

# 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

佳作

030113

兩滴直徑最大值的探討

學校名稱：臺北縣立蘆洲國民中學

作者：  國二 李聿涵  國二 張雅倩  國二 黃柏崴  國二 謝東景	指導老師：  蔡怡德  郭春華
---	-----------------------------

關鍵詞：終端速度、水滴分裂、表面張力

## 摘要

在國中翰林版自然第五冊第二章的內容中，有介紹力的平衡觀念，而落下的雨滴是最好的例子，對於雨滴的各種現象充滿好奇，因此設計一連串的實驗，首先是不同直徑液滴的分裂探討，我們發現液滴越大其終端速度也越快，也會比較容易分裂。之後，我們進行不同液體表面張力的實驗，得知表面張力越小時液滴越容易分裂。

我們用滴管可以製造出直徑較大的水滴，但是自然界的雨滴卻無法達到這種大小，此極限值與雨滴的終端速度有關，當雨滴分裂的臨界速度小於終端速度時，雨滴就會分裂，當雨滴分裂的臨界速度接近終端速度時，雨滴正處於是否分裂的臨界點，因此我們認為此時雨滴的直徑，就是自然界雨滴的最大值，根據我們實驗的結果：其最大值約在 6.1mm 到 6.9mm 之間。

## 壹、研究動機

對於毛毛細雨或者是滂沱大雨，它的直徑到底有多大？我們非常的好奇，並且開始收集相關的資料，而得到終端速度的觀念及雨滴分裂的資訊，因此進行液滴終端速度的測量，及液滴分裂的觀測，由所得到的數據，使我們更進一步的思考，自然界的雨滴直徑是否有它的極大值，因此設計一連串的實驗而展開這次的研究。

## 貳、研究目的

- 一、自然界雨滴及各種不同液滴體積及終端速度的測量。
- 二、改變不同水滴的直徑，以觀測水滴直徑的大小與水滴分裂之關係。
- 三、改變不同溶液，以觀測液滴表面張力的大小與水滴分裂之關係。
- 四、改變空氣溼度，以觀測空氣溼度與水滴分裂之關係。
- 五、利用照相機，拍攝水滴落下時的形狀變化及分裂過程，以便分析研究。

## 參、研究設備與器材

風洞、鼓風機，不同直徑之滴管、電子天秤、滴管架、太白粉、酒精燈、燒杯、量筒、陶瓷纖維網、風速計、溫度計、氣壓計、溼度計、Nikon D70 單眼數位相機、100mm 微距鏡頭、閃光燈。



圖一：風洞及鼓風機



圖二：各種直徑之滴管



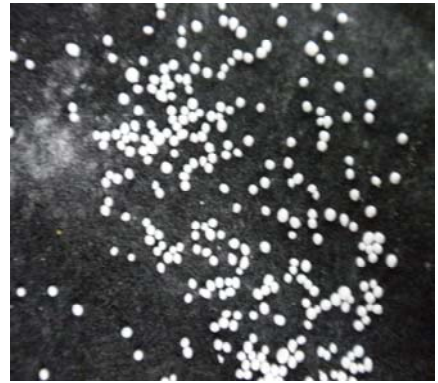
圖三：溫度、氣壓、溼度、風速測量計



圖四：滴管架



圖五：相機、鏡頭與閃光燈



圖六：雨滴形成的太白粉球

## 肆、研究過程方法與結果

### 研究一、自然界雨滴及各種不同體積及終端速度的測量

#### (一) 說明：

1. 由自由落體公式可以得知，在重力作用下，水滴落下的速度應該會越來越快，但是我們發現從高空落下的雨滴，並沒有如預期的快，我們認為雨滴由高空落下時會達到一個極限的速度，在與老師討論後得知，此速度就是終端速度，因此我們設計實驗來測量落下液滴的終端速度。
2. 簡易型的風洞：我們設計一組簡易型的風洞如圖一，利用鼓風扇的風速，再配上以鐵絲網及吸管所製作成的整流段，在實驗中可以提供穩定的氣流。
3. 液滴終端速度的測量：測量時使洞口正對著落下的液滴，調整風速使落下的液滴處於平衡狀態，此時的風速即是液滴的終端速度。
4. 雨滴直徑的測量：利用水滴和太白粉可凝結成球狀的特性，將已知不同直徑的水滴分別滴入太白粉中，可以算出每一顆太白粉球的平均重量，利用這些數據，我們可以做出一滴水滴體積和它的太白粉球重量的關係曲線如圖八，在實驗時讓雨滴落入太白粉中，再利用此曲線即可推算出雨滴的直徑。
5. 液滴表面張力的測量：利用滴管滴下 100 滴液滴在量筒內，可以測出其重量，利用所得到的數據，算出一滴液滴的平均重量，而表面張力的算法如下：

$$\text{表面張力} = \frac{\text{一滴液滴的平均重量}}{\text{滴管管口的圓周長}} \quad (1.1 \text{ 式})$$

#### (二) 實驗步驟：

1. 使用口徑為 0.8mm 的玻璃管將 20°C 的純水連續滴出 100 滴液滴到量筒中。
2. 算出一滴液滴的平均體積與直徑。
3. 分別使用口徑為 1mm、2mm、4mm、6mm、10mm 之玻璃管重複步驟 1 到步驟 3。
4. 分別將液滴改為水溫 5°C、45°C、85°C，酒精體積百分濃度 95%、55%、15%，肥皂水重量百分濃度 1% 重複步驟 1 到步驟 4。
5. 架設不同口徑的玻璃管及滴管裝置如圖七。
6. 利用簡易風洞測量出液滴的終端速度。
7. 將上述實驗結果紀錄如表一。
8. 以口徑為 4mm 之玻璃管，分別使用液滴為水溫 5°C、20°C、45°C、85°C，酒精體積百分濃度 95%、55%、15%，肥皂水重量百分濃度 1%，重複步驟 1 到步驟 2，測量出一滴液滴

的平均重量。

9. 利用 1.1 式計算出各溶液表面張力的大小結果紀錄如表二及表三。
10. 利用口徑為 0.8mm 的滴管分別將 100 滴的水滴，滴入太白粉中，製做出 100 顆太白粉球，利用電子秤秤出這 100 顆太白粉球的總重量，算出 1 顆太白粉球的平均重量。
11. 承 10 將滴管口徑分別改為 1.0mm、2.0mm、4.0mm、6.0mm、10.0mm，其太白粉球的平均重量結果如表四，並利用表四的數據，可以做出一滴水滴的體積和它的太白粉球的重量和的關係曲線如圖八。
12. 將太白粉放入淺盆內並使表面平整，利用此淺盆，收集自然界中的雨滴如圖六，並與圖八的關係曲線做對照比較，可得到雨滴的直徑分佈圖結果如圖九。



