中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　物理科

030106

水舞-水滴在薄層液上的噴濺性

學校名稱：屏東縣立大同高級中學(附設國中)

作者：	指導老師：
國二 許喆媛 國二 呂汶諺 國二 侯宜伶	陳晏祥

關鍵詞：水花、薄層液、黏滯力

摘要

平時易見花瓣形式之水花，主要是水滴滴撞到淺薄液體時所產生，相較起厚水層的碰撞，須有較大高度才能產生水花，却也同時伴隨不必要的水柱噴濺。為單純研究水花的可能瓣數，利用淺水層相當容易產生水花，此時水花瓣數與大小有一定的數量範圍，我們分別以碰撞速率、水滴大小與薄層液黏滯性來探討影響的效應，同時發現到薄層液碰撞出的水花，與水滴在硬物上的噴濺形式有原理相似處，而透過後者的噴濺點分佈進行解釋。

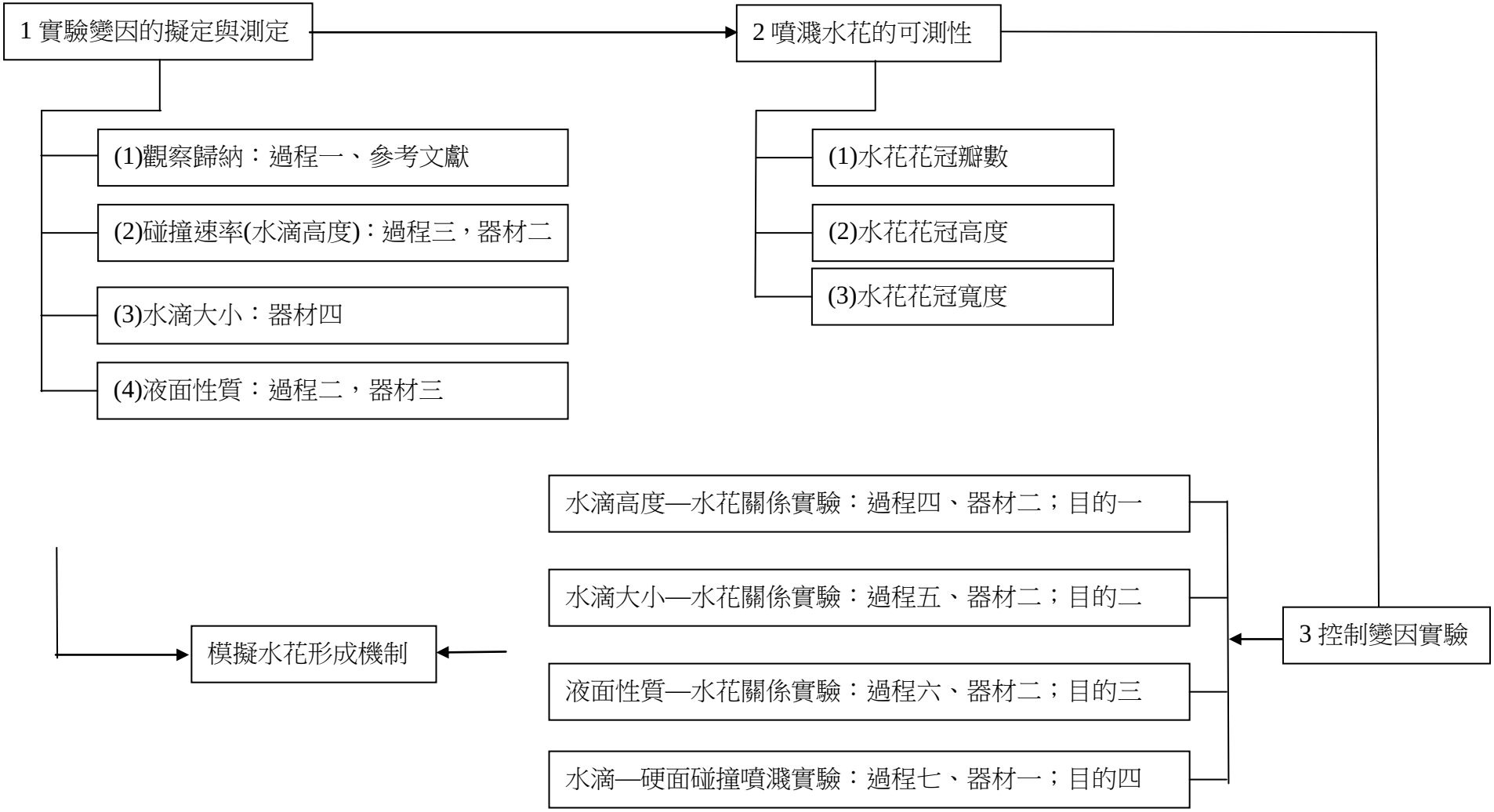
壹、研究動機

在國二理化有關波動的課程，說及為了產生水波，總須點一下水面，就像雨點滴向湖面，泛起陣陣漣漪。每當開啟水龍頭，也專注看著細小水流打在容器或手心中薄薄的一層水，看著看著，從漣漪慢慢仰首注視到水流，而水龍頭也愈開愈小，小到點點滴滴，然後便是比漣漪更深刻、更躍動與驚心的噴濺水花閃現。每一閃現的水花看來那麼類似，比漣漪多了鋸齒冠，縱看則像炸開的花朵。印象裡，花瓣數總可數，也有些規則，但不論如何，水花的鋸齒冠花瓣數總是不可能無限的增加吧！於是興起了探究的念頭來，想了解當中水花是否遵循著什麼開花模式？。

貳、研究目的

一、 探討水滴不同高度落下，在水面上所產生噴濺水花的形式。
二、 探討水滴不同大小落下，在水面上所產生噴濺水花的形式。
三、 探討水滴落下，在不同黏性與張力液面上所產生噴濺水花的形式。
四、 探討水滴在硬物表面上的噴濺痕跡。
五、 模擬噴濺水花的成因與機制。

[實驗概念流程圖]


1 實驗變因的擬定與測定
2 噴濺水花的可測性
(1)觀察歸納：過程一、參考文獻
(2)碰撞速率(水滴高度)：過程三，器材二
(3)水滴大小：器材四
(4)液面性質：過程二，器材三
(1)水花花冠瓣數
(2)水花花冠高度
(3)水花花冠寬度
水滴高度—水花關係實驗：過程四、器材二；目的一
水滴大小—水花關係實驗：過程五、器材二；目的二
液面性質—水花關係實驗：過程六、器材二；目的三
水滴—硬面碰撞噴濺實驗：過程七、器材一；目的四
3 控制變因實驗
模擬水花形成機制

參、研究設備及器材

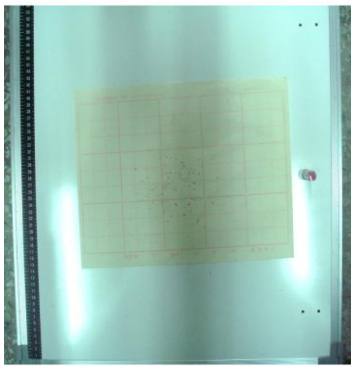
一、 水滴滴注裝置**[圖一]**

①金屬架 ②注射筒 ③水平定位雷射筆 ④白板 ⑤受撞擊鋁柱 ⑥毛邊紙

二、 水花噴濺拍攝設備**[圖二]**

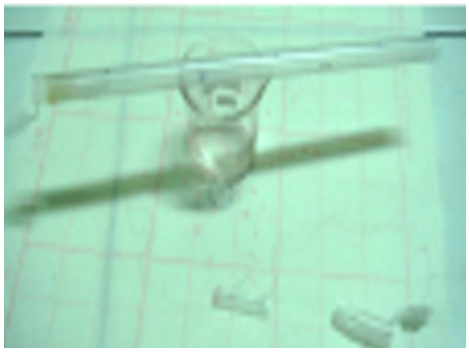
①立尺 ②Sony NEX-5α 照相機與腳架 ③平面 ④升降臺

[圖一]水滴滴注裝置



[圖二]拍攝設備

[圖三]黏滯係數測定儀



[圖四]滴注與薄層液用器材

三、 薄層液性質測量裝置

(一) 張力測量裝置

10.0mL 量筒、電子天平、直徑 0.25cm 滴管

(二) 黏滯力測量裝置**[圖三]**

測定儀結構：外管管徑 1.10cm，內部可運動長度 13.00cm；內管管徑 0.70cm，管長 3.00cm

四、 水滴滴注與薄層用液等器材**[圖四]**

(一) 水滴滴注

①液滴滴注筒：三種規格，形製 0.065、0.09、0.115mL 三種液滴大小。

②紅色墨汁：染色觀察用。

(二) 薄層用液

①文成膠水(12%聚乙烯醇)：配製不同膠水比例之薄層液，如下表：

膠水比例(%)	0(全清水)	25	33	50	66	75	100(全膠水)
膠水百分比(%)	0(全清水)	25	33	50	66	75	100(全膠水)

