

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 物理科

040102

水滴～來不來電？

學校名稱：新北市立新莊高級中學

作者： 高一 管謹中 高一 戴傳軒 高一 蔡峻明	指導老師： 張志康 蘇泰龍
---	-----------------------------

關鍵詞：靜電力、圓周運動、水滴帶電性

水滴~來不來電？

摘要與研究架構：

本研究旨在探討「水滴的帶電程度」，利用攝影機拍攝水滴受靜電棒作用後的現象，搭配 Tracker 電腦軟體，觀察「各種水滴」受「不同靜電力」的影響所產生「偏移」、「裂解」、「單位水滴質量的電量負載(q/m)」...等結果有何差異。研究結果發現：(一)水滴的確會帶電，並可繞轉或吸附靜電棒；(二)水滴受靜電作用後會在針尖發生裂解，裂解後的小水滴極限質量為 0.00085(克)；(三)從水滴的軌跡可得知(加)速度，透過 $x-t$ 、 $v-t$ 與 $a-t$ 圖，可推知水滴裂解瞬間的(加)速度、重力與靜電力間的關係，進而估算「 q/m 」，分析水滴的帶電程度；(四)改變水滴的類型並重複實驗可知：鹽水的偏移量、帶電量、荷質比最大，而酒精最小；因此，帶電離子與氫鍵可能影響水滴的帶電程度。

壹、研究動機：

記得在某次科學專題的課程中，指導老師放了一部 NASA 在外太空所拍攝的 3 分鐘短片，影片內容是將塑膠棒針用紙張摩擦，使其產生靜電，接著在一旁滴下水滴，水滴便受到靜電的吸引而繞著棒針旋轉...。對此，我們產生了高度的好奇，立馬進行實驗，觀察水滴是否會受到靜電的影響而偏轉。結果，天阿~這真是太神奇了！水滴居然會受靜電力的作用而偏轉...「水滴居然會帶電耶」！在進行數次的微實驗後，我們發現到：「要讓水滴連續繞轉一圈似乎不太可行...」。欲使水滴帶多一點電，做完美的迴圈該如何進行？在和老師多次研討的過程中，我們決定先研究出「水滴受靜電的各種影響」，再試圖由位置、速度、加速度等物理量找出影響水滴偏移的主要原因，進而揭開水滴內「蘊含電量多寡」的神秘面紗。

貳、研究目的：

- 一、尋找各種可能造成水滴軌跡偏移的最佳靜電實驗模組。
- 二、探討不同靜電力大小對水滴裂解與水滴軌跡的影響。
- 三、從水滴的運動軌跡找出各種基本物理量，探討影響水滴偏移的主要原因。
- 四、改變水滴的本質(即鹽水、酒精)，找出影響軌跡之各種可能成因。
- 五、綜合比較各種水滴(即純水、鹽水、酒精)內蘊含電量的多寡並提出可能的解釋。

參、研究器材及設備：

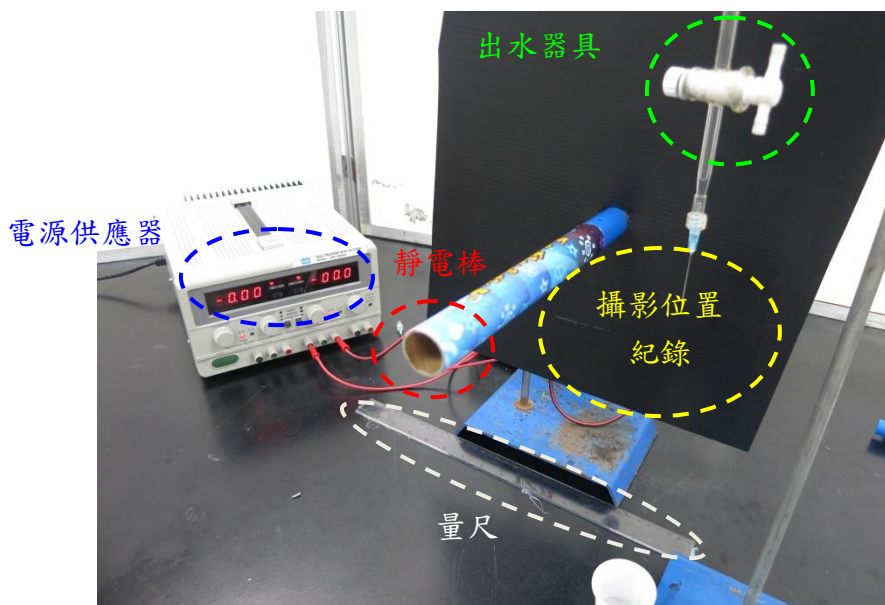
一、研究器材：

- (一) 鐵架..... 7 個
- (二) 出水器具：
 1. 滴定管+針頭..... 3 組
 2. 出水吸球+針頭 1 組
 3. 針筒+針頭..... 1 組
- (三) 靜電棒：
 1. 塑膠尺+毛皮..... 1 組
 2. 坊間販售靜電棒+直流電源供應器..... 2 組
- (四) 接水塑膠盤..... 1 個
- (五) 熱熔膠(槍)..... 1 組
- (六) 純水..... 數瓶
- (七) 95%酒精..... 數瓶
- (八) 10%鹽水..... 數瓶
- (九) 單眼相機+攝相機..... 各 1 台

二、研究設備與條件定義：

(一) 量測設備與使用條件：

1. 量測設備：如圖一所示，以直流電源供應器接上靜電棒的正負極，輸入 3(V)的穩定電壓，製造穩定的靜電，然後在靜電棒旁邊放置一組出水器具，滴出水滴後，以攝相機觀察紀錄水滴受靜電影響後的各種情形。



圖一、量測設備架構圖

2. 使用條件：

- (1) 垂直出水：將滴定管垂直桌面、靜電棒平行桌面擺設，以攝相機搭配人眼、人耳等測量工具，計算水滴受靜電力作用前後，水滴(落地)數與質量的關係。
- (2) 靜電力與重力：依據四大基本作用力的概念可知，水滴受到的靜電力應比重力大出許多；而在水滴出水的瞬間，重力的方向幾乎與靜電力垂直，根據運動獨立性的概念，便可有效分析各種基礎物理量。

(二) 條件定義：

1. 最佳靜電實驗模組：意指靜電效果最穩定且水滴偏移效果最佳的模組。
2. 水滴裂解：從滴定管中下落的水滴會因靜電力的作用而裂解成更細微的小水滴。
3. 水滴偏移量：泛指不受靜電時與受靜電時水滴落地的位置差(位移量)。
4. 名詞定義：
 - (1) 靜電距離：針頭的出水處與靜電棒的距離，我們定義為靜電距離。
 - (2) 位置、速度、加速度：當我們訂定出水處為座標原點時，即可以 Tracker 軟體分析水滴在不同的時間所對應的位置、速度與加速度。
 - (3) 水滴的質量：從「滴定管+針頭」滴出的一滴水(或因靜電力作用而裂解成更細微的小水滴)，在滴定管上所讀到的體積減少量，定義為水滴的質量。
 - (4) 水滴蘊含電量的多寡：當水滴受電力與重力的合力方向角度越小，含電量越多。