圖七：風洞及滴管裝置

(三) 實驗結果：

表一：不同直徑滴管所滴出的液滴體積、直徑與終端速度

各種溶液		滴管直徑					
		0.8mm	1.0mm	2.0mm	4.0mm	6.0mm	10.0mm
純水 20°C	體積(ml)	0.021	0.027	0.053	0.090	0.116	0.171
	直徑(mm)	3.4	3.7	4.7	5.6	6.1	6.9
	終端速度(m/s)	7.8	8.0	8.5	8.8	9.2	△
純水 5°C	體積(ml)	0.024	0.030	0.055	0.105	0.128	0.193
	直徑(mm)	3.6	3.9	4.7	5.9	6.3	7.2
	終端速度(m/s)	8.4	8.6	8.8	9.2	9.5	△
純水 45°C	體積(ml)	0.022	0.027	0.053	0.100	0.120	0.188
	直徑(mm)	3.5	3.7	4.7	5.8	6.1	7.1
	終端速度(m/s)	8.3	8.5	8.8	9.1	9.3	△
純水 85°C	體積(ml)	0.019	0.025	0.049	0.100	0.118	0.180
	直徑(mm)	3.3	3.6	4.5	5.8	6.1	7.1
	終端速度(m/s)	8.1	8.5	8.7	9.1	9.1	△
酒精 15%	體積(ml)	0.016	0.017	0.034	0.068	0.076	X
	直徑(mm)	3.1	3.2	4.0	5.1	5.3	X
	終端速度(m/s)	7.8	7.8	8.5	8.7	8.9	X
酒精 55%	體積(ml)	0.013	0.014	0.024	0.051	0.065	X
	直徑(mm)	2.9	3.0	3.6	4.6	5.0	X
	終端速度(m/s)	7.4	7.5	7.6	7.6	△	X
酒精 95%	體積(ml)	0.012	0.012	0.023	0.048	0.062	X
	直徑(mm)	2.8	2.8	3.5	4.5	4.9	X
	終端速度(m/s)	6.6	6.7	7.0	△	△	X
肥皂水 1%	體積(ml)	0.012	0.013	0.022	0.043	0.060	X
	直徑(mm)	2.8	2.9	3.5	4.4	4.9	X
	終端速度(m/s)	6.7	6.9	7.2	△	△	X

註：1. X表此溶液無法利用直徑 10mm 之滴管製作液滴。

2. △表未達終端速度的液滴即有分裂情形發生。

表二：不同溫度純水的表面張力

液滴資料	純水 5°C	純水 20°C	純水 45°C	純水 85°C
液滴重量(gw)	0.055	0.053	0.052	0.047
表面張力(dyn/cm)	85.04	82.70	81.14	73.34

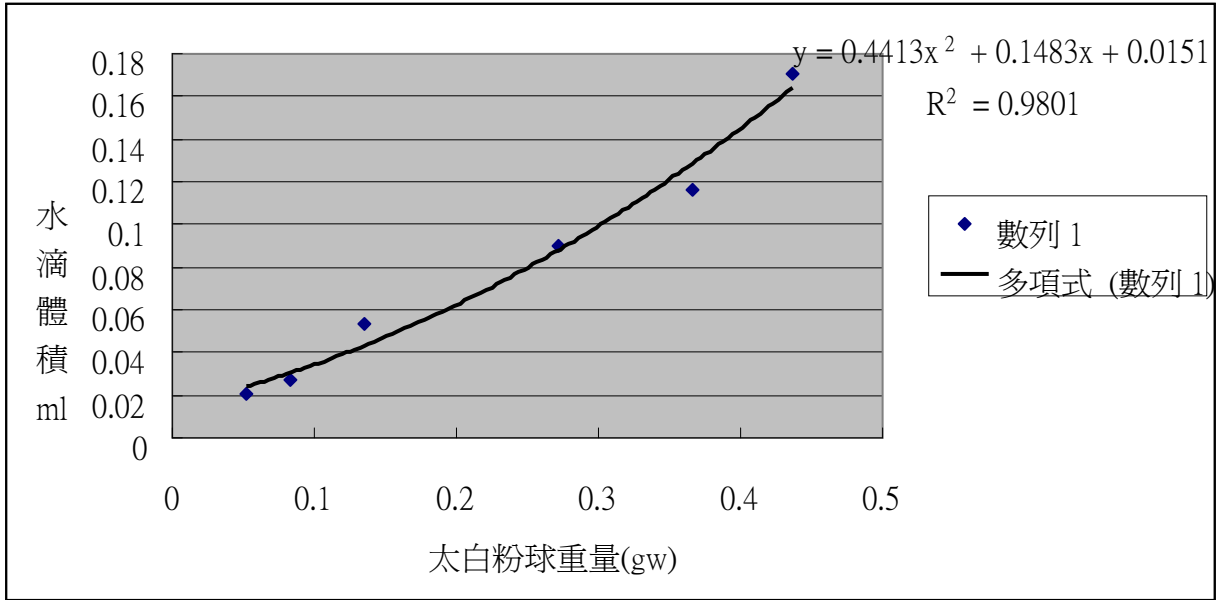
表三：不同溶液的表面張力

液滴資料	酒精 15%	酒精 55%	酒精 95%	肥皂水 1%
液滴重量(gw)	0.066	0.045	0.037	0.043
表面張力(dyn/cm)	51.10	35.11	28.87	33.16

