 次	1 次	8 次	8 次	8 次
θ 變小次數	4 次	9 次	2 次	2 次	2 次
電性	正	負	正	正	正

(表 6-1)

滴定管	純水	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射)	酒精	蠟油	乙酸乙酯	甲苯
θ 變大次數	2 次	0 次	8 次	9 次	8 次	4 次	6 次	6 次	10 次
θ 變小次數	8 次	10 次	2 次	1 次	2 次	6 次	4 次	4 次	0 次
電性	負	負	正	正	正	負	正	正	正

(表 6-2)

(二)(建置了影片檔 3)

	以正電棒靠近漂浮於液面的液珠	以負電棒靠近漂浮於液面的液珠
預測		
結果		
	液珠直接沒入液面	液珠直接沒入液面

(表 6-3)

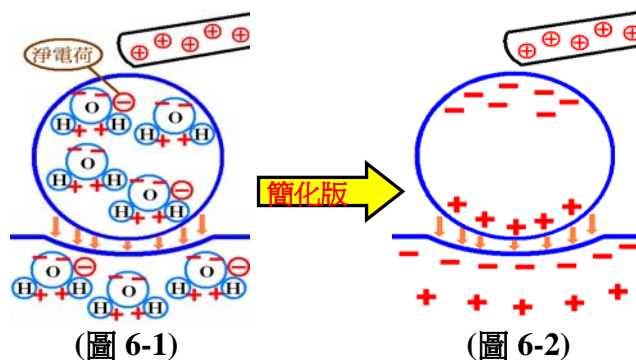
(三)(建置了影片檔 4)

	以正電板靠近滴落中的液珠	以負電板靠近滴落中的液珠
預測		
結果		
	液珠被正電板吸引	液珠被負電板吸引

(表 6-4)

三、討論

- (一)我們想先藉由確認液珠電性後，加以改變液珠在液面上的行為，不料，由表 6-1、6-2 可知，與 PVC 管摩擦後的液珠所帶的電性並不如我們原先想像的如此單純，我們發現各液體在不同時空下所測出的電性時正時負，可見液體與固體經摩擦後的帶電性質有很大的差異，至於原因尚待確認。
- (二)對於液珠直接沒入，消失於液面的現象，我們感到十分意外，經討論後推測出原因應為水滴及水面皆產生了靜電感應的極化現象，即便液珠與液體帶同性電，液珠仍會因受到吸引而沒入液體中：



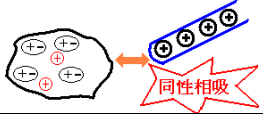
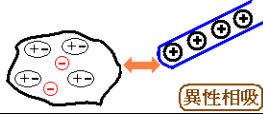
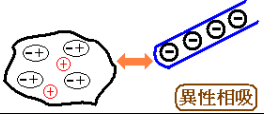
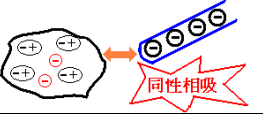
- (三)因液珠皆消失於液面，我們轉而影響滴落中的液珠，發現液珠皆產生了被吸引的現象，我們嘗試解釋如下：

1. 兩帶電物體皆帶有一定電荷量的常態情況下：

	以正電棒靠近帶正電的物體	以正電棒靠近帶負電的物體	以負電棒靠近帶正電的物體	以負電棒靠近帶負電的物體
結果	① 同性相斥	② 異性相吸	③ 異性相吸	④ 同性相斥
說明	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{rep} < 0$ ∴相斥	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{att} > 0$ ∴相吸	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{att} > 0$ ∴相吸	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{rep} < 0$ ∴相斥
代號說明	1.以圖①為例： ΣF_{att} 為正電棒與帶電物體內原具有的負電荷之吸引力， ΣF_{rep} 為正電棒與帶電物體內原具有的正電荷之排斥力， ΔF_{rep} 則為正電棒與帶電物體內的淨正電荷之排斥力。 2.設 ΣF_{att} 為正值， ΣF_{rep} 為負值； ΔF_{att} 為正值， ΔF_{rep} 為負值；所以，總和為正值：兩物之間為吸引力、總和為負值：兩物之間為排斥力。			
例證	以毛皮和氣球相互摩擦後，將毛皮移近氣球，兩者間會產生相吸的現象；以毛皮分別摩擦兩氣球，再移近兩氣球，則兩者間會產生相斥的現象，印證了同性相斥，異性相吸。			