肆、研究過程或方法：

一、實驗一：尋找各種可能造成水滴軌跡偏移的最佳靜電實驗模組

- (一) 實驗方法：測試各種產生靜電的方式，找出靜電效果最穩定且水滴偏移效果最佳的實驗模組。
- (二) 實驗步驟：使用各種產生靜電的方式(毛皮摩擦塑膠尺、市售靜電棒、改良型靜電棒等)，以攝相機記錄偏轉效果，並找出靜電效果最穩定且水滴偏移效果最佳的方法。

二、實驗二：探討不同靜電力大小對水滴裂解與水滴軌跡的影響

- (一) 實驗方法：調整不同的靜電力大小(即水滴出水位置與靜電棒的距離)，觀察水滴裂解的位置、情況與水滴軌跡的偏移量。
- (二) 實驗步驟：
 1. 調整水滴出水位置與靜電棒的距離，分別讓出水位置距離靜電棒為 2、3、4、5 與 6 公分處，使水滴所受的靜電力因距離的關係而有所不同。
 2. 固定每次出水的速率，第一次先記錄不受靜電影響之水滴質量與出水頻率。以滴定管漏水 1 毫升(克)為分析單位，計算滴下的水滴數與總時間，並將 1 毫升(克)除以水滴數得到水滴質量。
 3. 第二次之後，再錄影記錄出水位置距靜電棒於五種不同位置時，水滴受靜電影響後的出水頻率、水滴裂解位置與質量。重複步驟 2，在不同位置連續實驗 8 次，分別計算受靜電影響後的出水頻率、水滴裂解位置與質量。
 4. 使用 Excel 分析靜電棒之遠近與水滴裂解質量的關係，並找出趨勢函數與相關係數，計算水滴裂解的極限質量。

三、實驗三：從水滴的運動軌跡找出各種基本物理量，探討影響水滴偏移的主要原因

- (一) 實驗方法：改變靜電棒與針筒的距離，以免費軟體 Tracker 分析實驗影片，記錄水滴裂解位置、速度、加速度等各種物理量，分析影響水滴偏移的主要原因。
- (二) 實驗步驟：
 1. 調整針筒出水位置與靜電棒的距離，分別讓出水位置距離靜電棒為 2、3、4、5 與 6 公分處，使水滴受到的靜電力因距離的關係而有所不同。
 2. 以錄影記錄出水位置距靜電棒於五種不同位置時，水滴受靜電影響後的水滴軌跡。並在不同位置連續實驗 8 次，分別以 Tracker 分析實驗影片，記錄水滴裂解位置、速度、加速度等各種物理量。
 3. 使用 Excel 分析不同水滴軌跡的各種基本物理量，繪製成圖表，並由力與運動的概念推算水滴偏移的主要原因。

四、實驗四：改變水滴的本質(即鹽水、酒精)，找出影響軌跡之各種可能成因。

- (一) 實驗方法：使用 Tracker 和 Excel 分析不同的水滴(鹽水、酒精)，其裂解極限質量與軌跡所對應的各種基本物理量，並由力與運動的概念推算水滴偏移的主要原因。
- (二) 實驗步驟：
 1. 同<實驗三>，將水滴改為「鹽水」，重複實驗三步驟 1~2，檢視鹽水的裂解質量。
 2. 同<實驗三>，將水滴改為「酒精」，重複實驗三步驟 1~2，檢視酒精的裂解質量。
 3. 使用 Excel 分析不同水滴軌跡的各種基本物理量，繪製成圖表，並由力與運動的概念推算水滴偏移的主要原因。

五、實驗五：綜合比較各種水滴(即純水、鹽水、酒精)內蘊含電量的多寡，並提出可能的解釋

(一) 實驗方法：綜合比對實驗三與實驗四的實驗結果，探討不同水滴的裂解位置、質量、偏移軌跡、水滴帶電量之異同，並與各類文獻的研究結果進行比對提出解釋。

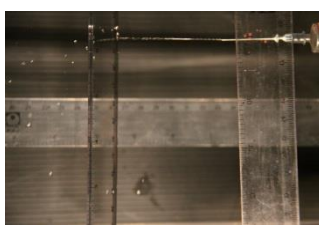


(二) 實驗步驟：

1. 利用<實驗二>求水滴裂解後極限質量的算法，計算鹽水、酒精裂解的位置、極限質量，再進行數據比對。
2. 利用<實驗三>與<實驗四>以 Tracker 和 Excel 計算三種水滴軌跡物理量的結果進行比對，探討不同靜電力、不同水滴本質，對水滴帶電量的關係為何。
3. 將本實驗推算得到的實驗結果與各類文獻的研究結果進行比對提出解釋。

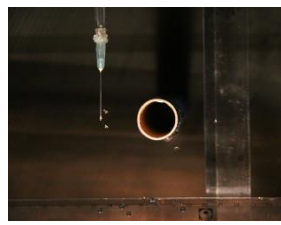
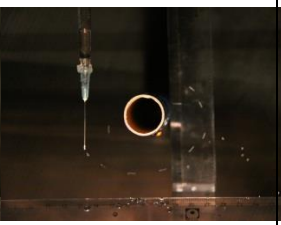
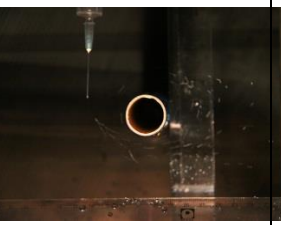
伍、研究結果：

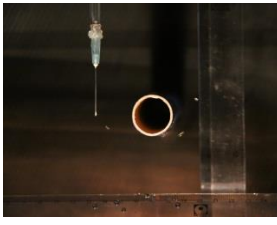
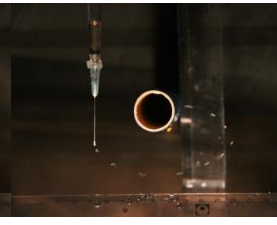
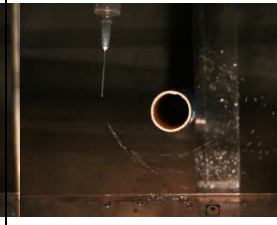
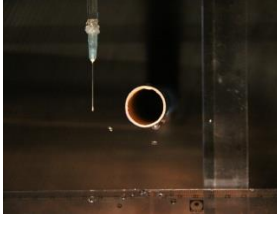
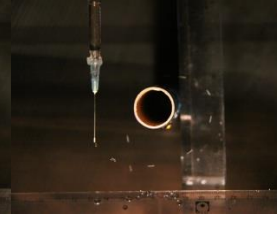
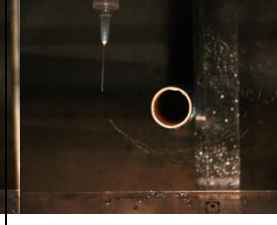