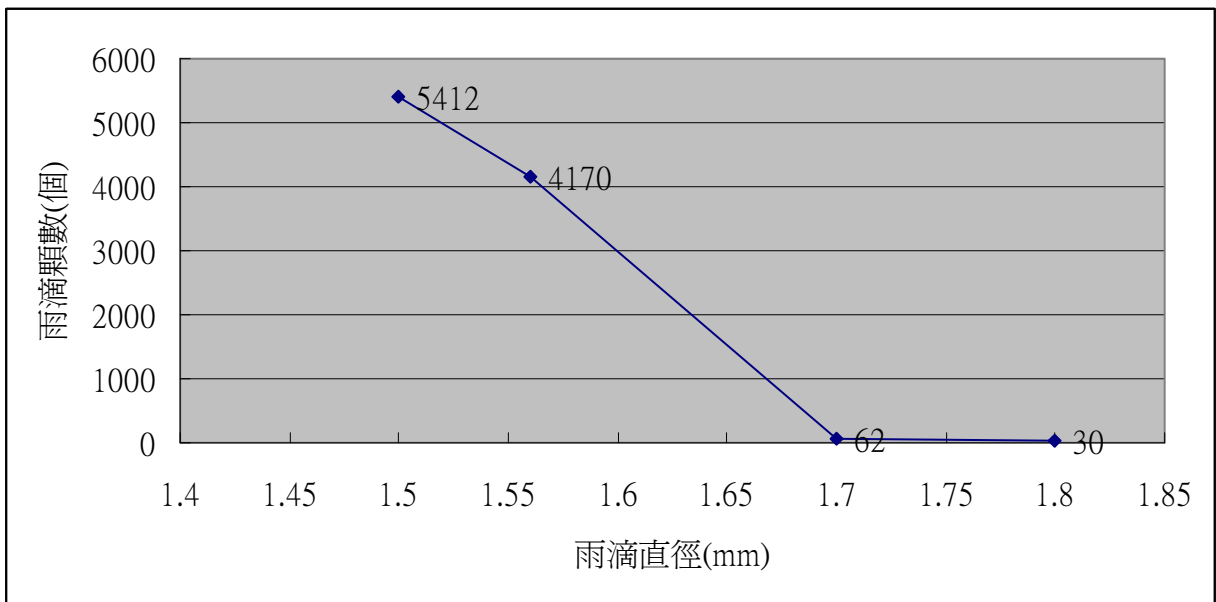
註：管徑周長皆為 1.256cm

表四：不同直徑下水滴的體積和太白粉球重量之關係表

滴管口徑(mm)	0.8	1.0	2.0	4.0	6.0	10.0
平均水滴體積(ml)	0.021	0.027	0.053	0.090	0.116	0.171
平均太白粉球重量(gw)	0.052	0.083	0.135	0.272	0.366	0.436



圖八：不同直徑水滴的體積和太白粉球重量之關係圖



圖九：自然界雨滴直徑分佈圖

註一：收集自然界中共 9674 顆雨滴

研究二、改變不同水滴的直徑，以觀測水滴直徑的大小與水滴分裂之關係。

(一) 說明：

1. 由〈出門看天氣〉這一本書，我們知道雨滴在對流時會有分裂的現象，而我們在測量不同

液滴的終端速度時，也發現較大的水滴在落下時的確有分裂情形，所以我們推測水滴的分裂和其直徑大小有關。

- 100 滴的疑惑：由實驗時觀測得知，水滴的分裂是由很多變因交互影響的結果，爲了增加實驗數據的可靠性，因此我們每一次實驗都會重複 100 次。

(二) 實驗步驟：

1. 記錄當天的氣壓、溫度及溼度，並使水溫維持在 20℃。
2. 實驗裝置如圖七，調整滴管口與風洞的距離爲 30cm，並將風速調整爲 9.0m/s，讓直徑爲 3.4mm 的水滴落下，觀察水滴分裂的情形，並加以記錄。
3. 承 2 重複測量 100 次。
4. 承 2 往上微調 0.5m/s 風速的大小，並各重複測量 100 次，直到超過 90% 水滴會分裂爲止。
5. 承 2 往下微調 0.5m/s 風速的大小，並各重複測量 100 次，直到超過 90% 水滴不會分裂爲止。
6. 將水滴的直徑分別改爲 3.7mm、4.7mm、5.6mm、6.1mm、6.9mm，重複步驟 2 到步驟 5
7. 將上述實驗所得結果紀錄如表五及圖十。

(三) 實驗結果：

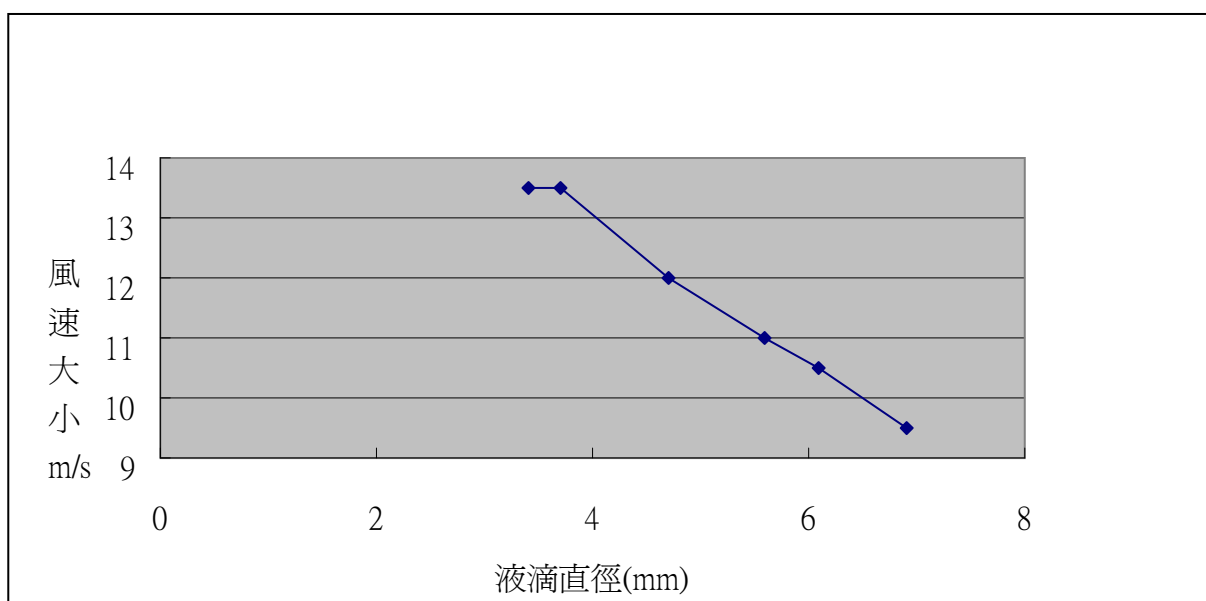
表五：不同直徑的水滴在不同風速下其分裂百分比

水滴直徑 風速	3.4mm	3.7mm	4.7mm	5.6mm	6.1mm	6.9mm
9.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%	7%
9.5m/s	0%	0%	0%	12%	64%	100%
10.0m/s	0%	0%	0%	45%	75%	X
10.5m/s	0%	0%	0%	67%	99%	X
11.0m/s	0%	0%	0%	100%	X	X
11.5m/s	0%	0%	56%	X	X	X
12.0m/s	0%	0%	98%	X	X	X
12.5m/s	0%	0%	X	X	X	X
13.0m/s	0%	57%	X	X	X	X
13.5m/s	98%	100%	X	X	X	X