(表 6-4)

2.一帶電物體帶有可觀電量，而另一物體帶電量極小的情況下：

	以正電棒靠近帶正電的物體	以正電棒靠近帶負電的物體	以負電棒靠近帶正電的物體	以負電棒靠近帶負電的物體
結果	① 	② 	③ 	④ 
說明	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{rep} > 0$ \therefore 相吸	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{att} > 0$ \therefore 相吸	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{att} > 0$ \therefore 相吸	$\Sigma F_{att} + \Sigma F_{rep} + \Delta F_{rep} > 0$ \therefore 相吸
例證	本實驗中，無論以正電板或帶負電板移近帶電的液珠，移近的兩物體間皆會產生相吸的現象，得到同性及異性皆相吸的結論。			

(表 6-5)

至此，統整實驗六的所有討論，我們發現：「同性相斥，異性相吸」用於點電荷時是成立的，但並不適用於所有帶電物體。歷經實驗的洗禮後，除國中課程所學的靜電學知識外，我們另總結出以下結論：「同性可能會相吸，但異性必定不相斥」。這種同性相吸的現象只發生在某一物體帶電量明顯較大，而另一物體的帶電量極小時，當兩物體皆帶有一定的電荷時，便不會發生此現象。

實驗七：改變液珠的行爲 II：「延長液珠的生命期」

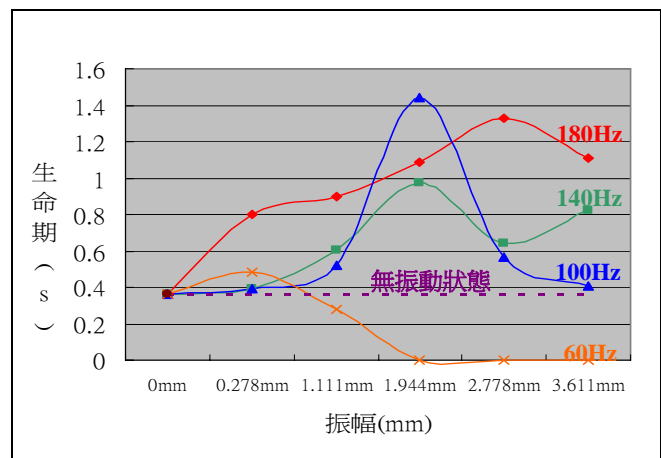
一、步驟

- (一)將量筒固定於振動器上後，開始滴定液體。
- (二)依序以不同的頻率及振幅滴定液珠，觀測液珠的生命期。

二、結果

頻率 \ 振幅	0Hz	60Hz	100Hz	140Hz	180Hz~
0mm	0.364s				
0.278mm		0.483s	0.389s	0.392s	0.802s
1.111mm		0.276s	0.519s	0.605s	0.897s
1.944mm		無液珠	<u>1.440s</u>	0.971s	1.089s
2.778mm		無液珠	0.566s	0.643s	1.331s
3.611mm		無液珠	0.407s	0.823s	1.112s

(表 7-1)



(圖 7-1)

三、討論

(一)液面振動時，液珠停留於液面的時間變久，推測的原因如下(建置了影片檔 5、6)：

現象				
解釋	液面下移，空氣遞補至液珠下方；除靜電力外，液珠受到下方液體的吸引力變小，形成圓形。	液面上移，液珠下方空氣受到壓縮，成爲一股將液珠上托的力；液珠受到下方液體的吸引力變大，形成橢圓形。	液面下移，空氣再次遞補至液珠下方，同時液珠被空氣上托；液珠受到下方液體的吸引力變小，形成圓形。	液面上移，液珠下方空氣受到壓縮，再次成爲一股將液珠上托的力；液珠受到下方液體的吸引力變大，形成橢圓形。