②玻璃培養皿：盛裝薄層液用。

肆、研究過程及方法

一、 參考文獻與研究方向

(一) 水滴碰撞液面時之圖案形式

一篇與我們研究主題相關而由新竹女中發表的論文**[註 1]**，我們歸納其結論如**[表一]**，同時藉由實驗初步觀察，規劃出研究的方向如**[表二]**。

[表一]參考文獻：彈"止"之間—水滴滴落及噴濺之型態探討[註 1]

		只有王冠	只有水柱	王冠與水柱均有
噴濺型式				
條件狀況	碰撞面水深	接近 0.0cm	0.5~2.0cm 以上 (2.0cm 以上與深度無關)	6cm (2.0cm 以上與深度無關)
	水滴高度差	28cm	7~22cm	22~125cm
文獻歸納	1 碰撞面為薄層液時，才易形成王冠形水花，王冠形水花的含有薄層液的組成。 2 當碰撞水層較深時，若水滴高度低則為水柱噴發形式，若水滴高度高則王冠與水柱先後產生，並且水柱噴發形式時的分離水滴，其組成全是滴落水滴的成分。 3 《彈止之間》科展論文探討柱型噴發的噴濺型態，以採用厚水層碰撞面為主。 4 碰撞液面水域的寬廣並不影響觀察結果。			

[表二]實驗研究方向

實驗觀察歸納	1 據我們實驗觀察，水柱形噴發與王冠形水花產生的條件，與《彈止之間》論文有相同的趨勢：碰撞水層深則有王冠，碰撞水層淺則僅有水花。 2 據我們實驗觀察，當水滴起始高度差設定為 90cm 時，水層最厚約在 0.3cm 時才能產生較易觀察之王冠形水花，且可看出水花尖端已明顯多是碰撞液的成分。 3 我們研究方向主要在 90cm 公分以上高度差、且僅有水花花冠形式之碰撞與觀察，故採用薄水層碰撞面。 4 據我們實驗觀察，碰撞液面面積在水花的底面積約 3 倍以上時，並不影響所觀察到的結果。

[註 1]參考資料 2

(二) 實驗用語說明

1. 薄層液：指液滴碰撞時，能同時撞擊盛液容器之硬面，而足以產生水花花冠之液層。
2. 水花花冠：類似花朵或王冠，自水面連接而出，有完整而連續之瓣形。單純撞擊硬面之水滴式噴濺，或波浪起伏式之環形漣漪均非此用語所指。
3. 水花花冠瓣數、高度、寬度：在水花花冠含義下，可就獨立而連續之花冠圖象，計算分叉之花瓣數，自水面伸展出的垂直高度，及連繫水面底部的環形冠底寬度。

二、 薄層液物理性質測定

(一) 薄層液表面張力測定

1.方法：滴體積法測表面張力，$T=\dfrac{\text{一滴液滴的平均重量}}{\text{滴管管口的圓周長}}$。**[註 2]**

[註 2]參考資料 4。

2.步驟：

(1) 以電子天平測定 10.0mL 量筒(最小刻度 0.1mL)空筒質量。

(2) 以直徑 0.25cm 滴管吸取薄層液液體，滴注 100 滴到量筒中，並稱取此含 100 滴之量筒質量。

(3) 計算一滴薄層液的重量，及滴管圓周長 0.25π 公分，代入公式計算液體表面張力：

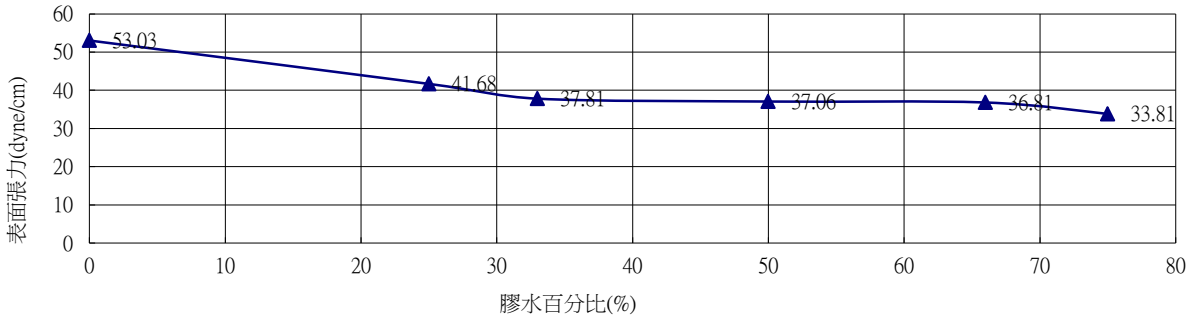
$T=\dfrac{\text{一滴液滴的平均重量}}{0.25\pi}\times 980$，單位(dyne/cm)。

3.結果：計算結果如**[表三]**，並依膠水所含比例作成**[圖五]**。由圖可得結論：膠水所含比例愈大，薄層液混合液的表面張力愈低。

[表三]薄層液表面張力測定

膠水百分比(%)	0(全清水)	25	33	50	66	75	100(全膠水)
1 滴滴液滴重量(gw)	0.0425	0.0334	0.0303	0.0297	0.0295	0.0271	—
表面張力(dyne/cm)	53.03	41.68	37.81	37.06	36.81	33.81	—[註 3]

[圖五]表面張力



[註 3]因用直徑 0.25cm 滴管吸取膠水後，在滴注時會呈現牽連細流，無法進行一滴一滴的滴注，所以未能計算表面張力。

(二) 薄層液黏滯係數測定

1.方法：參考**[圖三]**儀器結構，取得相關數據，代入計算公式：

$$液體黏滯係數\eta = \frac{-F\Delta r}{A\Delta v} = \frac{F(0.55)}{3(0.7\pi)(10/\Delta t)}$$ ，單位 gw/cm^2；**[註 4]**

(1) 外管管徑 1.10cm，內部可運動長度 13.00cm；內管管徑 0.70cm，管長 3.00cm。

(2) F 為運動面板之受力，在此我們採用黏土之重量，單位 gw。

(3) Δ r 為在兩相對運動面板間之液體夾層的厚度，在此我們採用下面計算數值：

$$內管與外管距離+內管半徑徑 = \frac{1.10-0.70}{2} + \frac{0.70}{2} = 0.55$$ ，單位 cm

(4) A 為運動面板的面積，在此即所用內管的表面積，計算數值為：

$內管管長\times內管周長 = 3(0.7\pi)$，單位 cm。

(5) Δ v 為運動面板的速率，在此我們測量內管水平移動 10cm 所花時間，採用平均速率計算如下： $平均速率 = \frac{10}{測量運動時間\Delta t}$ ，單位 cm/s。