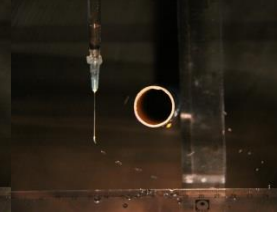
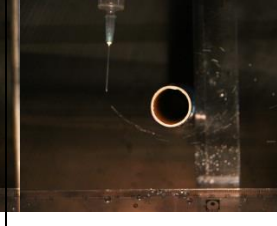
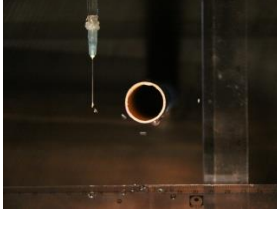
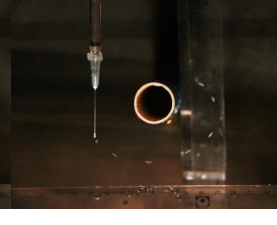
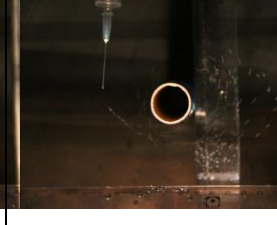
一、實驗一：尋找各種可能造成水滴軌跡偏移的最佳靜電實驗模組

(一) 比較各種靜電棒的穩定性與偏移效果：

項目	以抹布摩擦 市面上販售的塑膠尺	坊間販售的靜電棒	加裝直流電源供應器 的靜電棒
種類 (照片)			
特色 (方式)	以摩擦起電方式產生靜電	由靜電棒內的履帶摩擦產生靜電	由靜電棒內的履帶摩擦產生靜電
穩定性	極差，靜電容易消逝，且靜電力不穩定	尚可，但靜電力會隨靜電棒內電池能量消耗而改變	佳，電力來源透過電源供應器控制，靜電力穩定
偏移量	1~2 公分，無法繞圈	產生靜電力足以使水滴繞圈	產生靜電力足以使水滴繞圈
統整	由以上的優缺分析可知：前兩者的靜電力不穩定，故不採用；而第三種模組的靜電力穩定且可方便調整電壓電流，故接下來的實驗均採用此模組進行各項實驗。		

(二) 比較各種出水器具與按壓方式的偏移效果：

偏移效果 按壓方式	比對類型 滴定管+針頭	出水吸球+針頭	針筒+針頭
	自動放水	手動擠壓	手動擠壓
第 1 次			

第 2 次			
第 3 次			
第 4 次			
第 5 次			
平均偏移效果	<p>由以上結果可知：(1)自動放水的軌跡較手動擠壓的軌跡來得穩定；(2)從五次的實驗中不難發現，「滴定管+針頭」的迴轉效果較其它兩組佳，幾乎每次的實驗結果都能產生完整的迴圈，但手動擠壓的後兩者大多僅完成半圈的迴旋。</p>		

(三) 最佳實驗模組的參數變因：

1. 靜電棒的規格：

(1) 直流電源供應器：電壓 3 (V)、電流 1.8(A)。

(2) 靜電棒的廠牌：magic stick。

2. 出水器具的規格：

(1) 按壓方式：

a. 滴定管→加入 10(cc)清水後，自流。

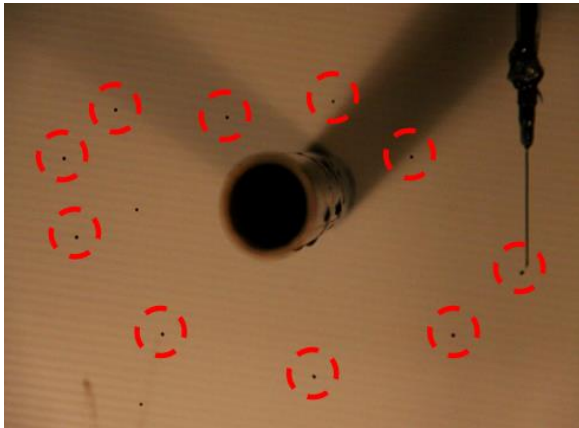

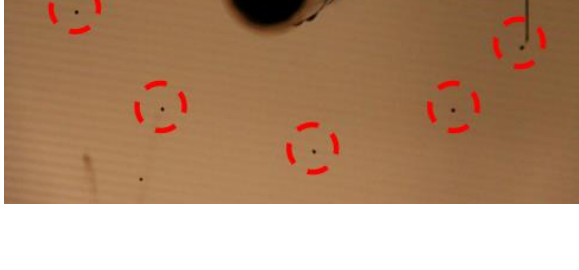
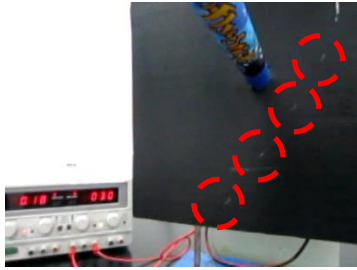
b. 出水吸球→加入 10(cc)清水後，手動壓下出水鈕。

c. 針筒→加入 10(cc)清水後，手動按壓，使水等速噴出。

(2) 針頭：藥房採購細針頭(約 0.6mm 孔徑)。

二、 實驗二：探討不同靜電力大小對水滴分解與水滴軌跡的影響

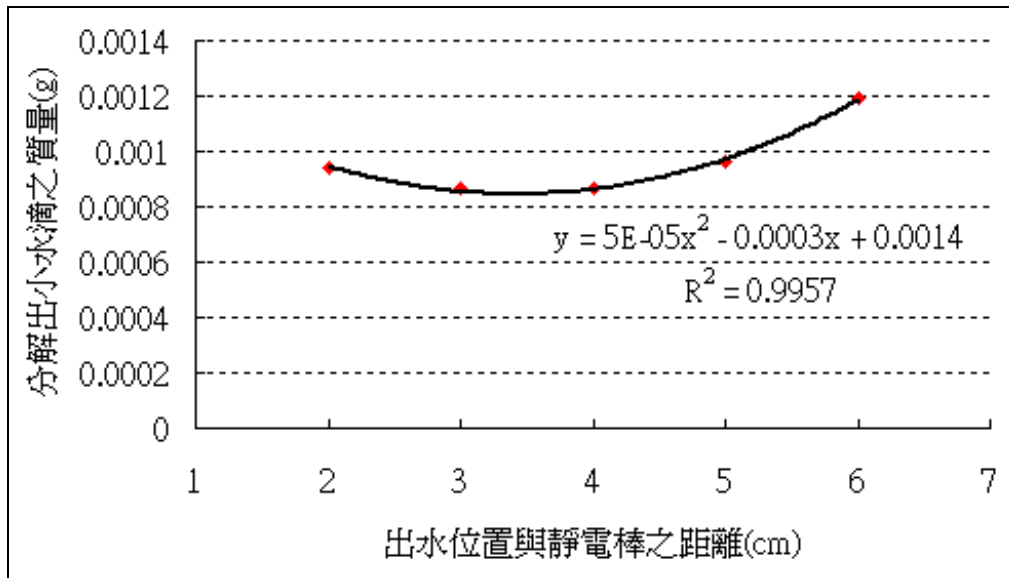
(一) 實驗影像分析記錄：

項目	使用單眼相機快速連續拍攝 (以黑墨汁為例，方便拍攝)	靜電作用 (以截圖程式截取影像)
分解前		
分解後		
圖說	從上圖可知：使用單眼相機快速連續拍攝(每秒 5 張)時，雖可看到清晰的水滴影像，但卻無法精確分辨每滴水滴下一時刻的確切位置，故改用攝影紀錄滴下的水滴數。	從上兩張圖可知：滴定管上的水滴會受到靜電力作用迅速裂解成連續細小的小水滴，裂解的位置幾乎就在針尖處，必須進一步用軟體分析。