(表 7-2)

(二)過程中，我們意外地發現器壁邊緣及液面波動較大處皆彈出不少浮於液面的液珠，尤以器壁邊緣彈出的居多，推測的原因如下(建置了影片檔 7)：

Step1	Step2	Step3
液體隨振動器振動，振動情形明顯處稱爲波腹，幾乎不振動處則稱爲波節。液體與器壁會摩擦帶電。	向下振動的過程中，波腹處的振幅漸漸增大，液體開始飛濺。	波腹處的液體濺出，形成與下方液體帶同性電的液珠，因空氣層及靜電排斥力的緣故，浮於液面。

(表 7-3)

爲確定振動後的液體有帶電，我們將磁片置於振動液體的量筒下方，發現磁片偶有上吸的現象(建置了影片檔 8)，驗證了不必經過 PVC 管或滴定管摩擦，振動後的液體也能帶電，但因其帶電量較小，液珠生存以依賴氣流補充爲主，故生命期最短，經計算後生命期爲 0.211s，故本實驗中，液珠生命期的長短依次爲：

(點滴管摩擦 + 液面振動) > 點滴管摩擦 > 液面振動 > 帶電棒靠近液珠
 (1.440s) (0.364s) (0.211s) (0s)

實驗八：利用下半部裝置，粗估液體(液珠)的帶電量

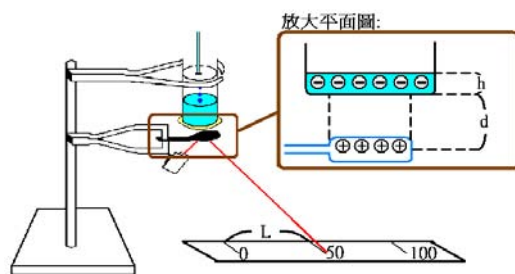
一、步驟

- (一)測量在不同實驗中，磁片與量筒的距離 d 、量筒的底面積 A 及磁片面積 a 。
- (二)整理在各個實驗中，液體對磁片的吸引力 F 。

二、結果

上列所須數據，已分列於各個實驗中，不再詳列。

三、討論



(圖 8-1)

- 1.如圖 8-1 所示，磁片與液柱重疊面積內，相互感應了等量的異性電荷 q ，依照庫倫定律，產生的相互吸引力等於實驗 3 中，經磁片狀態方程式換算成對磁片的吸引力 $F(N)$ ，故等式可列如下(式中須注意單位的對等)：

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\left(d + \frac{h}{2}\right)^2} = F \quad \dots\dots ①$$

- 2.因 q 僅為液柱與磁片重疊部分，故須乘上 A/a 才為液柱中所具有之總帶電量 Q ：

$$Q = \left[4\pi\epsilon_0\left(d + \frac{h}{2}\right)^2 \times F\right]^{1/2} \times \frac{A}{a} \quad \dots\dots ②$$

- 3.經測量後 $A/a=3.63$ ，再代入第②式簡化後可得：

$$Q = \left[4\pi\epsilon_0\left(d + \frac{h}{2}\right)^2 \times F\right]^{1/2} \times 3.63 \quad \dots\dots ③$$

，因 $h < d$ ，故此式可再簡化為

$$Q = \left[4\pi\epsilon_0 d^2 \times F\right]^{1/2} \times 3.63 \quad \dots\dots ④$$