[註 4]參考資料 5。

2.步驟：

(1) 利用測定儀的左側拉線將內管(管長 3.0cm)拉至最左端，然後蓋緊測定儀左蓋。

(2) 自測定儀(**[圖三]**)右端注滿待測液體，然後蓋緊測定儀右蓋。

(3) 捏取適量之黏土，黏附在測定儀的右側拉線作為拉力。

(4) 測定儀水平放置，開啟左蓋，測量內管移動 10cm 所需時間，取下黏土稱取重量。

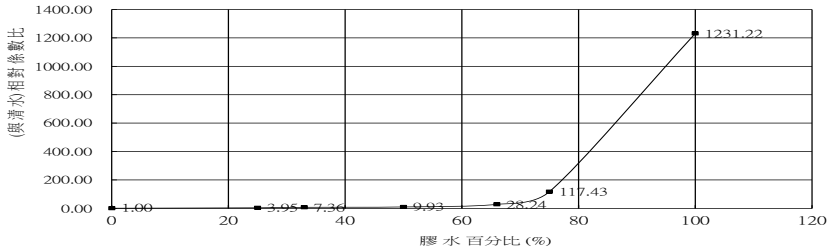
(5) 依方法中公式計算黏滯係數，並與水的黏滯係數相比來計算相對係數比**[註 5]**。

3.結果：計算結果如**[表四]**，並以相對係數比與膠水比例作成**[圖六]**。由圖可得結論：膠水所含比例愈大，薄層混合液的黏滯性愈高。

[表四]黏滯係數測定

膠水比例(%)	0(純水)	25	33	50	66	75	100(純膠水)
拉力 F(gw)	0.24	0.44	0.44	0.44	0.78	0.78	1.89
時間Δ t(s)	0.84	1.81	3.37	4.55	7.30	30.35	131.33
黏滯係數(gw-s /cm^2)	1.7×10^{-3}	0.0066	0.0124	0.017	0.047	0.197	2.07
(與清水)相對係數比	1	3.95	7.36	9.93	28.24	117.43	1231.22

[圖六]黏滯係數比



[註 5]因與理論值誤差太大，故取相對黏滯比(或阻力比)。

三、 水滴碰撞速率測定

(一) 方法：

實驗中受碰撞的薄層液置於離地面約 30cm 高處，為計算水滴碰撞薄層液時的速率，我們測量水滴滴落、跨越 30cm 高處時的位置與時間，代入下列公式計算平均速率：

$$\text{平均速率}v_{平} = \frac{\text{離地30cm處，前後二點的距離}}{\text{二點的時間間隔}}$$ ，以此平均落速作為碰撞速率。

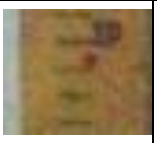
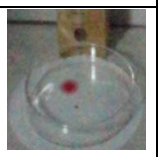
(二) 步驟：

1. 添加紅色墨汁將清水染成紅色以利觀察拍照。
2. 以 25mL 注射筒(產生 0.065mL 水滴大小)吸取 22.0℃清水，自 120~170cm 等六種高度滴下，以對應我們探討的六種碰撞高度差 90~140cm。
3. 照相機以 1/2000 以上快門，進行每秒 10 連拍的快拍方式，拍取所需照片的位置。
4. 代入公式：$\frac{\text{離地30cm處，前後二點的距離}}{0.1\text{秒}}$ ，計算平均速率。

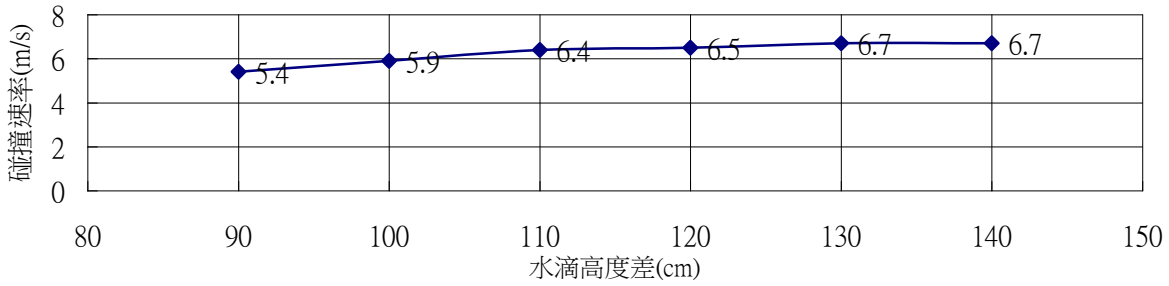
(三) 結果：拍攝結果如**[表五]**，並以碰撞速率與滴落高度關係作成**[圖七]**。從圖及**[表五]**可得下列二個結論：

1. 水滴的加速有趨緩的現象。
2. 從前後二張照片中，紅點的位置可發現：水滴落下運動過程中會有左偏的現象。

[表五]水滴碰撞速率

水滴距地高度	120cm		130cm		140cm	
相隔 1/10 秒的水滴位置	73.0cm	19.0 cm	59.0 cm	0cm[註 6]	67.0 cm	3.0cm
平均速率(m/s)	5.4		5.9		6.4	
水滴距地高度	150cm		160cm		170cm	
相隔 1/10 秒的水滴位置	74.0 cm	9.0 cm	76.0 cm	 9.0 cm	67.0 cm	 0cm[註 6]
平均速率(m/s)	6.5		6.7		6.7	

[圖七]水滴碰撞速率與水滴高度差關係



[註 6]照片中的紅點水滴經放大檢視，可辨識其恰碰及玻璃皿，故將其位置標示為 0cm。

四、 探討水滴速率與噴濺水花之關係

(一) 方法：

1. 操縱變因：利用不同高度差(90、100、110、120、130、140cm)來改變水滴速率
2. 控制變因：水滴重量(25mL 注射筒所產生之 0.065mL 水滴大小)、溫度 22.0℃

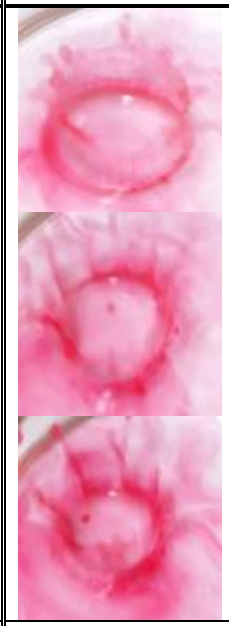
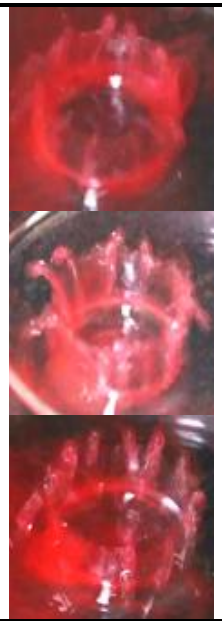
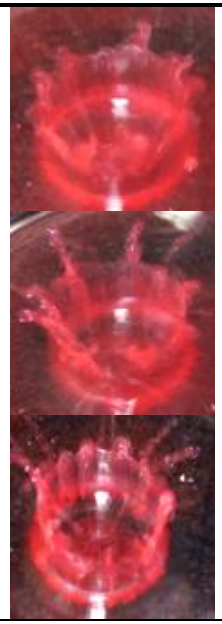
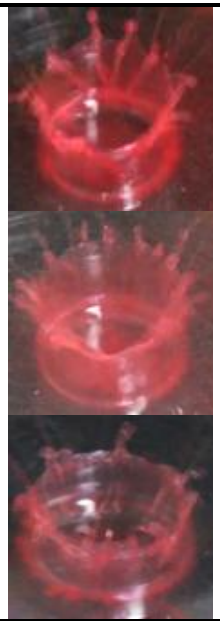
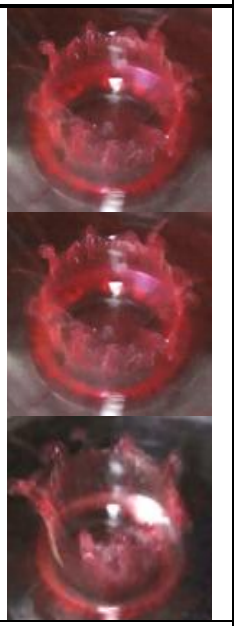
(二) 步驟：