註：1.紅色部份爲超過 90% 液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90% 會分裂，故未進行實驗。





圖十：不同直徑大小的水滴 90%分裂之風速關係圖

研究三、改變不同溶液，以觀測液滴表面張力的大小與水滴分裂之關係。

(一) 說明：

1. 藉由收尋網路資料，我們知道水滴要維持圓球狀必須要依靠水的表面張力，所以我們推測水滴是否分裂和它的表面張力有關。而且不同液體有不同的表面張力，因此我們希望利用不同的溶液來做為實驗的操作變因，並觀察水滴的分裂情形。
2. 困惑：由高中物理課本得知，使用同一支滴管所滴出的液滴的大小和表面張力及液體密度都有關係，因此如何控制液滴的體積是一大挑戰。
3. 作法：將不同液體分別使用各種不同規格滴管製作液滴，所得到的數據，可以畫出液滴體積大小和完全分裂及完全不分裂的特定風速關係曲線。

(二) 實驗步驟：

1. 記錄當天的氣壓、溫度及溼度，並使水溫維持在 5°C。
2. 承研究二步驟 2 到步驟 6 分別用滴管直徑為 0.8mm、1mm、2mm、4mm、6mm、10mm 之水滴的分裂實驗。
3. 分別將液滴改為水溫 45°C、85°C，酒精體積百分濃度 95%、55%、15%，肥皂水重量百分濃度 1%重複步驟 2。
4. 將上述實驗所得結果分別紀錄如表六至表十二、圖十一至圖十七。

(三) 實驗結果：

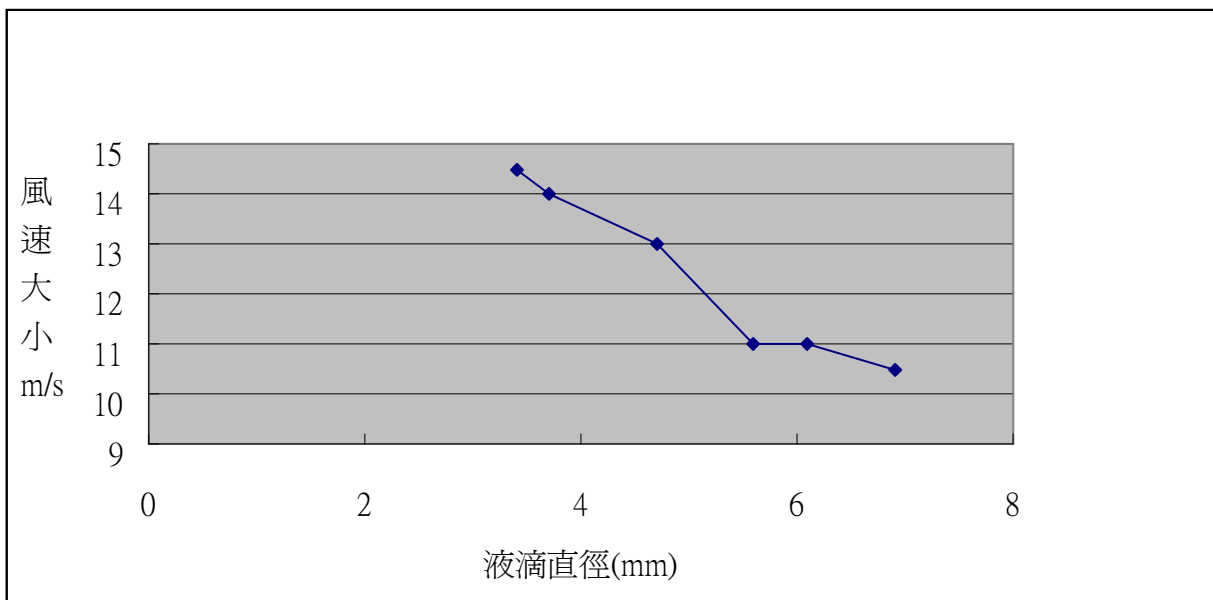


表六：水溫 5°C 時不同直徑大小的水滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	3.6mm	3.9mm	4.7mm	5.9mm	6.3mm	7.2mm
9.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%	6%
9.5m/s	0%	0%	0%	0%	8%	27%
10.0m/s	0%	0%	0%	0%	56%	80%
10.5m/s	0%	0%	0%	54%	86%	92%
11.0m/s	0%	0%	5%	96%	100%	X
11.5m/s	0%	0%	9%	X	X	X
12.0m/s	0%	0%	26%	X	X	X
12.5m/s	0%	0%	59%	X	X	X
13.0m/s	5%	34%	100%	X	X	X
13.5m/s	24%	63%	X	X	X	X
14.0m/s	72%	100%	X	X	X	X
14.5m/s	100%	X	X	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