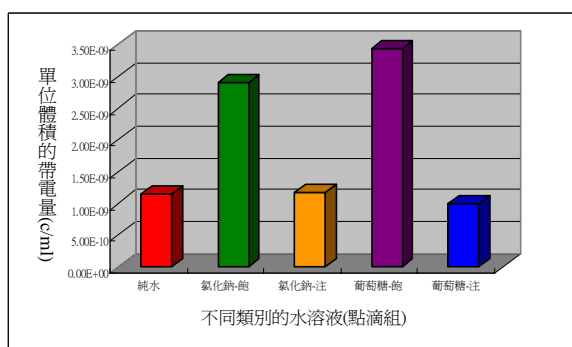
茲以實驗 4 為例，將各項數據代入第④式，並除以各液體積後，可得表 8-1、8-2 及圖 8-2、8-3：

項目 \ 溶液別	純水 (點滴組)	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射用)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射用)
單位體積的帶電量(c/ml) (下半部求法)	1.159×10^{-9}	2.915×10^{-9}	1.1919×10^{-9}	3.437×10^{-9}	1.01×10^{-9}

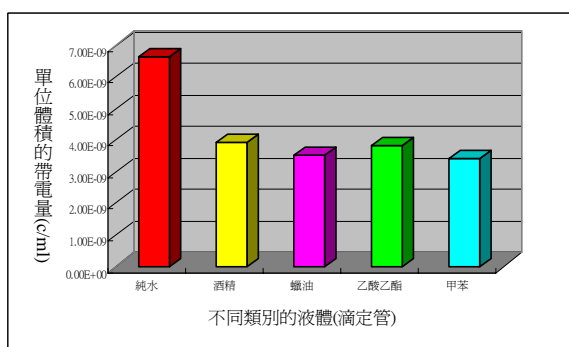
(表 8-1)

項目 \ 溶液別	純水 (滴定管)	酒精	蠟油	乙酸乙酯	甲苯
單位體積的帶電量(c/ml) (下半部求法)	6.646×10^{-9}	3.931×10^{-9}	3.496×10^{-9}	3.83×10^{-9}	3.415×10^{-9}

(表 8-2)



(圖 8-2)



(圖 8-3)

(二)從實驗 3 至實驗 4，我們利用了磁片的狀態方程式求得了液體所具有的靜電力，本實驗則利用庫侖定律的理論推導，粗估了帶電液體的靜電量，此二類數據已分列於各個實驗的表、圖中，而且得到的結果，非常一致，帶電液體對磁片感應出的靜電力與其所具有的靜電量成正相關。

實驗九：利用上半部裝置，尋找產生液珠的極限，粗估液珠(液體)的帶電量

一、步驟

(一)啓動點滴裝置依序滴定各液，待量筒內始出現液珠時停止滴定並記錄各液出現液珠的極限高度。

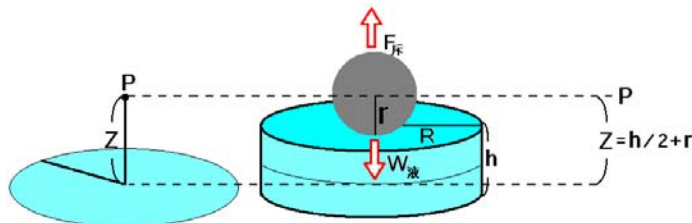
二、結果

項目 \ 溶液別	純水	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射用)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射用)
液柱高(cm)	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2

(表 9-1)

三、討論

(一)粗估液珠(液體)所帶的靜電量：



(圖 9-1)

1.如圖 9-1 所示，一帶電非導體圓盤上 P 處之電場為

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{Z}{\sqrt{Z^2 + R^2}}\right) \dots\dots ①$$

2.液柱中總共滴了 n 滴液珠。假設每滴液珠的帶電量 q 且不隨時間散失，則此層液柱的面電荷密度 $\sigma = \frac{nq}{A}$ (A 為量筒截面積)，又因 $n = \frac{Ah}{V_{\text{液珠}}}$ (h 為液柱高) 代

入可得 $\sigma = \frac{hq}{V_{\text{液珠}}} \dots\dots ②$

3.此層液柱對液珠之排斥力為 $F_{\text{斥}} = qE$ ，且此排斥力必須大於或等於一顆液珠的重量，故 $qE \geq W_{\text{液珠}} \dots\dots ③$