1. 在玻璃培養皿中盛裝約 0.3cm 厚的清水，作為水滴碰撞的薄層液，並置於離地面約 30cm 高度處。同時在培養底墊一片濾紙，濾紙中心標一黑點以利拍攝對焦。
2. 將注射筒架於鐵桿上，調整注射筒高度，使注射筒滴嘴離培養皿中的薄層液 90.0cm。
3. 二種角度架設照相機：**[註 7]**
   (1) 相對於培養皿，照相機鏡頭以約 20~30 度斜角對準培養皿方式，並在培養皿後方輔以平面鏡，以便同時拍攝水花的鏡像。此拍攝用於計算水花瓣數與寬度用。
   (2) 相對於培養皿，照相機鏡頭與培養皿處於同一水平方式，以便拍攝水花高度。
4. 開啟照相機處於錄影模式，錄取每一滴注水滴在薄層液上的噴濺過程。
5. 將錄取影片載入電腦中，以每秒 30 格慢放，擷取所需畫面。
6. 將擷取的畫面載入繪圖軟體程式 Photoshop 中，進行下列分析：
   (1)水花花冠形式 (2)水花噴濺高度 (3)水花噴濺寬度
   並且在同一高度的數次滴注與拍攝中，選取最清晰的三張噴濺畫面來分析。
7. 重複步驟 1~6，分別完成 100~140cm 另外 5 種高度的滴注與錄影分析。

[註 7]分別以二次進行二種架設與拍攝，因此水花寬度與高度分析用的影像是分開拍攝分析的，並非同一影像。

(三) 結果：

[表六]水滴速率與噴濺水花之關係

水滴高度差 (速率)	90cm (5.4m/s)	100cm (5.9m/s)	110cm (6.4m/s)	120cm (6.5m/s)	130cm (6.7m/s)	140cm (6.7m/s)
水花花冠圖案 **[註 8]**						
花冠瓣數(瓣)	8+~10+[註 9]	10+	9+~10+	9+~12+	10+~12+	10+~12+
花冠寬度(cm)	2.20[註 11]	2.40	2.40	2.65	2.50	2.75
花冠高度(cm)	1.7[註 12]	1.8	1.8	1.9	2.1	2.2

[註 8]所選三張圖案影像是用於分析水花花瓣數與寬度。以下研究過程五、六均採此方式進行分析。

[註 9]瓣數會因反光或重疊而無法辨認，故採保守估算，+表示其數可能在該數字以上。所得為分析三張照片後的瓣數範圍。

[註 11]、**[註 12]**水花花冠寬度與高度均是三張影像分析後所得的平均值，以下研究過程五、六均為相同意思。

五、 探討水滴大小與噴濺水花之關係

(一) 方法：

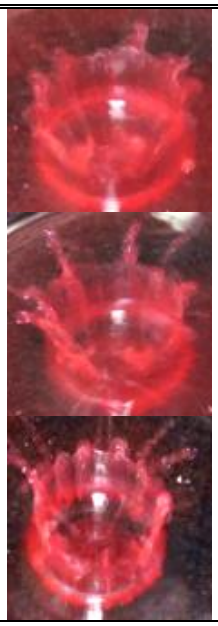
1. 操縱變因：三種口徑之滴管，分別得到 0.115、0.09、0.065mL 種大小之水滴。
2. 控制變因：水滴碰撞速率，將高度差設為 110m。

(二) 步驟：

同四之實驗步驟 1~6，唯高度差設為 110m，並選取最清晰的三張來分析。

(三) 結果：

[表七]水滴大小與噴濺水花之關係

水滴大小(mL)	0.065**[註 13]**	0.09	0.115
水花花冠圖案			
花冠瓣數(瓣)	9+~10+	10+~12+	10+~12+
花冠寬度(cm)	2.40	2.80	2.90
花冠高度(cm)	1.8	2.40	2.60

[註 13]此即研究過程四中的實驗影像與分析結果。

六、 探討薄層液黏滯性與噴濺水花之關係

(一) 方法：

1. 操縱變因：不同清水與膠水之七種混合比例液體，作為碰撞之薄水層，分別為：

液體比例 (清水：膠水)	全清水	3：1	2：1	1：1	1：2	1：3	全膠水
膠水百分比(%)	0	25%	33%	50%	66%	75%	100%

2. 控制變因：水滴落速(取 110m 高度差)，與水滴大小(25mL 注射筒所產生之 0.065mL 水滴大小)

(二) 步驟：同四之實驗步驟，唯薄層液性質不同，並選取最清晰的三張來分析。

(三) 結果：

[表八]薄層液黏滯性與噴濺水花之關係

薄層液種類 (膠水百分比)	0(全清水) **[註 13]**	25%	33%	50%	66%	75%	100% (全膠水)
水花花冠圖案							類似 1：3，但寬度較小
花冠瓣數(瓣)	9+~10+	10+~14+	12+~14+	10+~12+	0	0	0
花冠寬度(cm)	2.40	2.10	2.00	1.80	2.0	1.60	--
花冠高度(cm)	1.80	2.00	1.80	1.6	0	0	0

七、 水滴在金屬面上的噴濺性

(一) 方法：

1. 操縱變因：利用不同高度差(90、110、130cm)來改變水滴速率
2. 控制變因：水滴重量(25mL 注射筒所產生之 0.065mL 水滴大小)

(二) 步驟：

1. 金屬柱(規格：直徑 1.5cm×高 2.5cm)置於白板上，並調整高度使金屬柱面離地面約 30.0cm。
2. 將將注射筒架於鐵桿上，調整注射筒高度，使注射筒滴嘴離金屬柱面約 90.0cm。
3. 利用雷射光筆進行水平定位，使注射筒滴嘴滴下之水滴能準確滴定到金屬柱面上。
4. 進行滴注與漬濺。
5. 取下金屬柱，利用毛邊紙粗糙面覆印水滴噴濺到白板上的噴漬點痕。
6. 分析毛邊紙上點痕：以金屬柱所在處之中心為圓心，每增加 1.0cm 為半徑畫同心圓，計算每隔 1.0cm 之圓環內的點痕數量。**([圖八])**
7. 重複步驟 1~6，分別完成 110 及 130cm 另二種高度的滴注與點痕分析。

[圖八]噴濺點痕分析之同心圓

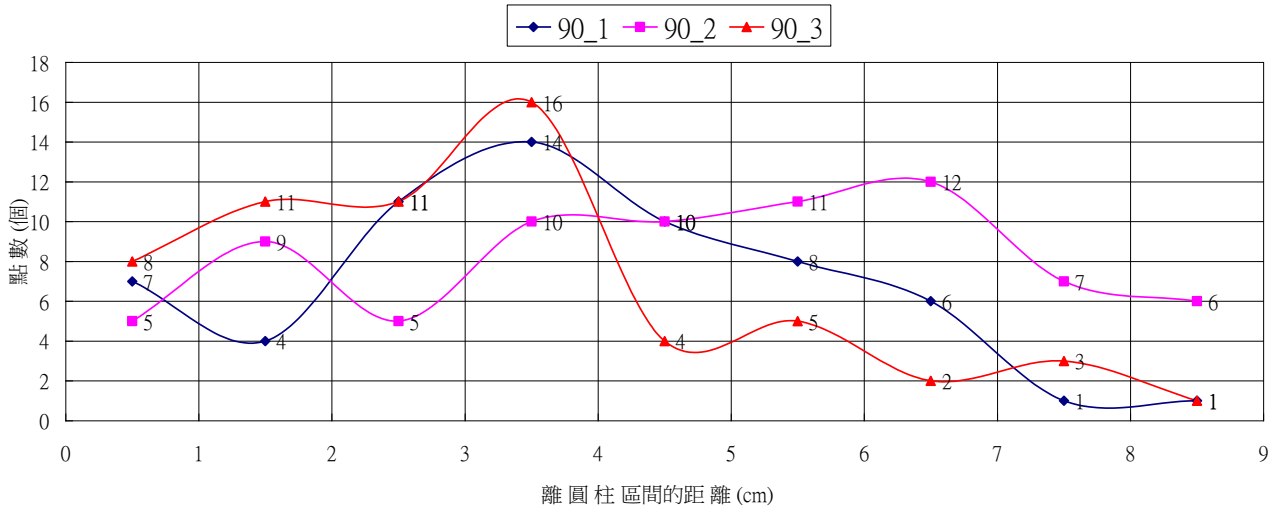
(三) 結果：分析各同心圓區間中的點數如**[表八]**，並分別以不同滴落高度差作成**[圖九]**、**[圖十]**、**[圖十一]**。從**[表九]**與圖中可得二個結論：