(二) 實驗數據分析記錄：

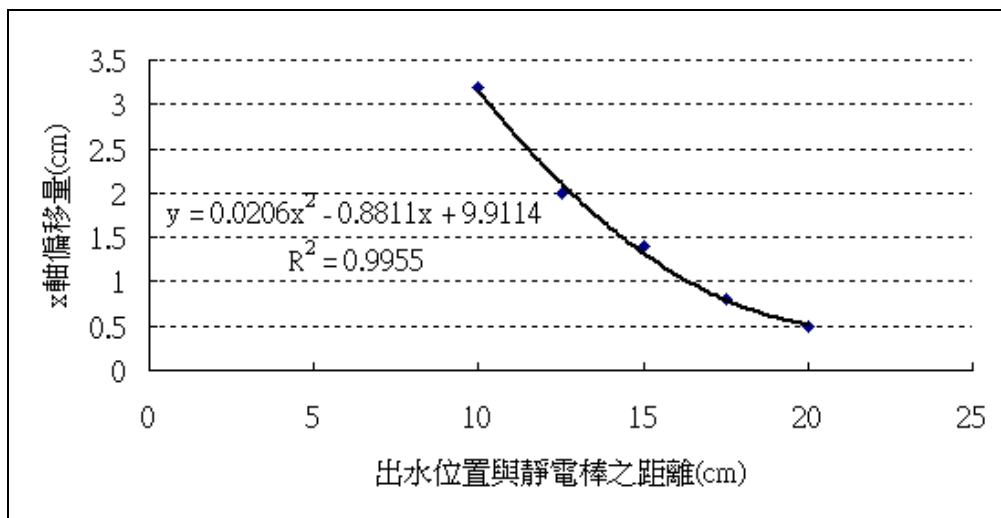
距離 (cm) \ 次數	2		3		4		5		6	
	無靜電	有靜電	無靜電	有靜電	無靜電	有靜電	無靜電	有靜電	無靜電	有靜電
第一次(s/滴)	0.155	0.0137	0.166	0.0152	0.175	0.0166	0.167	0.0168	0.19	0.0229
第二次(s/滴)	0.165	0.0154	0.177	0.0152	0.179	0.0168	0.173	0.0208	0.182	0.0195
第三次(s/滴)	0.155	0.0133	0.184	0.0158	0.16	0.0145	0.182	0.0164	0.192	0.02
第四次(s/滴)	0.158	0.0152	0.18	0.015	0.16	0.0127	0.187	0.017	0.215	0.0302
第五次(s/滴)	0.157	0.0152	0.177	0.0154	0.165	0.0135	0.0187	0.0175	0.23	0.0302
第六次(s/滴)	0.158	0.0158	0.174	0.0147	0.16	0.0137	0.171	0.0164	0.159	0.0212
第七次(s/滴)	0.164	0.016	0.177	0.0156	0.162	0.0131	0.177	0.0145	0.172	0.0175
第八次(s/滴)	0.157	0.015	0.187	0.016	0.165	0.0137	0.172	0.0164	0.174	0.0197
第一次質量(g)	0.000887097		0.0009125		0.000947867		0.001007463		0.001200873	
第二次質量(g)	0.000934343		0.000856808		0.00094186		0.001201923		0.001073059	
第三次質量(g)	0.000860215		0.000859729		0.000911458		0.000901826		0.001049784	
第四次質量(g)	0.000960526		0.000833333		0.000790155		0.000911111		0.001405039	
第五次質量(g)	0.000965608		0.000868545		0.000820707		0.000933333		0.001313406	
第六次質量(g)	0.001000001		0.000849282		0.000859375		0.000958738		0.001335079	
第七次質量(g)	0.000977157		0.000880282		0.000807692		0.000821596		0.001014493	
第八次質量(g)	0.000952381		0.000855556		0.000829146		0.000954106		0.001136364	
平均質量(g)	0.000942166		0.000864504		0.000863533		0.000961262		0.001191012	

(三) 綜合比較：



圖二、靜電棒之遠近與水滴分解質量的關係圖

從圖二中可知：隨著出水位置與靜電棒距離的增加，水滴裂解質量也有逐漸上升的趨勢，趨勢函數寫成 $y = 0.00005x^2 - 0.0003x + 0.0014 (R^2 = 0.9957)$ 。單就物理的觀點可以視為：「隨著靜電力的增加(距離的減少)，水滴分解質量就越小」。除此之外，我們也可以從趨勢函數中找到水滴實驗值的極限質量，大約出現在距離為 3.5(cm)處，其量值為 0.00085(g)。

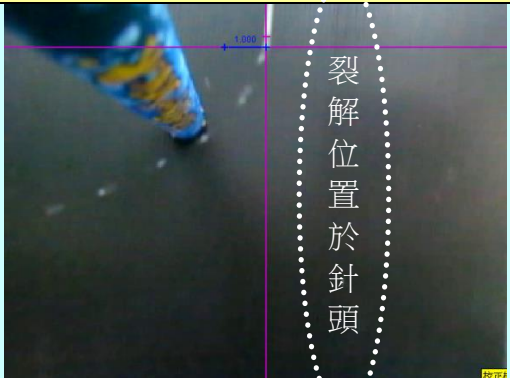
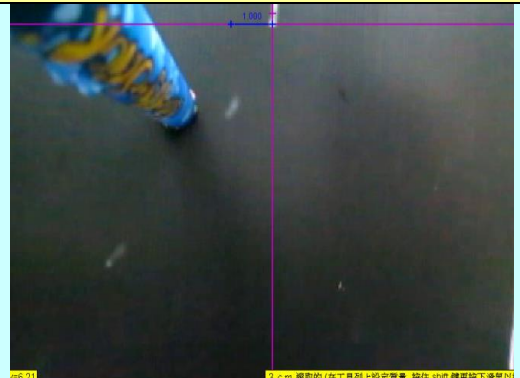
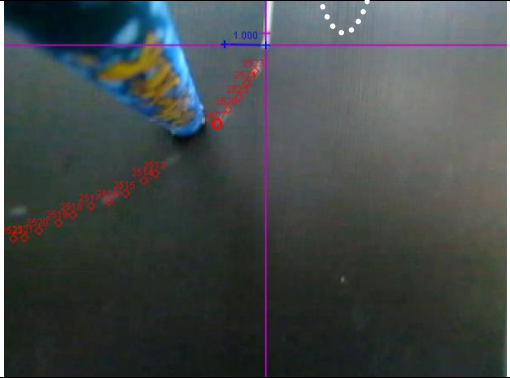