4.將第①、②式代入第③式可得

$$q \geq \left[\frac{2\epsilon_0 W_{\text{液}} V_{\text{液}}}{h \left(1 - \frac{Z}{\sqrt{Z^2 + R^2}}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots ④$$

5.將已測量出純水之相關數據代入第 ④ 式

最後可得一個液珠(純水)的帶電量： $q \geq 1.382 \times 10^{-10} \text{ C}$

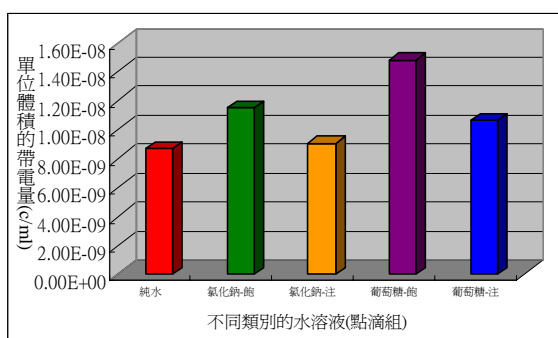
6.若將第 ④ 式所得結果，再除以液珠的體積(ml)，可得

單位體積(純水)的帶電量： $8.668 \times 10^{-9} \text{ C/ml}$

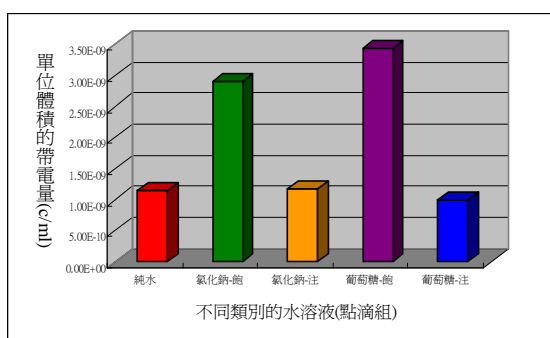
將各類液珠的資料代入上述討論之第 ④ 式，求得各類液珠之帶電量及單位體積帶電量，並將表 8-2 的數據一同納入比較，可得下表：

項目 \ 溶液別	純水 (點滴組)	氯化鈉 (飽和)	氯化鈉 (注射用)	葡萄糖 (飽和)	葡萄糖 (注射用)
一個液珠的帶電量(c)	1.382×10^{-10}	1.551×10^{-10}	1.229×10^{-10}	1.998×10^{-10}	1.433×10^{-10}
單位體積的帶電量(c/ml) (實驗 11：上部的求法)	8.668×10^{-9}	11.49×10^{-9}	9.04×10^{-9}	14.8×10^{-9}	10.61×10^{-9}
單位體積的帶電量(c/ml) (實驗 10：下部的求法)	1.157×10^{-9}	2.905×10^{-9}	1.181×10^{-9}	3.439×10^{-9}	0.993×10^{-9}

(表 9-2)



(圖 9-2：上部推算法)



(圖 9-3：下部推算法) (同圖 8-2)

(二)我們將自行推展出的兩種計算方式結果並列如上，推導結果令我們非常振奮，雖然數值上並非完全相一致，但皆能在同一數量級上，重要的是，各類水溶液及液體帶電量的大小關係是相一致的，其相關係數值 $r = 0.875$ 。

(三)透過實驗 8 及本實驗的測量及理論推導，我們更加確定了：

- 1.液體帶電量的數量級約在 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ coul 之間。
- 2.各類水溶液及液體所摩擦出的帶電量大關係為：飽和氯化鈉、飽和葡萄糖 > 注射用葡萄糖、注射用氯化鈉 > 純水 > 酒精 > 蠟油、乙酸乙酯、甲苯。