[表九]水滴在金屬面上的噴濺性

		離圓柱緣距離(cm)										
水滴高度差	滴注次別	0-1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	總數
90cm 的點數(個)	90_1	7	4	11	⑭	**10**	8	6	1	1		62
	90_2	5	9	5	10	⑩	11	**12**	7	6		75
	90_3	8	11	11	⑯	4	5	2	3	1		61
110cm 的點數(個)	110_1	6	6	6	6	7	⑫	13	6	7		69
	110_2	11	12	8	14	⑭	12	11	8	6		96
	110_3	12	19	7	⑪	7	10	9	5			80
130cm 的點數(個)	130_1	6	12	17	19	⑯	19	19	10	5	5	128
	130_2	9	14	19	⑮	19	11	8	2			97
	130_3	3	10	13	⑯	14	4	7	5			72
說明	1. 灰底表示自金屬柱邊緣算起，噴濺範圍中點所在的區間。 2. ◯代表點數數目中間值所在區間。 3. 方框□表示該次噴濺，最多點數所落的區間。											

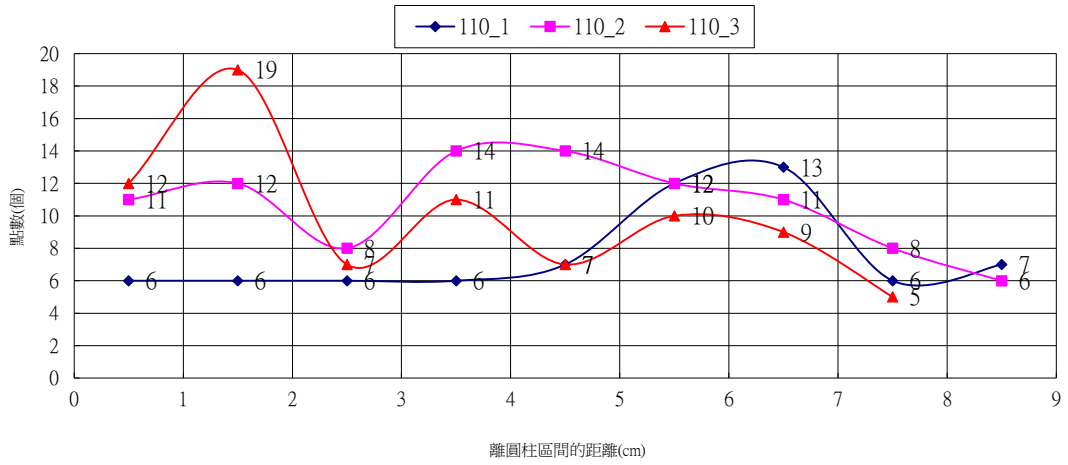
1. **[表九]**中，最多點數(表中□處)其前後區間點數的變化趨勢，多是距離愈遠的區間，其點數減少的較明顯或劇烈。
2. 最多點數與(表中◯處)比較，有二種情形：
   (1) 最多點數發生在點數中間值後的區間中，如 90_2、110_1、130_1、130_2。
   (2) 最多點數在點數中間值同或之前區間中，此時點數中間值前的區間點數均有偏高現象。點數中間值均發生在噴濺範圍中點(表中灰底處)附近。

[圖九]90cm 高度差的噴濺分佈[註 14]

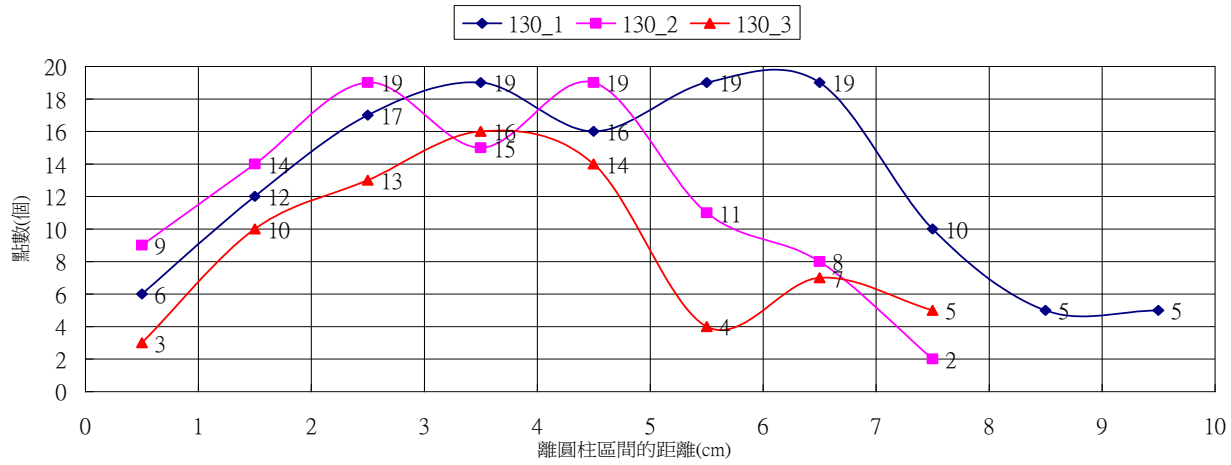


[註 14]作圖時，離圓柱邊緣的距離是採該區間中點數值來代表，**[圖十]**與**[十一]**同此處理方式。

[圖十]110cm 高度的噴濺分佈



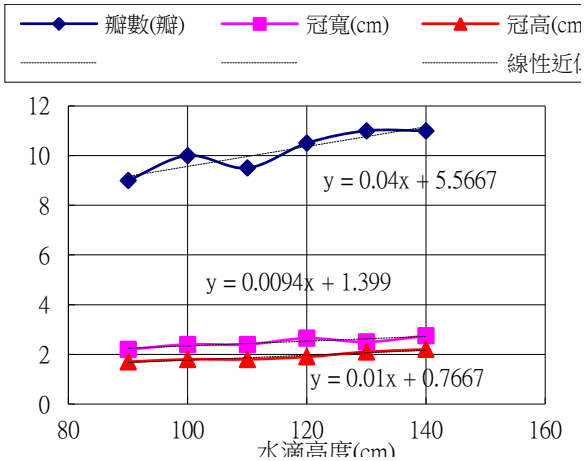
[圖十一]高度差 130cm 的噴濺分佈



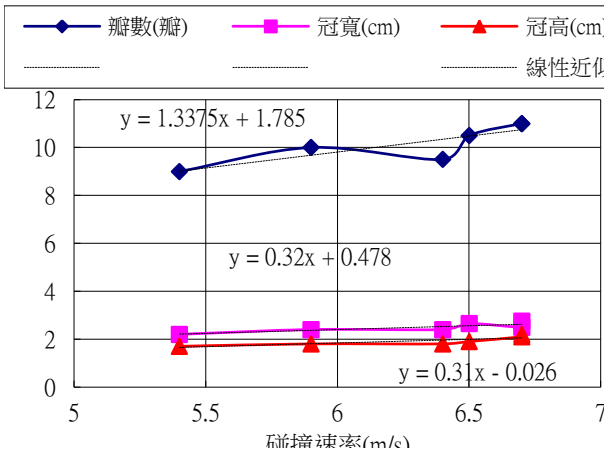
伍、研究結果

一、 水滴高度(碰撞速率)與噴濺水花之關係**[註 15]**

[圖十二]水滴滴落高度差與噴濺水花關係



[圖十三]水滴碰撞速率與噴濺水花關係



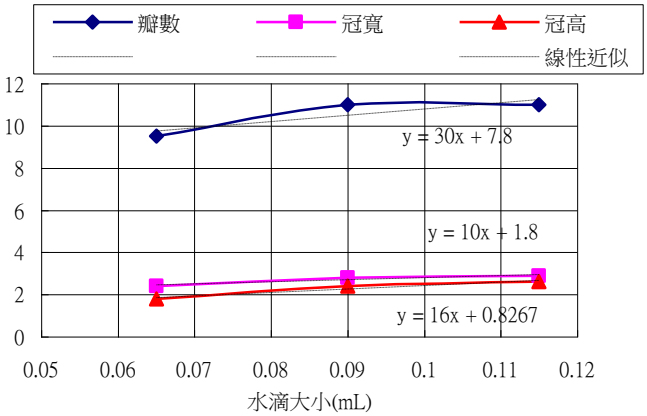
[註 15]作圖時，水花花冠瓣數是採最多與最少瓣數的中點來作代表數值，以下圖形均作如此處理方式來作圖。