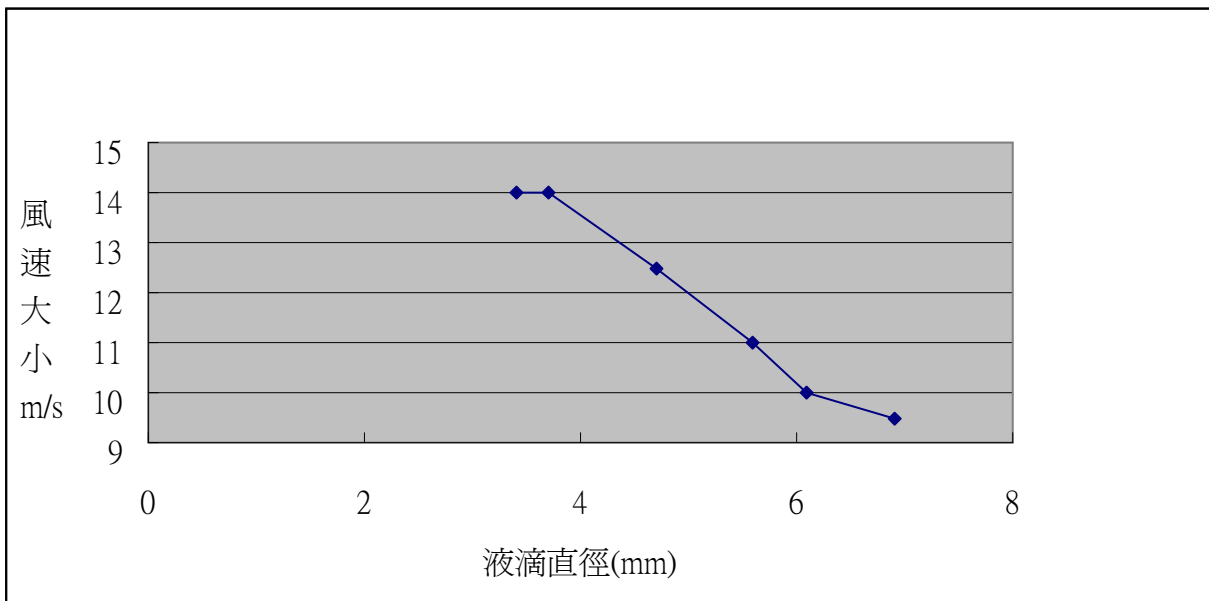
圖十一：水溫 5°C 時不同直徑大小的水滴在不同風速下其分裂關係圖

表七：水溫 45°C時不同直徑大小的水滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	3.5mm	3.7mm	4.7mm	5.8mm	6.1mm	7.1mm
8.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8.5m/s	0%	0%	0%	0%	0%	42%
9.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%	43%
9.5m/s	0%	0%	0%	0%	6%	93%
10.0m/s	0%	0%	0%	22%	92%	X
10.5m/s	0%	0%	0%	86%	X	X
11.0m/s	0%	0%	0%	100%	X	X
11.5m/s	0%	0%	25%	X	X	X
12.0m/s	0%	0%	52%	X	X	X
12.5m/s	0%	8%	95%	X	X	X
13.0m/s	8%	37%	X	X	X	X
13.5m/s	31%	70%	X	X	X	X
14.0m/s	90%	100%	X	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



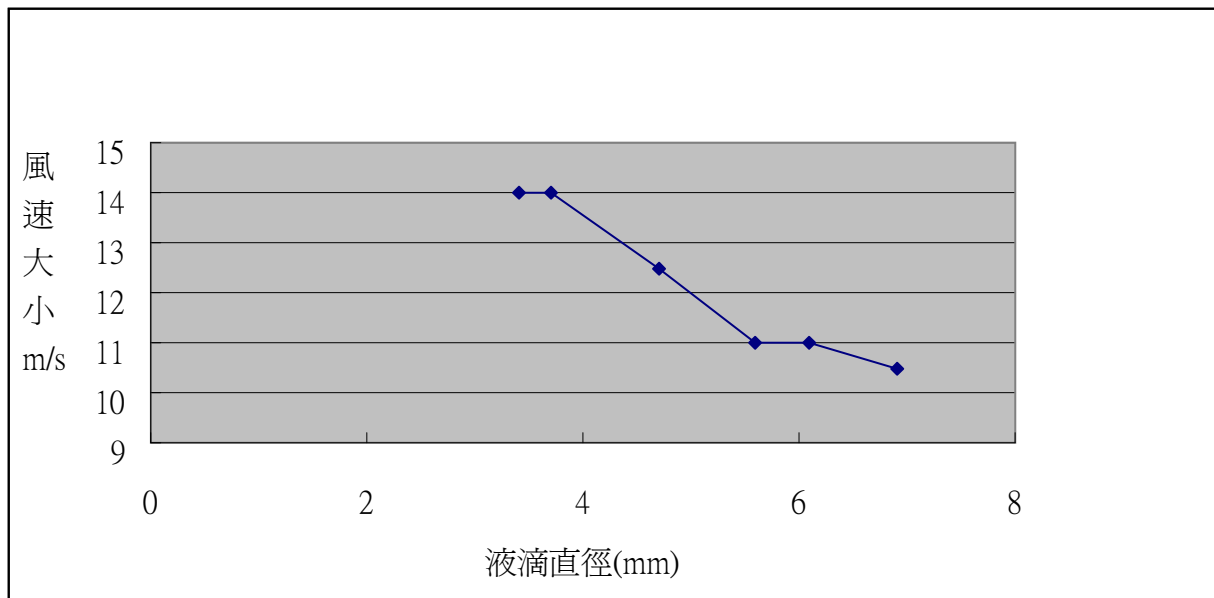
圖十二：水溫 45°C時不同直徑大小的水滴在不同風速下其分裂關係圖

表八：水溫 85°C 時不同直徑大小的水滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	3.3mm	3.6mm	4.5mm	5.8mm	6.1mm	7.1mm
8.5m/s	0%	0%	0%	0%	0%	6%
9.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%	22%
9.5m/s	0%	0%	0%	0%	5%	57%
10.0m/s	0%	0%	0%	38%	65%	88%
10.5m/s	0%	0%	0%	78%	81%	100%
11.0m/s	0%	0%	8%	100%	100%	X
11.5m/s	0%	0%	19%	X	X	X
12.0m/s	0%	0%	70%	X	X	X
12.5m/s	0%	10%	97%	X	X	X
13.0m/s	7%	45%	X	X	X	X
13.5m/s	36%	74%	X	X	X	X
14.0m/s	96%	100%	X	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