實驗十：靜電消除液良窳之判斷

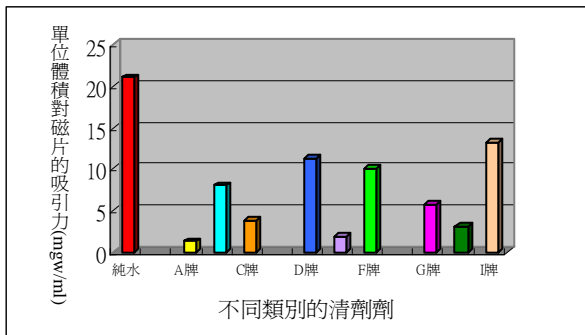
一、步驟

- (一)滴定純水(對照組)及各種類含靜電消除液的清潔劑。
- (二)將此實驗過程中記錄的數據製成圖表。

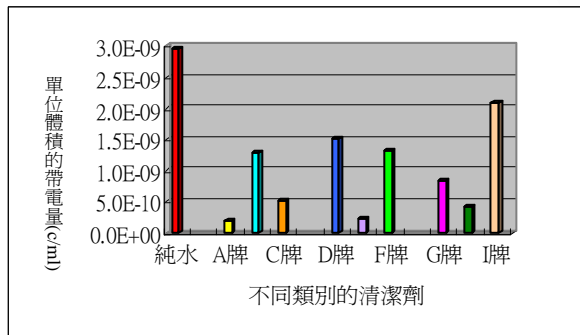
二、結果

項目 \ 類別	純水	玻璃清潔劑			洗衣精			衣物柔軟精		
		A牌 (妙牌)	B牌 (魔牌)	C牌 (裕牌)	D牌 (毛牌)	E牌 (妙牌)	F牌 (美牌)	G牌 (熊牌)	H牌 (妙牌)	I牌 (美牌)
單位體積吸引力(mgw/ml)	20.975	1.303	8.025	3.878	11.24	1.9	10.125	5.836	3.092	13.242
單位體積的帶電量(c/ml)	2.970×10^{-9}	0.196×10^{-9}	1.276×10^{-9}	0.510×10^{-9}	1.509×10^{-9}	0.233×10^{-9}	1.324×10^{-9}	0.842×10^{-9}	0.411×10^{-9}	2.078×10^{-9}
平均單位體積吸引力(mgw/ml)		4.402			7.755			7.39		
平均單位體積的帶電量(c/ml)		0.661×10^{-9}			1.022×10^{-9}			1.111×10^{-9}		

(表 10-1)



(圖 10-1)



(圖 10-2)

三、討論

(一)我們實際閱讀市面上各類清潔劑之內含成分後發現，許多清潔劑都標榜著有抗靜電的效果或內含靜電消除劑，而維基百科對抗靜電劑的功能之解釋：「能使經由摩擦、接觸、分離而產生的電荷傳導或泄漏」。此類商品多見於玻璃清潔劑、洗衣精、衣物柔軟精…等。我們蒐羅了各廠牌的此類商品，其標榜內容如照片 10-1：



(照片 10-1)

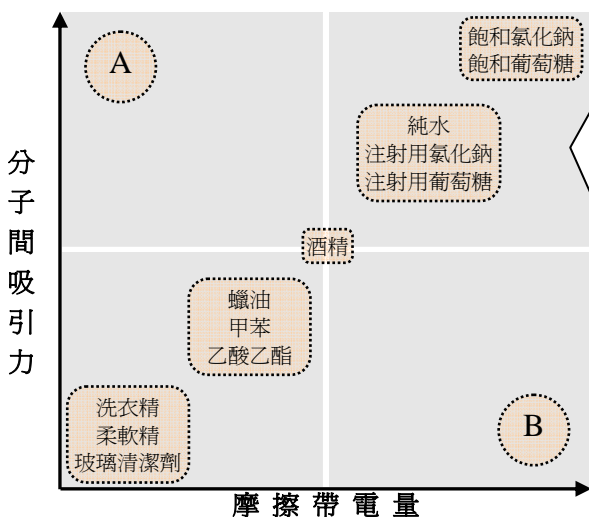
由表 10-1 及圖 10-1、10-2 所示，這三大類產品經摩擦後並非全然不產生靜電，但其產生靜電力及靜電量的大小皆能比純水小，尤以 **A 牌玻璃清潔劑**、**E 牌洗衣精**、**H 牌衣物柔軟精** 的抗靜電效果最佳(皆為妙牌系列產品)。