結果：

1. 從圖形所顯示的線性近似方程式中，比較高度差與碰撞速率的一次項係數，可知速率變化比高度差的變化對水花三項性質的影響均較有關係。
2. 在研究過程三中，水滴碰撞速率變化隨水滴高度差變化有趨緩現象，可對應水花三項性質變化緩慢或穩定的現象。
3. 從線性近似方程式中的一次項係數可知，碰撞速率對水花的影響：瓣數>冠寬、冠高。

二、 水滴大小與噴濺水花之關係

[圖十四]水滴大小與噴濺水花之關係

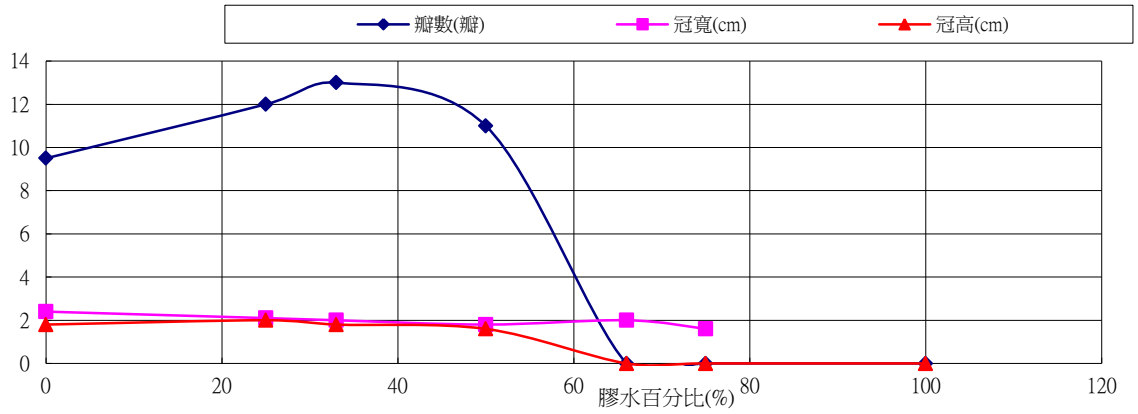


結果：從近似方程式中的一次項係數可知，水滴大小對水花的影響：瓣數>冠高>冠寬。

三、 薄層液黏滯性、表面張力與噴濺水花之關係

(一) 噴濺水花性質與薄層液膠水百分比關係圖，如**[圖十五]**

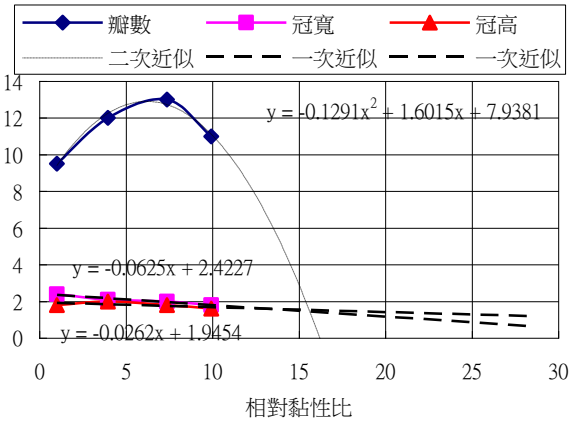
[圖十五]膠水比例與噴濺水化關係



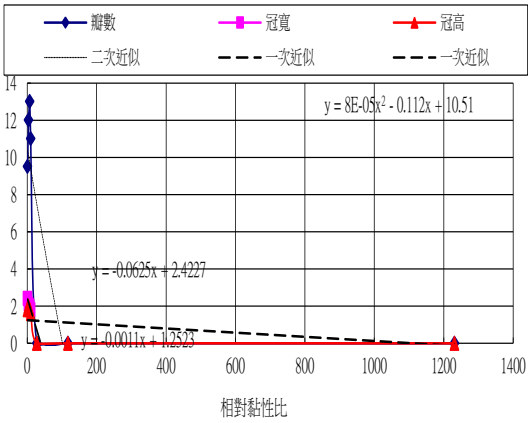
(二) 噴濺水花性質與薄層液黏滯性、表面張力關係圖

在(一) **[圖十五]** 中，當膠水百分比≧66%時完全沒有水花噴濺，故我們僅針對有水花之四種膠水百分比(0~50%)，作其水花性質與相對黏滯性、表面張力的關係圖，如**[圖十六]**、**[圖十七]**

[圖十六]黏滯性與噴濺水花關係



[圖十七]表面張力與噴濺水花關係



結果：

1. 在研究過程二中的實驗，可得薄層液的性質如下：
   (1) 薄層液表面張力隨膠水所含比例增加而變小，且 40%後(表面張力<40dyne/cm)緩慢變小(**[圖五]**)。
   (2) 薄層液表面黏滯性隨膠水所含比例增加而變大，且 60%後(相對黏性比>10)迅速變大(**[圖六]**)。
2. 針對未能產生水花時(冠高與瓣數均為 0)，所對應的薄層液混合比例≧66%，此時表面張力雖僅有些許不同，但水花却急速消失，此應與黏滯性的迅速提高有關。
3. 當膠水所含比例增加時，花瓣數與花冠高均會增加，且經過一高點後急速下降，此一高點的膠水比例約為 25%(清水：膠水=3：1 之混合)，但冠寬均呈遞減現象。
4. 觀察[表八]影像，當膠水所含比例增加時，所形成之水花有較穩定與一致性的花瓣外觀，但所挑起的瓣尖液滴會較小。

陸、討論

一、 在薄層液面上所產生噴濺水花的形式與薄層液表面張力並無明顯之關係，且當膠水比例愈高(1：2 以上)時，不僅無水花產生，在碰撞薄層液後，偶爾還會包含著氣泡。同時，若改以含有膠水之液滴滴撞薄層液，則更可觀察到躍動的小水泡。

二、 水滴高度與水花之關係似取決於水滴碰撞速率較合理，故在研究過程實驗五與六中均取 110cm 的高度差，因此時可將速率視為固定的控制變因。

[圖十八]水滴碰撞白板的圓形面積

三、 影響水花形式的因素應該很多，事實上當以重量為操縱變因時，其水滴碰撞時的碰撞面積也會有所不同，雖然在拍攝中所觀察到落下之水滴均為球形，但應該還是會有影響的，不過直覺認為重量影響會較大。這在通過以 0.065mL 水滴撞擊白板硬面所得結果，似乎也應證此推想，因六種高度差均會在白板硬面上產生相似直徑的圓形面積(**[圖十八]**直徑 2.10~2.35cm)，同時當高度差在小於 90cm 時，其直徑會發生縮小現象。

四、 在拍攝時，適當輔以面鏡，則可提供鏡像參考確認花瓣數。此部分若再多加嘗試，同時配合面鏡反射成像原理，應可取得更佳的放置方式。

五、 自製黏滯力測量裝置，所測得數值與手冊實驗值誤差太大**[註 16]**，推估是液體間不能滑動，所以較像在測平板衝破液體時之阻力。但此阻力明顯與膠水所含比例呈正相關，顯示膠水所含比例愈高就愈黏稠，阻力也會較大。