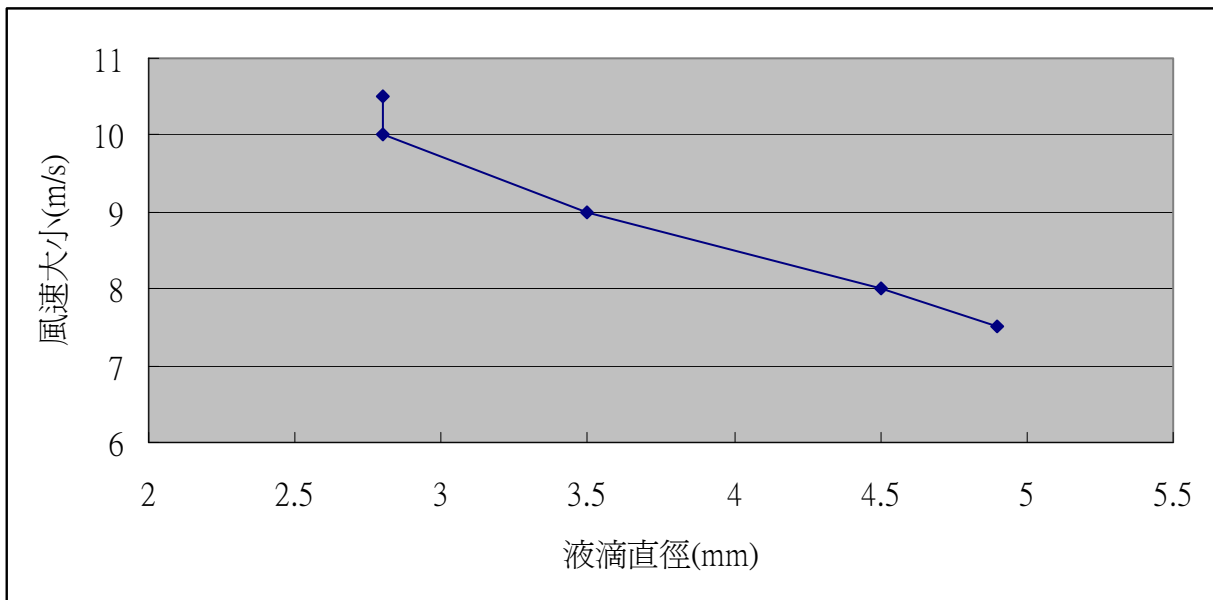
圖十三：水溫 85°C 時不同直徑大小的水滴在不同風速下其分裂關係圖

表九：酒精濃度 95%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	2.8mm	2.8mm	3.5mm	4.5mm	4.9mm
6.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%
6.5m/s	0%	0%	0%	0%	4%
7.0m/s	0%	0%	0%	37%	71%
7.5m/s	0%	0%	0%	65%	100%
8.0m/s	0%	0%	26%	100%	X
8.5m/s	0%	0%	83%	X	X
9.0m/s	9%	11%	100%	X	X
9.5m/s	23%	26%	X	X	X
10.0m/s	79%	91%	X	X	X
10.5m/s	100%	X	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



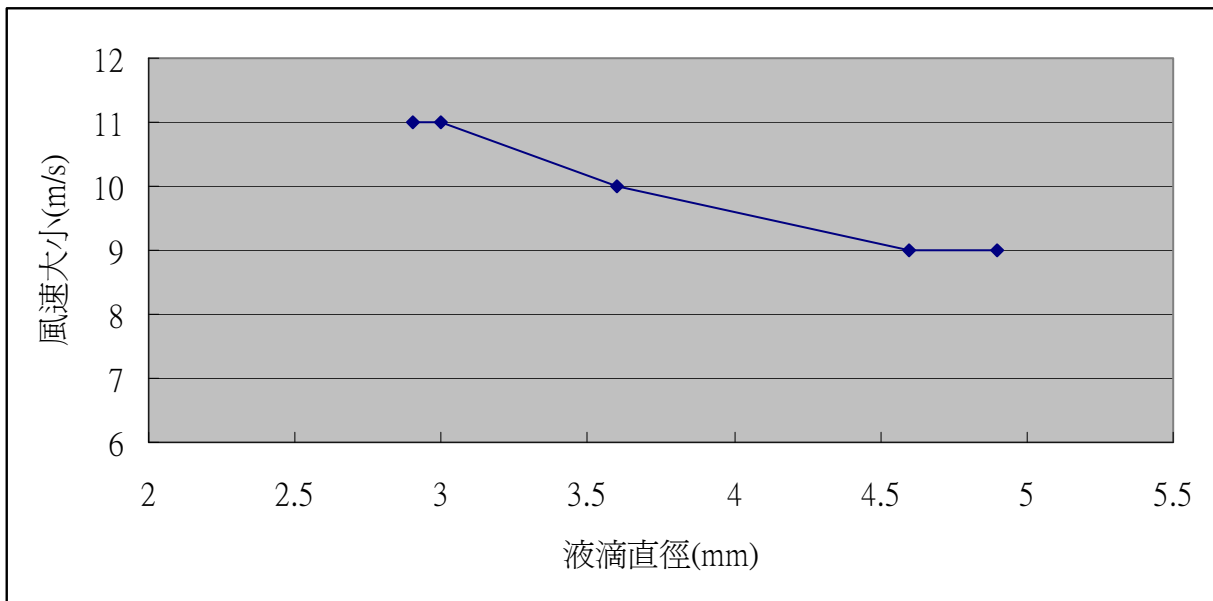
圖十四：酒精濃度 95%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂關係圖

表十：酒精濃度 55%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	2.9mm	3.0mm	3.6mm	4.6mm	4.9mm
7.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%
7.5m/s	0%	0%	0%	22%	27%
8.0m/s	0%	0%	0%	86%	85%
8.5m/s	0%	0%	9%	89%	88%
9.0m/s	0%	0%	27%	100%	100%
9.5m/s	0%	8%	54%	X	X
10.0m/s	11%	55%	94%	X	X
10.5m/s	89%	88%	X	X	X
11.0m/s	100%	100%	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