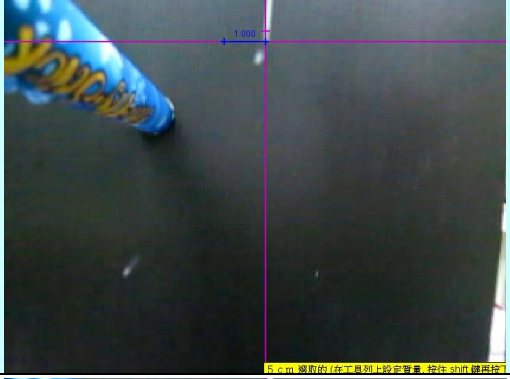
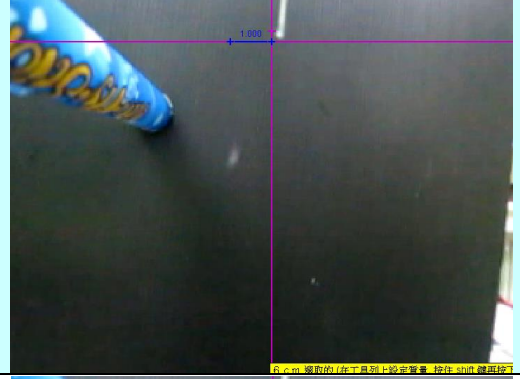
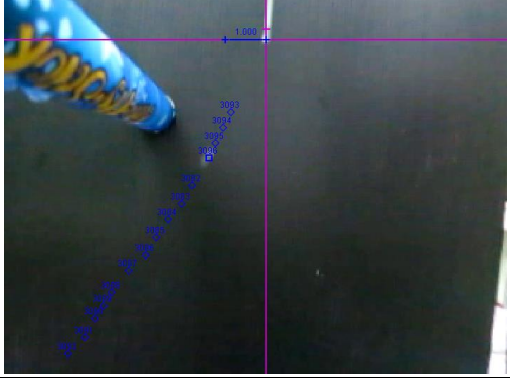
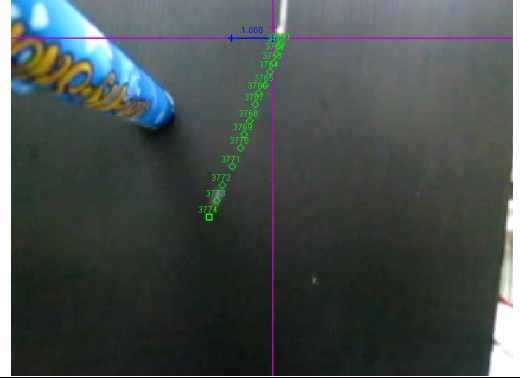


圖三、靜電棒之遠近與水滴偏移量的關係圖


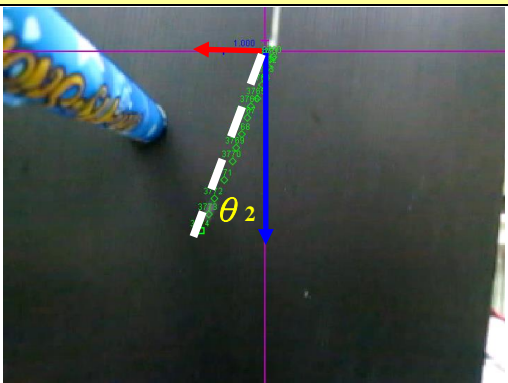
若我們再進一步以 Excel 繪製靜電棒之遠近與水滴偏移量的關係圖時(如圖三所示)，我們可以發現：「隨著靜電力的增加(距離的減少)，水滴偏移量就越大」。總而言之，靜電力的的大小的確會影響水滴的分解與水滴的偏移量，當靜電棒與出水針頭距離越近時，水滴分離成小水滴的量越多，且軌跡偏移的量也越大。

三、實驗三：從水滴的運動軌跡找出各種基本物理量，探討影響水滴偏移的主要原因

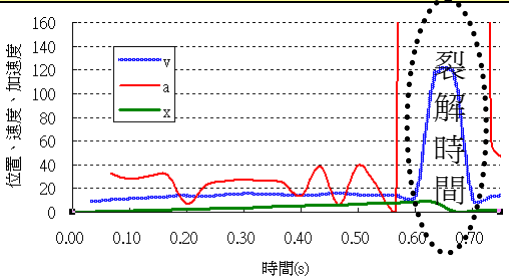
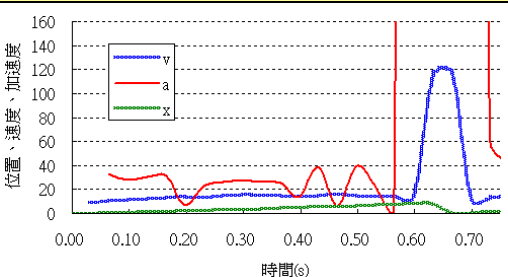
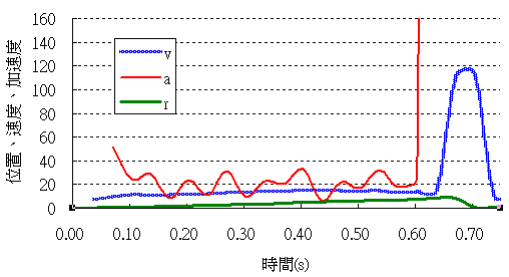
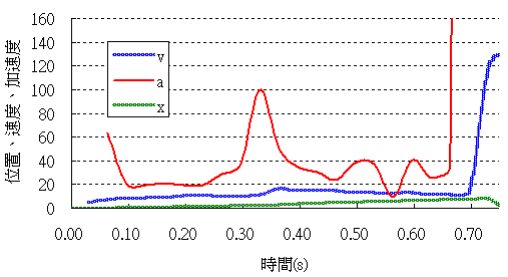
(一) 以 Tracker 分析水滴軌跡的各種影像分析結果：

靜電距離 項次	3(cm)	4(cm)
設定原點		
自(手)動 追蹤		
靜電距離 項次	5(cm)	6(cm)
設定原點		
自(手)動 追蹤		
小結	<p>水滴在離開針頭瞬間即發生裂解，且隨著靜電距離的增加，水滴的軌跡越無明顯偏移；同時，裂解的質量也有逐漸增大的趨勢。此外，水滴的流速與加速度也會隨著靜電距離的不同而不同，靜電距離越近，靜電力就越強，切線速度的方向與垂直軸夾角就越大，即單位質量水滴的帶電量就越多。</p>	

(二) 推估影響水滴偏移的主要原因

項目	靜電力較大(半徑=3cm)	靜電力較小(半徑=6cm)
出水前 (照片)		
水滴 質量	0.0008645(g) [圖二數據]	0.001191(g) [圖二數據]
合力與 垂直軸 的夾角	夾角 θ_1 約為 60 度(速度偏離角) 重力可視為 0.0008645(gw) 電力強，水滴可能蘊含的電量大	夾角 θ_2 約為 25 度(速度偏離角) 重力可視為 0.001191 (gw) 電力弱，水滴可能蘊含的電量少
小結	電量的多寡必須考量水滴的質量、靜電距離、切線速度方向、...等複雜因素，概括來看：靜電力較大時，單位質量的水滴可能蘊含的電量較多，但仍要運用理論物理的計算方式加以推估。	

(三) 以 Tracker 分析水滴運動軌跡在不同的時間所對應的各種物理量：

距離	3cm	4cm
v-t 圖 a-t 圖		
距離	5cm	6cm
v-t 圖 a-t 圖		
小結	由上面四張 Tracker 分析圖可知：(一)當位置偏移量越大時，速度有一個脈衝值、加速度越大。(二)距離 3cm 與 4cm 的靜電力，在時間為 0.65 秒時產生裂解；而距離 5cm 與 6cm 的靜電力則需到達 0.70 與 0.75 秒才發生裂解。(三)無論距離多遠的靜電力，水滴的速度脈衝值與加速度值的大小無顯著差異，意即水滴所受的「合力/質量=加速度(定值)」。	