(二)就各類靜電消除液的平均單位體積吸引力及單位體積帶電量而言：洗衣精 > 衣物柔軟精 > 玻璃清潔劑，故靜電消除的能力：**玻璃清潔劑 > 衣物柔軟精 > 洗衣精**。這樣的結果是合理的。因為，與衣物相比，玻璃應更須避免灰塵的附著，故靜電消除的能力應更強大才是。

伍、研究結論與建議

一、結論

- (一)使液珠浮於液面的方法不只一種，本實驗中使液珠浮於液面的原因確為靜電力。
- (二)透過本實驗的裝置，觀察液珠是簡單、可行的；且微小的靜電力及靜電量是可以被觀察、被量化、被公式化的。
- (三)靜電力大小與液體流速、輸液管長度及液溫高低成正相關，與輸液管粗細成負相關，且靜電力的產生與大小受溫濕度影響甚鉅。
- (四)帶電液體單位體積的帶電量與單位體積的靜電力成正相關。與 PVC 管摩擦後液體所帶的電性時正時負，帶電量數量級約在 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ coul 之間。
- (五)各溫度的水在滴定口距水面約 1cm 的狀態下，液珠出現的比例最高，而液珠在液面上的行為有五類：振盪、碰撞、水平互溶、垂直互溶及撕裂分解。
- (六)液珠產生的原因，除液珠帶電外，還與液珠重量、液珠與液面分子間的吸引力有關。
- (七)帶電物體間，同性可能會相吸，但異性必定不相斥。
- (八)影響液珠在液面的行為是可能的，我們做到了「縮短」及「延長」液珠的生命期。
- (九)相較於水，市面上各廠牌各類清潔劑之單位體積帶電量皆遠小於水，可見其確有抗靜電之效果，其中，玻璃清潔劑的抗靜電效果普遍較好。
- (十)極性溶液(純水、酒精)、非極性溶液(蠟油、乙酸乙酯、甲苯)、電解質水溶液(食鹽水)、非電質水溶液(葡萄糖水)、稀薄水溶液(食鹽水、葡萄糖水)……等，皆能摩擦帶電，帶電大小、帶電特性、液珠大小、液珠特性各異。若依摩擦帶電量大小及分子特性作區分：



- I. 飽和氯化鈉、飽和葡萄糖、純水、注射用氯化鈉及葡萄糖的分子特性較接近極性分子。經摩擦後產生的帶電量最大，由於分子間的吸引力也相對較大，液珠出現比例較低，液珠較圓。
- II. 酒精分子特性介於極性與非極性分子之間，分子間的吸引力及摩擦帶電量居中，液珠出現比例及液珠大小居中。
- III. 蠟油、甲苯、乙酸乙酯的分子特性較接近非極性分子。經摩擦後產生的帶電量亞於上述液體，由於分子間的吸引力較小以致液珠出現的比例較高，液珠較小較扁平。
- IV. 各項清潔劑因內含抗靜電之成分，摩擦後的帶電量最小，由於清潔劑分子間的吸引力較小，以致液珠出現的比例較高，液珠較小且最扁平。
- V. 本實驗未發現圖中 A 類液體，但可用慢流速的純水來模擬，液珠出現比例應最低，甚至無法出現液珠，若能出現液珠，液珠較圓。
- VI. 本實驗未發現圖中 B 類液體，但可用快流速的蠟油、甲苯、乙酸乙酯或未添加抗靜電劑的清潔劑來模擬，液珠出現比例應最高，液珠較扁平。