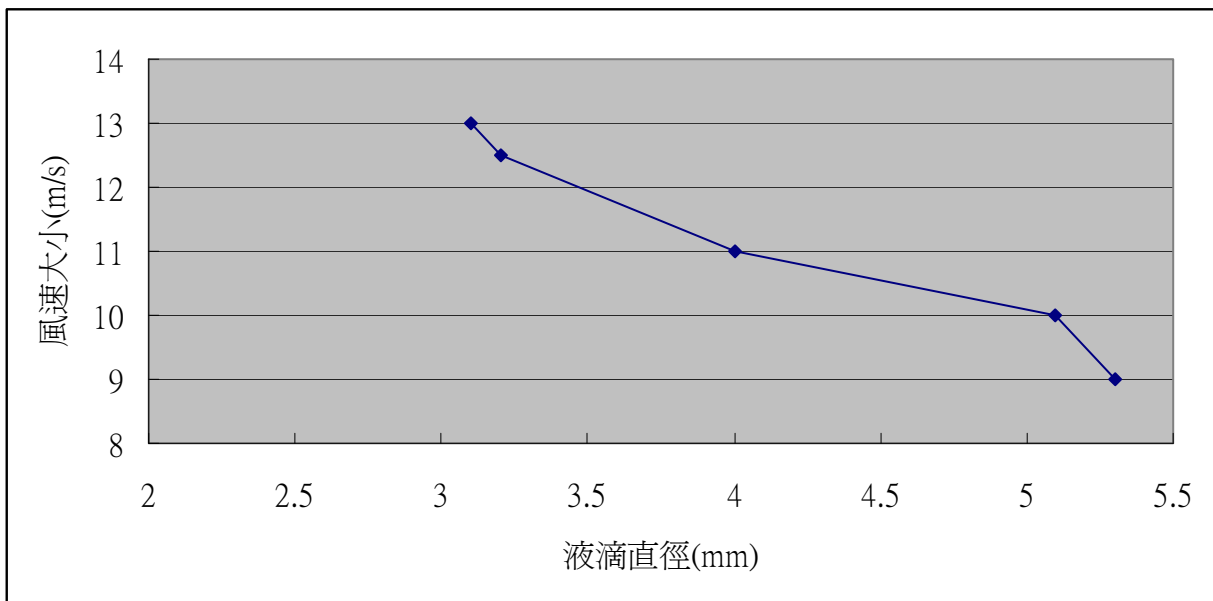
圖十五：酒精濃度 55%時不同直徑大小的液滴 90%分裂之風速關係圖

表十一：酒精濃度 15%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	3.1mm	3.2mm	4.0mm	5.1mm	5.3mm
8.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%
8.5m/s	0%	0%	0%	13%	26%
9.0m/s	0%	0%	0%	71%	97%
9.5m/s	0%	0%	0%	93%	X
10.0m/s	0%	0%	16%	98%	X
10.5m/s	0%	0%	45%	X	X
11.0m/s	0%	0%	91%	X	X
11.5m/s	0%	0%	X	X	X
12.0m/s	23%	47%	X	X	X
12.5m/s	82%	100%	X	X	X
13.0m/s	100%	X	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



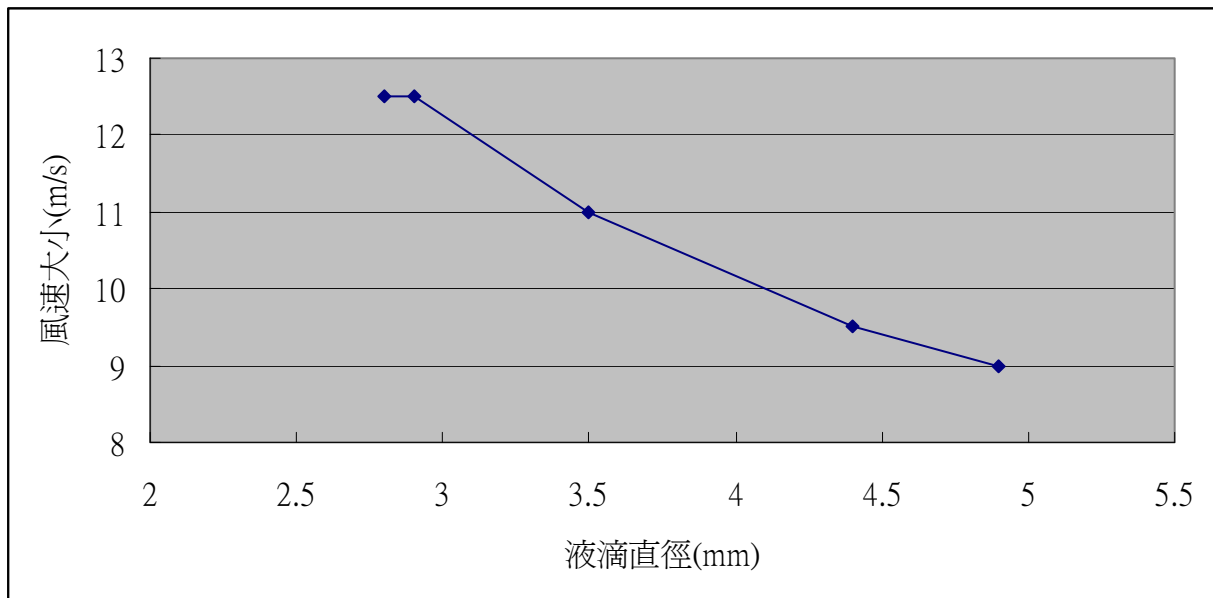
圖十六：酒精濃度 15%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂關係圖

表十二：肥皂濃度 1%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂百分比

液滴直徑 風速	2.8mm	2.9mm	3.5mm	4.4mm	4.9mm
8.0m/s	0%	0%	0%	0%	2%
8.5m/s	0%	0%	0%	27%	65%
9.0m/s	0%	0%	0%	79%	100%
9.5m/s	0%	0%	7%	100%	X
10.0m/s	0%	0%	48%	X	X
10.5m/s	0%	0%	76%	X	X
11.0m/s	0%	0%	100%	X	X
11.5m/s	11%	42%	X	X	X
12.0m/s	50%	61%	X	X	X
12.5m/s	97%	100%	X	X	X

註：1.紅色部份為超過 90%液滴會分裂之風速。

2.X 表液滴已經達到 90%會分裂，故未進行實驗。



圖十七：肥皂濃度 1%時不同直徑大小的液滴在不同風速下其分裂關係圖



研究四、改變空氣溼度，以觀測空氣溼度與水滴分裂之關係。

(一) 說明：

在重複同一實驗時，令我們困惑的是：雖然變因的控制非常的嚴謹，但結果仍然會有不小的差異，尤其是在氣候有較強烈對比時更是明顯，如晴天及陰天，經與老師討論的結果，我們猜測空氣的溼度也會影響實驗結果，因此我們繼續進行空氣溼度與水滴分裂的研究。