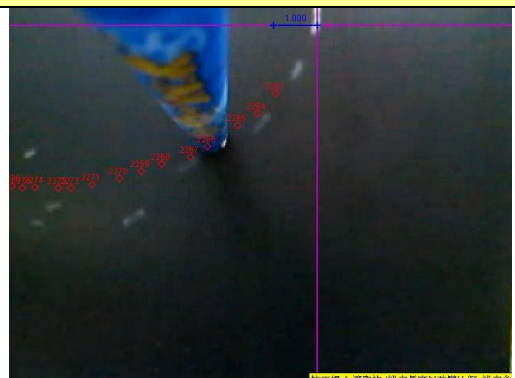

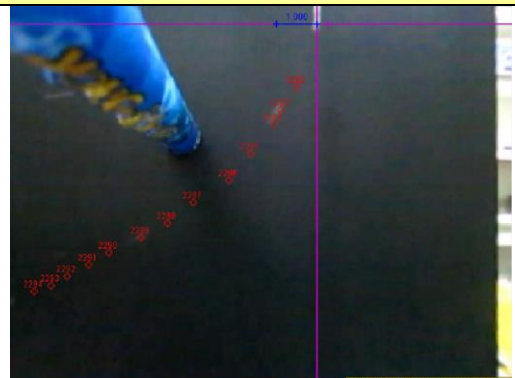
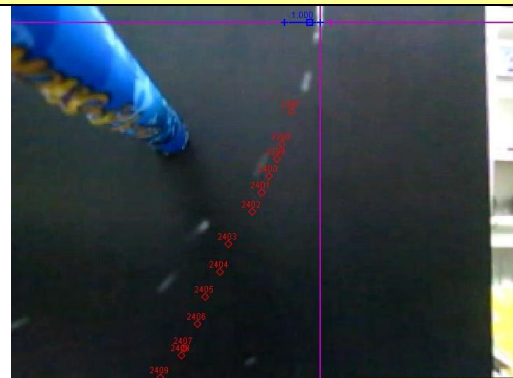
(四) 小結：影響水滴偏移的主要原因

1. 水滴在**離開針頭瞬間即發生裂解**，且隨著靜電距離的增加，水滴裂解醞釀時間越長、軌跡越無明顯偏移。
2. 無論距離多遠的靜電力，水滴所受的「合力/質量=加速度(定值)」。
但靜電距離近時的速度偏離角較大，因此， $\tan 60^\circ / \tan 25^\circ = 0.5581 / 0.4663 = F_{e近} * F_{g遠} / F_{e遠} * F_{g近}$ 。
 $1.2 = (F_{e近} * F_{g遠}) / (F_{e遠} * F_{g近}) \rightarrow 1.2 = F_{e近} / F_{e遠} * (0.001191 / 0.0008645) \rightarrow F_{e近} / F_{e遠} = 1.148$ 。
3. 影響水滴偏移的主要原因： $F_{g近} / F_{g遠} = m_{近} / m_{遠} = 0.7258$ ； $F_{e近} / F_{e遠} = q_{近} / q_{遠} = 1.148 \rightarrow q_{近} / m_{近} : q_{遠} / m_{遠} = 1.58 : 1 \rightarrow$ 靜電距離越近，裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量就越多。


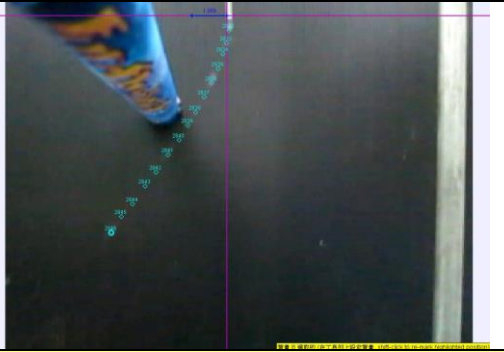
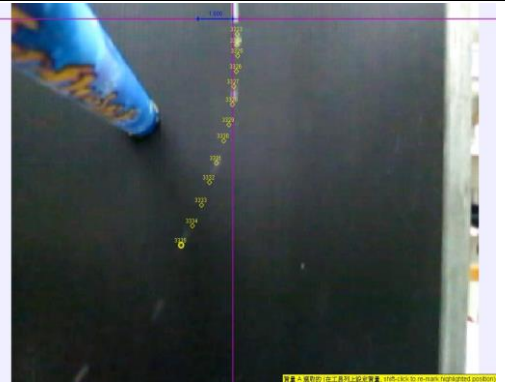
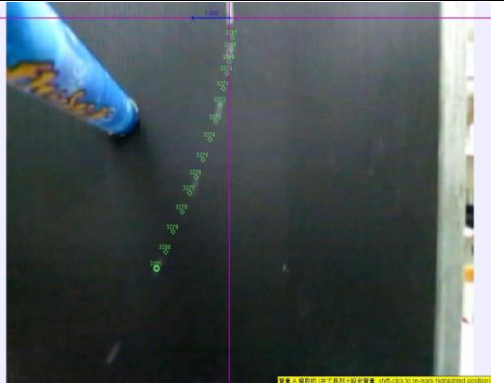
四、**實驗四：改變水滴的本質(即鹽水、酒精)**，找出影響軌跡之各種可能成因

(一) 以 Tracker 分析水滴軌跡的各種影像分析結果：

1. 鹽水：由於鹽水是含有鈉離子和氯離子的溶液，預期單位質量水滴之帶電量應該較大，造成水滴產生的軌跡應該與純水不同。

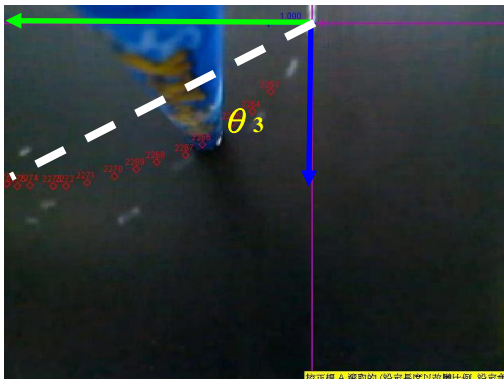
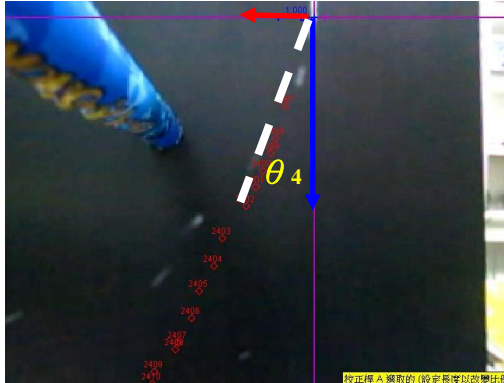
靜電距離 項次	3(cm)	4(cm)
自(手)動 追蹤		
靜電距離 項次	5(cm)	6(cm)
自(手)動 追蹤		
小結	鹽水在 離開針頭瞬間即發生裂解 ，且隨著靜電距離的增加，水滴的軌跡越無明顯偏移。但若將其軌跡與純水水滴作比對，不難發現 偏移現象較明顯 。	