六、 研究過程三中，對滴落水滴進行相隔 1/10 秒的連拍，再取得水滴跨越離地面 30cm 高處，相隣二張快照位置的高度，事實上進行起來並不容易，因此對於每個滴落高度，我們處理方式是：在數次拍攝中，直到二次確認跨越 30cm 高度點時有相同的平均落速，便以此值作為碰撞速率。所以實驗中的數據是驗證值，而非測量後的平均值，所以在距地高度 160 與 170cm 會有相同落速的現象，此部分的準確值應可再提升。

七、 研究過程三中的水滴平均落速，與研究過程四、五、六、七的水滴碰撞噴濺是在實驗室中的兩地分別進行，主要是為了環境設備與配合測量方便性。因前者需有牆壁立尺及縱向空間，後者需較大的平面空間，但均位於同一室內，且緊閉門窗以減少氣流影響。若兩者實驗能在同處進行，在變因的相關連繫上會更直接。

八、 在冠高與冠寬的處理上，亦因為設備關係只能分開進行測量，若能進行同一水花的冠高與冠底測量，則會如此更可直接發現與建立水花之冠高與冠寬的關係。

九、 研究過程七實驗的噴濺點痕異於事前的推想，原以為會是在平面上均勻分佈的點跡，其結果不但不均勻，甚且還有不均向性的偏側現象，反覆數次仍是頻出不窮。後來對照水滴落速測定實驗(研究過程三)中，水滴落下二點的軌跡圖(**[表五]**)，便明白在其落下過程，水滴有可能受氣流影響而偏斜，故儘管用雷射筆定位，仍有偏離現象；然而若水滴能大部分打在金屬柱上而不發生噴漬狀況，則取為分析用，仍有不錯的一致性。

十、 水滴速率愈大、愈重(愈大)，水花花瓣數、寬度與高度均會變大；其中對瓣數的影響會較大，從對照研究過程七中的**[圖九]~[圖十一]**中來看，此應與大動能液滴數增加有關。

[註 16]參考資料 5。

柒、結論

一、 適當的黏滯性可形成較穩定的花形及花瓣數，有助於提高瓣數與冠高，但有臨界值，同時冠寬會變小。清水則易碎裂成大顆粒的水滴噴濺；膠水太多太黏，則不起水花，衝擊力易被緩沖而消磨。

二、 觀察所拍得之水花，有下特色：

1. 主要為薄層液液體構成，摻以部分滴落的水滴 (見[表五]~[表六]的水花圖案，花冠底部均有一紅墨圈，主要來自滴落的染色水滴，然後花瓣的部分會漸形變淡)。但當膠水比例

提高時，水滴在濺起的水花中的含量會提高(見[表七]的水花圖案)。

2. 瓣數無法持續增加，不論基於何項因素，最後均會趨緩。實驗中所得最多者為 14+瓣。

3. 冠寬>冠高。

三、 對照研究過程七實驗顯示，水滴若碰撞硬面而噴濺時，其中噴濺的液滴是以速率(或動能)作常態分佈，而不是愈近者愈多，同時速率愈大者的水滴會急速減少。此似乎可對應到水花的花形是：半徑由下緩緩變大開花而出，然後過花的中間後急速縮小半徑，以因應大動能液滴數量之不足，最後在半徑縮小速度跟不上液滴減少的速度下，遂分裂成花瓣。

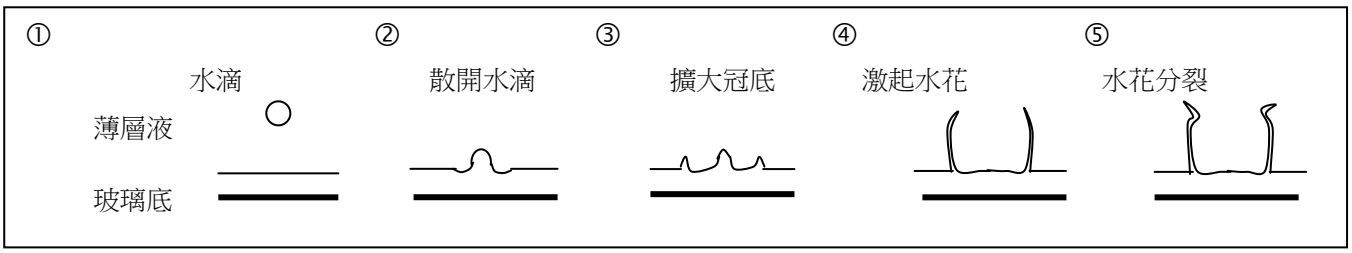
四、 模擬水花形成的機制：水滴位能轉換成動能，受硬面撞擊轉為側向運動，再受薄層液牽引轉為帶有向上的側向運動，動能在激起的水花中進行常態分佈，最後再形成適當高度與花瓣形狀的位能。因此花瓣數可能是動能分佈所作位能的表現。其過程如下：

①滴落水滴撞擊薄層液，②觸及玻璃硬面，玻璃硬面散開水滴，

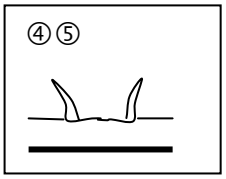
③散開的水滴沖開薄層液擴大冠底，

④散開的水滴牽引薄層液共同激起向內弧形水花(半徑由小→大，然後內縮)，

⑤大動能水滴數不足，無法維繫水花弧面，在水花邊緣分裂向外拉出花瓣。



五、 當膠水比例提高時，由於冠寬受限於薄層液的黏滯性阻力，無法增大(反略變小)，且散開水滴無法牽引足夠的薄層液，此時的④⑤是激起向外弧形水花(像撞擊硬面上的噴濺)，再分裂成花瓣。



六、 研究過程七中，水滴碰撞金屬柱的實驗經歷與啟發：

1. 欲使水滴精準定位碰撞金屬柱，在所處環境中是運氣問題而非定位問題。

2. 在一些額外但非有系統進行的實驗嘗試和觀察中，

(1) 針對 0.065mL 水滴，若選取較大直徑金屬柱，則幾乎沒有噴濺點跡。對照討論三中所測得的直徑，可知：金屬柱直徑須略小於水滴碰撞硬面時的圓形面積，才能產生噴濺點跡。

(2) 用膠帶圈繞金屬柱上端而突出約 0.1cm 時，能將原先會噴濺出的點滴給擋下，則幾乎沒有噴濺點跡。

由上可推論金屬柱所造成的噴濺點痕：主要是水滴在碰撞過程中，受撞擊面的縱向作用力將水滴打散，然後轉成分散水滴的側向衝力噴向水平面，而非轉成分散水滴的反彈作用力，將分散的水滴彈起後拋散。

七、 原先主要目的是想探索水花花瓣的瓣數是否有固定的數目，若不固定，便想追究其瓣數的極限與奇偶數。在我們的實驗中，可只可得到下結論：

1. 可確認瓣數是不固定的。

2. 不固定的瓣數，其瓣數範圍是 9+~14+。

3. 因受限於影像的清晰度，瓣數的奇偶數不敢遽下定論。

八、 研究過程三的實驗結果知，水滴落速的加速狀況有趨緩的現象，最後應會達到終端速率**[註 17]**。顯示自然界中自天而降的水滴，其能改變水花性質的因素只有水滴大小，當地面又有淺薄水層時，其所濺起水花盡是相似的；而若是如水窪此種有較深水層的狀況，便是水柱、水珠或近似包覆的水花**[註 18]**。

[註 17]參考資料 4。

[註 18]參考資料 2。

捌、參考資料及其他

1.國中自然課本康軒版第三、五冊　　康軒文教 **102** 學年版

2.彈**"**止**"**之間—水滴滴落及噴濺之型態探討　　周怡瑄**/**劉雅杰**/**林妍孜**/**指導老師：陳沛慈　新竹女中 **100** 學年度物理科展作品