二、建議

誠如實驗動機中所提到的，使液珠上浮的原因有表面張力、靜電力、蒸氣膜……，經過我們的實驗及閱讀相關文獻歸納後，我們認為有必要釐清這些概念：

1. **靜電力(F_e)**：液珠與液面帶同性電，產生排斥力，托高液珠
2. **表面張力(F_σ)**：存在於兩不相溶、不同的液體之間，底層液體的表面張力將液珠托高。
3. **氣流的向上推力(F_v)**：
 - (1) 運用底層金屬板加熱的方式，使液珠底部部分蒸發，產生一股向上的推力，並同時形成一層蒸氣膜，將液珠托高。
 - (2) 運用底層氣化現象旺盛的液體，產生向上的推力，將上層液珠托起，如液態氮。
 - (3) **運用液面的振動，使液珠與液面間的空氣膜不斷補入新空氣，托起液珠。**

本實驗除發現了上述振動的新方法外，集中的焦點僅在於上述的第一種狀況，若以兩力平衡式來說明液珠重量及向上推力的關係，茲列表如下，可供有興趣者做為深入實驗的探討依據：

類型	兩力平衡式	說明及可操作實驗
1	$W = F_e$	即本實驗探討內容，液珠經管壁的摩擦後，液珠落下時與下方帶同性電的液體相斥，浮於水面。
2	$W = F_\sigma$	自然界中我們可以觀察到水黽或針浮在水面上，這是憑藉著表面張力，將物體上托的現象。
3	$W = F_v$	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將液珠滴在在一加熱金屬板上，當液珠滴落的同時因遇熱使液珠底部形成蒸氣膜，使液珠能漂浮在金屬板上。 2. 直接將液珠滴入振動中的液面上。
4	$W = F_e + F_v$	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將本實驗中的純水溫度升高，或將純水代換成其他極易揮發的液體，經管壁摩擦後液珠帶有同性電而互相排斥，又因極易揮發而在兩者之間產生蒸氣膜。 2. 利用本實驗的點滴裝置，將液滴滴入振動中的液面。
5	$W = F_e + F_\sigma$	將不同類的液體先後經過管壁摩擦，除了原本的靜電力排斥外，底層液體的表面張力，也有將液珠托高的作用。
6	$W = F_\sigma + F_v$	將液態氮靜置於容器中，再將液珠滴在液態氮上，在液珠尚未凝固之前，由於兩者之間不易相溶，因此便產生了表面張力。此外，液態氮在常溫下氣化現象非常旺盛，如此一來便在兩者之間形成了一層由液態氮氣化而成的蒸氣膜，產生一股向上的推力。
7	$W = F_e + F_\sigma + F_v$	將不同類的液體先後經過管壁摩擦滴入容器中且前者必須為一極易揮發的液體，如此一來，來變在兩者之間形成了三種力，分別為靜電力、表面張力以及蒸氣流的向上推力。

陸、參考資料

1. 郭重吉 主編 (2008)：自然與生活科技第四冊。臺南市：南一。
2. 林明瑞 主編 (2008)：物理下冊(高二)。臺南市：南一。
3. 葉偉文 譯 (2000)：物理馬戲團 I。臺北市：天下文化。
4. 吳德和等 譯 (1999)：物理(下冊)。台北市：全華。

【評語】 030118

1. 探討滴定管中水經過長距離之塑膠管後，由於摩擦起電，使液珠帶電，當滴落管中時，造成靜電排斥而漂浮於液面之現象，作者自行設計一個簡單且精密的實驗裝置，利用磁碟片之感應起電與液滴間的靜電作用，引起磁碟片表面曲度變化，以簡單光學方法測出曲度並反推出液珠帶電量的方法，具有相當創意。
2. 四位作者各有所司，團隊合作佳，探討兩帶電體間的靜電力性質及推算出液珠帶電量，方法正確，數據詳實，具科學精神及態度，及解決問題的創意。