2. 酒精：由於酒精算是在常溫容易自然揮發的溶液，**氫鍵應比純水要大(基礎化學)**，預期單位質量水滴之質量應該較大，造成水滴產生的軌跡應該與純水不同。

靜電距離 項次	3(cm)	4(cm)
自(手)動 追蹤		
靜電距離 項次	5(cm)	6(cm)
自(手)動 追蹤		
小結	酒精在離開針頭瞬間即發生裂解，且隨著靜電距離的增加，水滴的軌跡越無明顯偏移。但若將其軌跡與純水水滴作比對，可發現偏移現象較不明顯。	

(二) 推估影響水滴偏移的主要原因：

1. 鹽水：

項目	靜電力較大(半徑=3cm)	靜電力較小(半徑=6cm)
出水前 (照片)		
水滴 質量	0.0010374(g) [圖二數據*鹽水密度 1.2 g/cm ³]	0.0014292(g) [圖二數據*鹽水密度 1.2 g/cm ³]
合力與 垂直軸 的夾角	夾角 θ_3 約為 70 度 重力可視為 0.0010374 (gw) 電力強，水滴可能蘊含的電量大	夾角 θ_4 約為 25 度 重力可視為 0.0014292 (gw) 電力弱，水滴可能蘊含的電量少

2. 酒精：

項目	靜電力較大(半徑=3cm)	靜電力較小(半徑=6cm)
出水前 (照片)		
水滴 質量	0.00068296(g) [圖二數據*酒精密度 0.79 g/cm ³]	0.00094089(g) [圖二數據*酒精密度 0.79 g/cm ³]
合力與 垂直軸 的夾角	夾角 θ_5 約為 30 度 重力可視為 0.00068296 (gw) 電力強，水滴可能蘊含的電量大	夾角 θ_6 約為 15 度 重力可視為 0.00094089 (gw) 電力弱，水滴可能蘊含的電量少

(三) 以 Tracker 分析水滴運動軌跡在不同的時間所對應的各種物理量：

1. 鹽水：

距離	3cm	4cm
v-t 圖 a-t 圖		
距離	5cm	6cm
v-t 圖 a-t 圖		
小結	由上面四張 Tracker 分析圖可知：(一)距離 3cm、4cm、5cm 的靜電力，在時間為 0.60、0.65、0.75 秒時產生裂解；而距離 6cm 的靜電力居然到達 0.60 秒就已發生裂解。(二)靜電距離越遠的鹽水滴，其速度脈衝值與加速度值的有逐漸增加的趨勢，意即水滴所受的「合力/質量」會隨著距離的增大而增加，電量的大小也較難估算。(三)鹽水滴的裂解似乎較多影響的因素，例如離子的電量、內聚力、...等，因此，較難找出影響期偏移的原因。	

2. 酒精：

距離	3cm	4cm
v-t 圖 a-t 圖		
距離	5cm	6cm
v-t 圖 a-t 圖		
小結	由上面四張 Tracker 分析圖可知：(一)距離 3cm、4cm、5cm、6cm 的靜電力，在時間為 0.53、0.55、0.60、0.63 秒時產生裂解。(二)靜電距離越遠的酒精水滴，其速度脈衝值與加速度值的大小無顯著差異，意即水滴所受的「合力/質量=加速度(定值)」。(三)酒精水滴的裂解似乎與純水水滴較為接近，可以仿效實驗三的作法，找出影響酒精水滴偏移的主要原因。	

(四) 小結：影響軌跡之各種可能成因

- 由上圖中可得知，無論是鹽水或酒精水滴都是在離開針頭瞬間即發生裂解，且(1)酒精水滴會隨著靜電距離的增加，水滴裂解醞釀時間越長、軌跡越無明顯偏移；若與純水水滴相比，其軌跡偏移的情況較不明顯。(2)鹽水水滴裂解似乎較多影響的因素，因而較難找出規律性；若與純水水滴相比，其軌跡偏移的情況較為明顯，單位質量所帶的電量應該要比純水或酒精來得多。
- 無論距離多遠的靜電力，酒精水滴所受的「合力/質量=加速度(定值)」，但靜電距離近時的速度偏離角較大，因此， $\tan 30^\circ / \tan 15^\circ = 0.5774 / 0.2679 = F_{e近} * F_{g遠} / F_{e遠} * F_{g近}$
 $2.155 = (F_{e近} * F_{g遠}) / (F_{e遠} * F_{g近}) \rightarrow 2.155 = F_{e近} / F_{e遠} * (0.00068296 / 0.00094089) \rightarrow$
 $F_{e近} / F_{e遠} = 2.97$ 。
- 影響水滴偏移的主要原因： $F_{g近} / F_{g遠} = m_{近} / m_{遠} = 0.7258$ ； $F_{e近} / F_{e遠} = q_{近} / q_{遠} = 2.97 \rightarrow$
 $q_{近} / m_{近} : q_{遠} / m_{遠} = 4.09 : 1 \rightarrow$ 靜電距離越近，裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量就越多。

五、實驗五：綜合比較各種水滴(純水、鹽水、酒精)內蘊含電量的多寡並提出可能的解釋

(一) 各種水滴的裂解位置與裂解質量：

- 各種水滴的裂解位置：幾乎都在針尖處發生裂解。
- 各種水滴的裂解質量：
 - 純水： $y = 0.00005x^2 - 0.0003x + 0.0014 (R^2 = 0.9957)$ ，極限質量 0.00085(g)。
 - 鹽水： $y = 0.00006x^2 - 0.00036x + 0.00168 (R^2 = 0.9957)$ ，極限質量 0.00102(g)。

(3) 酒精： $y = 0.0000395x^2 - 0.000237x + 0.001106 (R^2 = 0.9957)$ ，極限質量 0.0006715(g)。

(二) 以 Tracker 分析各種水滴軌跡的各種影像分析結果：當位置偏移量越大時，速度有一個脈衝值、加速度越大。

1. 水滴：(1)距離 3cm 與 4cm 的靜電力，在時間為 0.65 秒時產生裂解；而距離 5cm 與 6cm 的靜電力則需到達 0.70 與 0.75 秒才發生裂解。(2)無論距離多遠的靜電力，水滴的速度脈衝值與加速度值的大小無顯著差異，意即水滴所受的「合力/質量=加速度(定值)」。
2. 鹽水：(1)距離 3cm、4cm、5cm 的靜電力，在時間為 0.60、0.65、0.75 秒時產生裂解；而距離 6cm 的靜電力居然到達 0.60 秒就已發生裂解。(2)靜電距離越遠的鹽水滴，其速度脈衝值與加速度值的有逐漸增加的趨勢，意即水滴所受的「合力/質量→會隨著距離的增大而增加」，電量的大小也較難估算。
3. 酒精：(1)距離 3cm、4cm、5cm、6cm 的靜電力，在時間為 0.53、0.55、0.60、0.63 秒時產生裂解。(2)靜電距離越遠的酒精水滴，其速度脈衝值與加速度值的大小無顯著差異，意即水滴所受的「合力/質量=加速度(定值)」。
4. 相同的靜電距離，各種水滴的偏移量大小：**鹽水>純水>酒精**。