(新竹女中專題研究網網址：**http://project.hgsh.hc.edu.tw/Default.aspx)**

3.水面上舞動的精靈　　沐右-千虑斋　**2010-05-29/06-03** 網路科普文章

網址：**http://blog.sina.com.cn/s/blog_62e9e1920100nhxs.html**

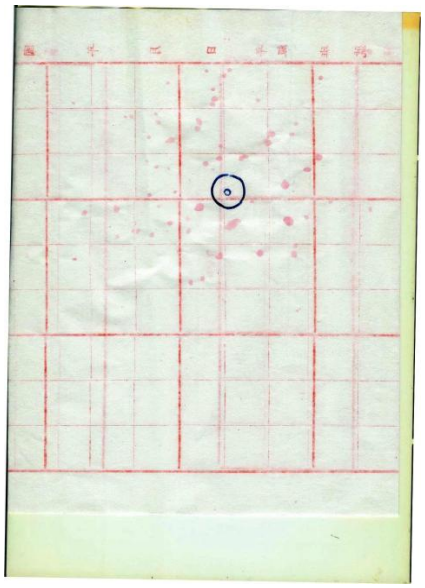
4.雨滴直徑最大值的探討　　李聿涵/張雅倩/黃柏崴/謝東景/指導老師：蔡怡德、郭春華　台北縣立蘆洲國中　**49** 屆中小學科展物理科作品說明書

5.最新物理手冊　盧嘉瑞譯　　徐氏基金會

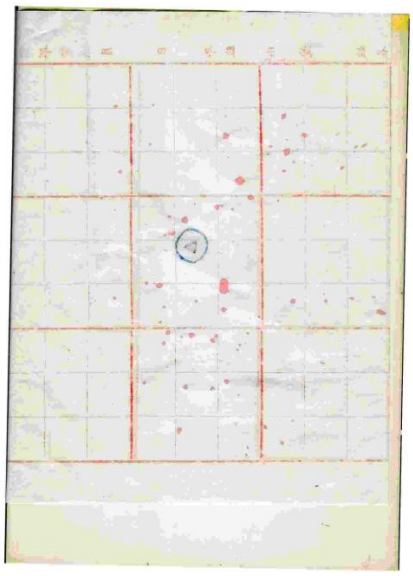
玖、附件

一、 研究過程七中，水滴高度差 90cm 的金屬柱噴濺圖點痕

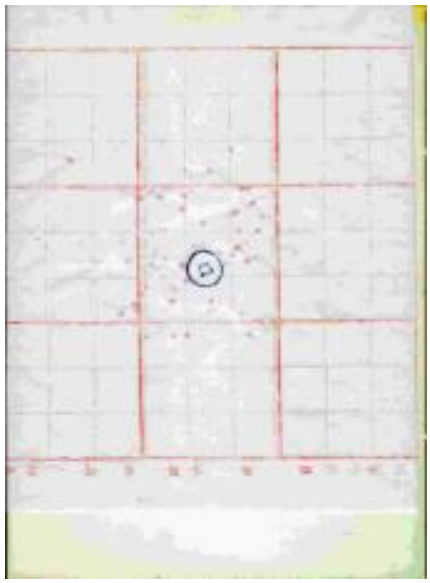
編號 90_01



編號 90-02

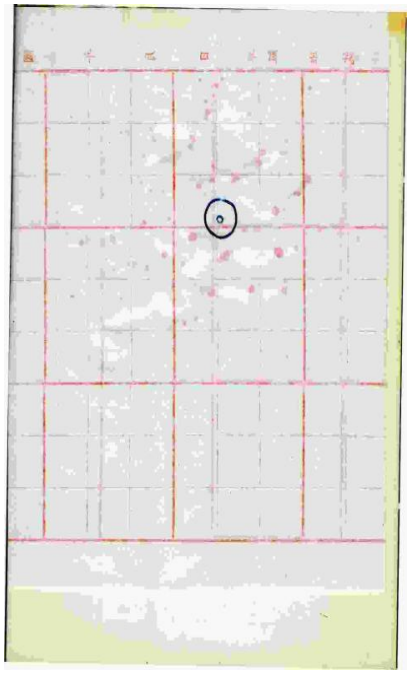


編號 90-03

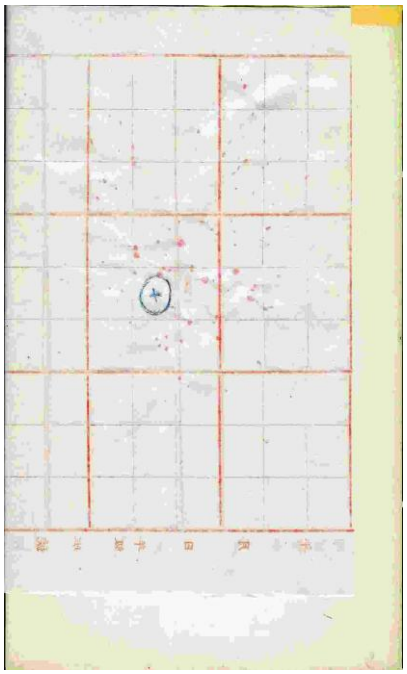


二、 研究過程七中，水滴高度差 110cm 的金屬柱噴濺圖點痕

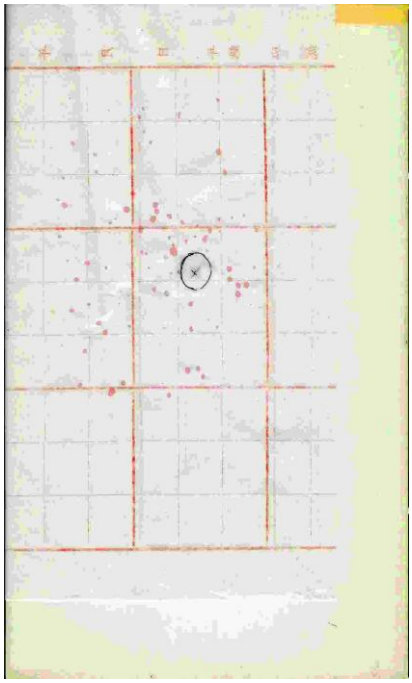
編號 110_01



編號 110_0

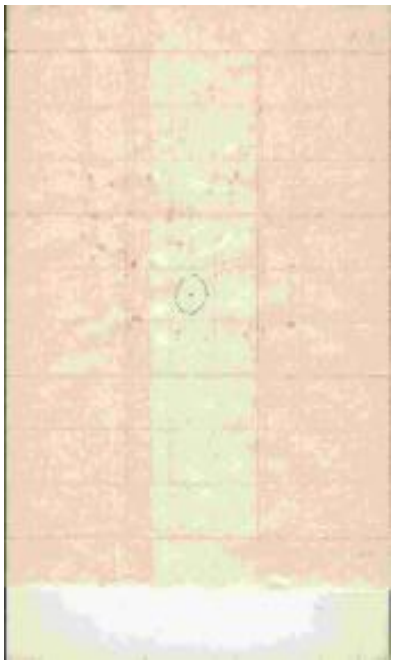


編號 110_032



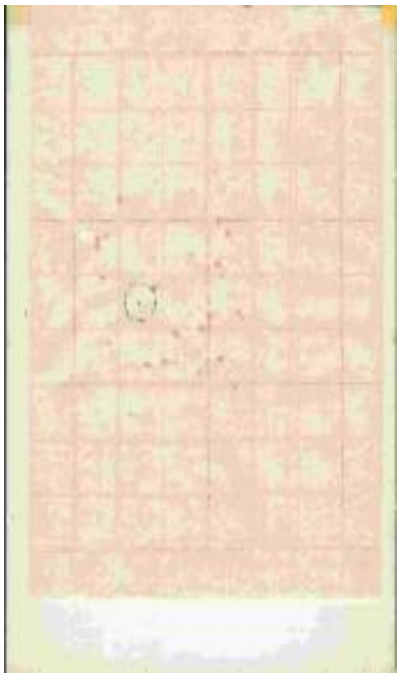
三、 研究過程七中，水滴高度差 130cm 的金屬柱噴濺圖點痕

編號 1300_01



編號 1300_02

編號 1300_03



【評語】030106

針對皇冠型水花做各項改變變因的研究。題目非常有趣，所攝圖形也很可觀。對於變因的選擇要考慮該因素的重要性。

後續研究可以討論水滴和薄層液體的交互作用。

詳盡的觀察紀錄，可將觀察到的複雜現象歸納成簡單規則，增加其豐富性。