(三) 影響軌跡之各種可能成因：

1. 影響純水水滴偏移的原因： $F_{g近}/F_{g遠} = m_{近}/m_{遠} = 0.7258$ ； $F_{e近}/F_{e遠} = q_{近}/q_{遠} = 1.148$ → $q_{近}/m_{近} : q_{遠}/m_{遠} = 1.58 : 1$ → 靜電距離越近，裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量就越多。
2. 鹽水滴的裂解似乎較多影響的因素，例如離子的電量、內聚力、...等，因此，較難找出影響期偏移的原因。
3. 影響酒精水滴偏移的原因： $F_{g近}/F_{g遠} = m_{近}/m_{遠} = 0.7258$ ； $F_{e近}/F_{e遠} = q_{近}/q_{遠} = 2.97$ → $q_{近}/m_{近} : q_{遠}/m_{遠} = 4.09 : 1$ → 靜電距離越近，裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量就越多。

(四) 小結：進行實驗五的分析時，原以為分析不同水滴本質後，由 q/m 的關係能找出某些端倪，但仍舊未能找出不同水滴荷質比間的關係有何意義？唯有「裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量越多的現象」，才是本研究中最珍貴的發現。然而，鹽水水滴內部所蘊含的神秘面紗，讓我們不禁懷疑，它到底是甚麼？為何有如此複雜的機制在小小的鹽水滴裡。

陸、討論：

一、從實驗一中，我們可以討論得到：

- (一) 塑膠尺確實可以摩擦起電，並讓水滴產生偏轉；起初雖然效果不錯，但起電後容易與周圍環境達到平衡而不具持久性。
- (二) 靜電棒所產生的靜電會因為電池能量消耗而慢慢減弱，若要建立穩定、耐用的實驗模組，最佳的配備是將靜電棒改裝，連接直流電源供應器，以達穩定耐用的效果。
- (三) 出水吸球及針筒皆須手動按壓，無法讓水滴以穩定速率滴出；而滴定管則是以自動流出的方式進行，故具備穩定出水之功效。
- (四) 「滴定管+針頭」的出水軌跡較其它模組的軌跡來得穩定、迴轉效果較佳，幾乎每次的實驗結果都能產生完整的迴圈。

二、從實驗二中，我們可以討論得到：

- (一) 不管靜電是否存在，滴定管上方刻度每漏完 1 毫升的水所需時間都非常相近，由此可知：水滴的確是被靜電所分解，而不受引力的大小而影響其單位時間的流量。
- (二) 離靜電棒越遠的滴定管其出水頻率較慢，滴出的水滴顆數較少；而離靜電棒越近的滴定管其出水頻率較快，滴出的水滴顆數較多；又因為每支滴定管內流出每毫升水的時間相近，故推斷靜電愈強，分裂的水滴愈多且愈小。
- (三) 靜電力的大小的確會影響水滴的分解與水滴的偏移量，當靜電棒與出水針頭距離越近時，水滴分離成小水滴的量越多，且軌跡偏移的量也越大。
- (四) 隨著出水位置與靜電棒距離的增加，水滴分解質量也有逐漸上升的趨勢，趨勢函數寫成 $y = 0.00005x^2 - 0.0003x + 0.0014 (R^2 = 0.9957)$ 。據此，我們可以從趨勢函數中找到水滴實驗值的極限質量，大約出現在距離為 3.5(cm)處，其量值為 0.00085(g)。

三、從實驗三中，我們可以討論得到：

- (一) 各種水滴的裂解位置：幾乎都在針尖處發生裂解。
- (二) 各種水滴的裂解質量：
 1. 純水： $y = 0.00005x^2 - 0.0003x + 0.0014 (R^2 = 0.9957)$ ，極限質量 0.00085(g)。
 2. 鹽水： $y = 0.00006x^2 - 0.00036x + 0.00168 (R^2 = 0.9957)$ ，極限質量 0.00102(g)。
 3. 酒精： $y = 0.0000395x^2 - 0.000237x + 0.001106 (R^2 = 0.9957)$ ，極限質量 0.0006715(g)。

四、從實驗四中，我們可以討論得到：

- (一) 以 Tracker 分析各種水滴軌跡的各種影像分析結果：當位置偏移量越大時，速度有一個脈衝值、加速度越大。
- (二) 相同的靜電距離，各種水滴的偏移量大小：**鹽水>純水>酒精**。

五、從實驗五中，我們可以討論得到：

1. 影響純水水滴偏移的原因： $F_{g近}/F_{g遠} = m_{近}/m_{遠} = 0.7258$ ； $F_{e近}/F_{e遠} = q_{近}/q_{遠} = 1.148$ → $q_{近}/m_{近} : q_{遠}/m_{遠} = 1.58 : 1$ → 靜電距離越近，裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量就越多。
2. 鹽水滴的裂解似乎較多影響的因素，例如離子的電量、內聚力、...等，因此，較難找出影響期偏移的原因。
3. 影響酒精水滴偏移的原因： $F_{g近}/F_{g遠} = m_{近}/m_{遠} = 0.7258$ ； $F_{e近}/F_{e遠} = q_{近}/q_{遠} = 2.97$ → $q_{近}/m_{近} : q_{遠}/m_{遠} = 4.09 : 1$ → 靜電距離越近，裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量就越多。

柒、結論：

本研究首度以靜電力分析水滴荷質比並進行完整的基礎科學實驗，並經由實驗發現，水滴在受到固定靜電力後，能裂解出的極限質量約為 0.00085(g)，約含有 2.83×10^{19} 個水分子，而平常我們使用滴定管所滴出的水滴約為 0.01(g)，可見靜電力對水滴的影響不容小覷；而在價值性方面，將各種水滴的裂解位置、極限質量、偏移軌道進行比對，仍能獲得某些程度的規律性；推廣性方面，仿效湯木生找出電子荷質比的精神與計算的方式；此外，還發現「裂解水滴的荷質比越大，水滴偏移越明顯，單位質量的水滴所帶的電量越多」的現象，此乃本研究中最重大的發現。總而言之，**水滴~來不來電？當然來電~只要它的荷質比夠大，它就能**

在靜電棒旁表現出令人瞠目結舌的大迴旋。

捌、參考資料及其他：

一、網路資料：

(一) 密立根油滴實驗

<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1607121009953>

<http://web.thu.edu.tw/supersbfa/www/theory/millikan.pdf>

<http://ind.ntou.edu.tw/~phylab/menu/zhou/16.html>

(二) NASA—NEEDLE

http://www.youtube.com/watch?v=IXO_ZHtt38

(三) Static Electricity and Water

<http://www.youtube.com/watch?v=VhWQ-r1LYXY>

二、書籍資料：

(一) 余戰橋(1988)。水滴帶電特性及荷電水霧除濕效率的研究。江西冶金學院學報。第九卷，第二期，P.76~P.79。

(二) 高中物理：運動力學、基礎電學、湯木生荷質比。

(三) 基礎化學(二)：有機化合物，氫鍵。

【評語】 040102

本作品探究之內容雖屬豐富，但主軸議題稍欠新意，對數據的奇異點或轉折現象應可再以較多數據驗證，以利對新穎物理現象之理解。