(二) 實驗步驟：

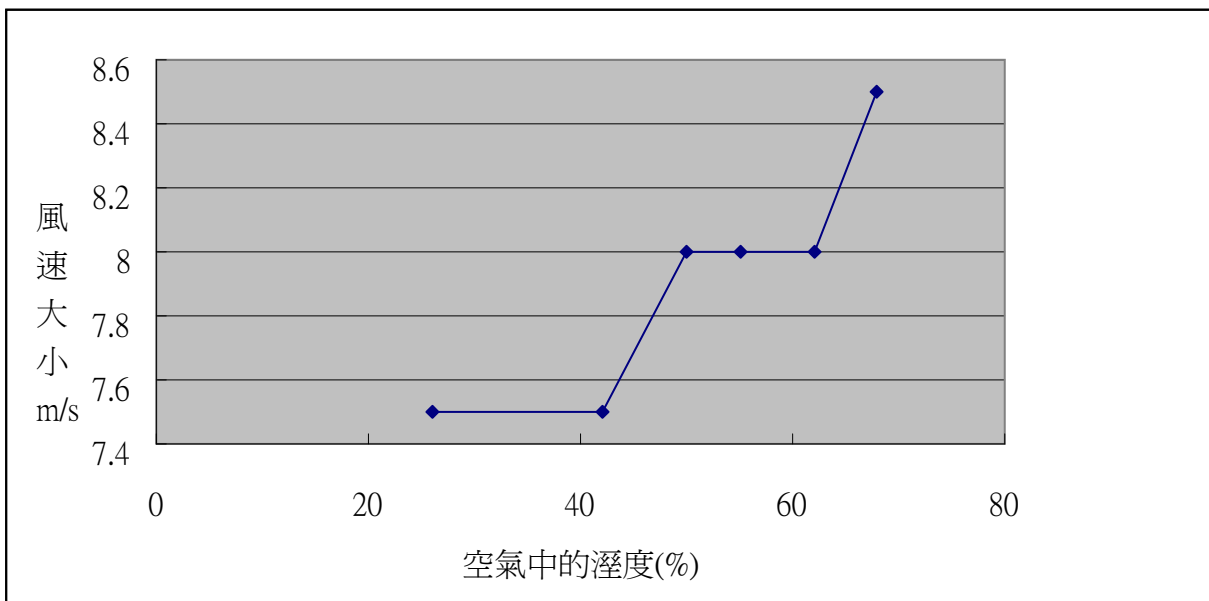
1. 記錄當天的氣壓，並使水溫維持在 20°C，利用冷氣、除濕機及在浴室中潑水使溼度達到 68%。
2. 進行直徑 5.6mm 之水滴的分裂實驗，其實驗步驟承研究二步驟 2 到步驟 6
3. 利用除溼機將空氣中溼度調整為 26%、42%、50%、55%、62%重複步驟 2。
4. 將上述實驗與研究中直徑 5.6mm 之水滴的分裂實驗所得結果紀錄如表十三

(三) 實驗結果：

表十三：在不同溼度下直徑 5.6mm 的液滴在不同風速下其分裂百分比

風速 \ 溼度	26%	42%	50%	55%	62%	68%
7.0m/s	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7.5m/s	4%	3%	0%	0%	0%	0%
8.0m/s	31%	26%	7%	10%	12%	0%
8.5m/s	52%	51%	45%	38%	33%	37%
9.0m/s	97%	96%	85%	73%	59%	52%
9.5m/s	100%	100%	100%	100%	100%	100%

註：1.紅色部份為液滴開始分裂之風速。



圖十八：在不同溼度下直徑 5.6mm 的液滴在不同風速下其分裂關係圖

研究五、利用照相機，拍攝水滴落下時的形狀變化及分裂過程，以便分析研究。

(一) 說明：

1. 落下的速度過快，難以觀察，所以我們設法以相機捕捉水滴落下的影像，以便進一步的分析與研究。
2. 拍攝的困境：首先，按下快門和滴下水滴的時間要配合得宜，而且水滴的影像不能有拖曳的現象及水滴前後的景深要極短。因此照相機的快門要快、光圈要大、拍攝的距離要近及鏡頭的焦距要長。但是因為快門要快、拍攝距離要近，所以能捕捉的垂直範圍極短，因此要得到清晰的影像，除了需要充分的默契及大量的拍攝之外，也需要絕佳的運氣。

(二) 實驗步驟：

1. 實驗裝置如圖七，並且在暗室中利用閃光燈補光的方式拍攝。
2. 調整滴管口與風洞的距離為30cm，並將風速調整為10m/s，且讓直徑為5.6mm的水滴落下。
3. 調整相機快門為1/800秒，光圈為3.4，並使用同步閃光補光。
4. 利用相機捕捉水滴由落下至分裂的過程，結果如圖十九到二十九。

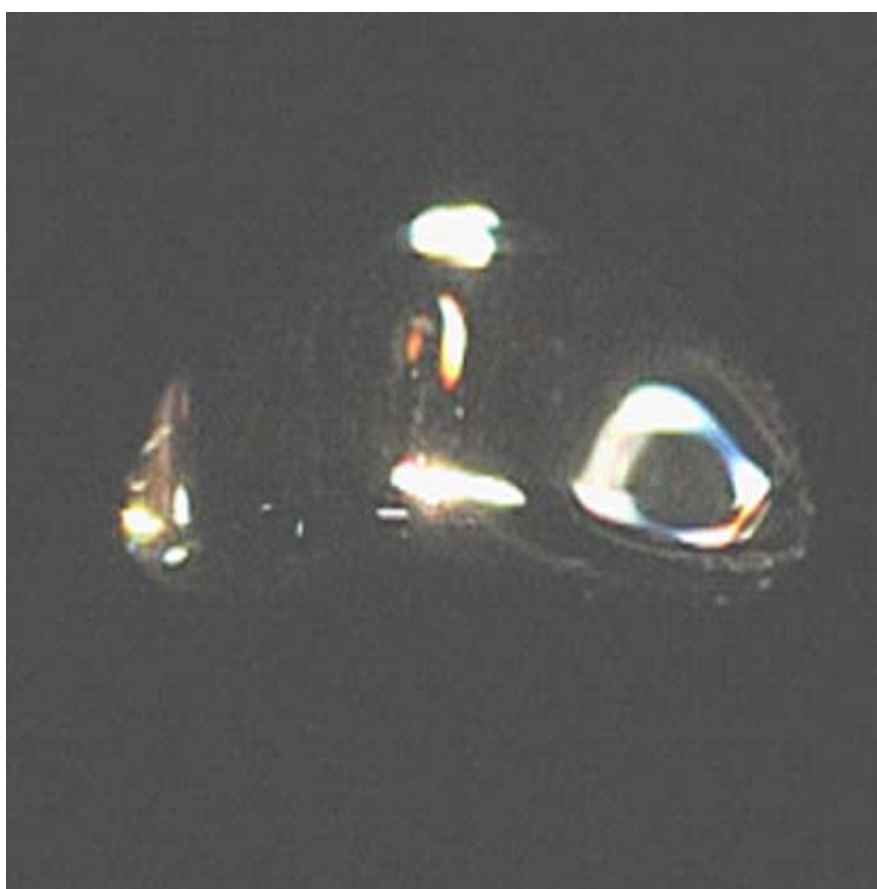
(三) 實驗結果：



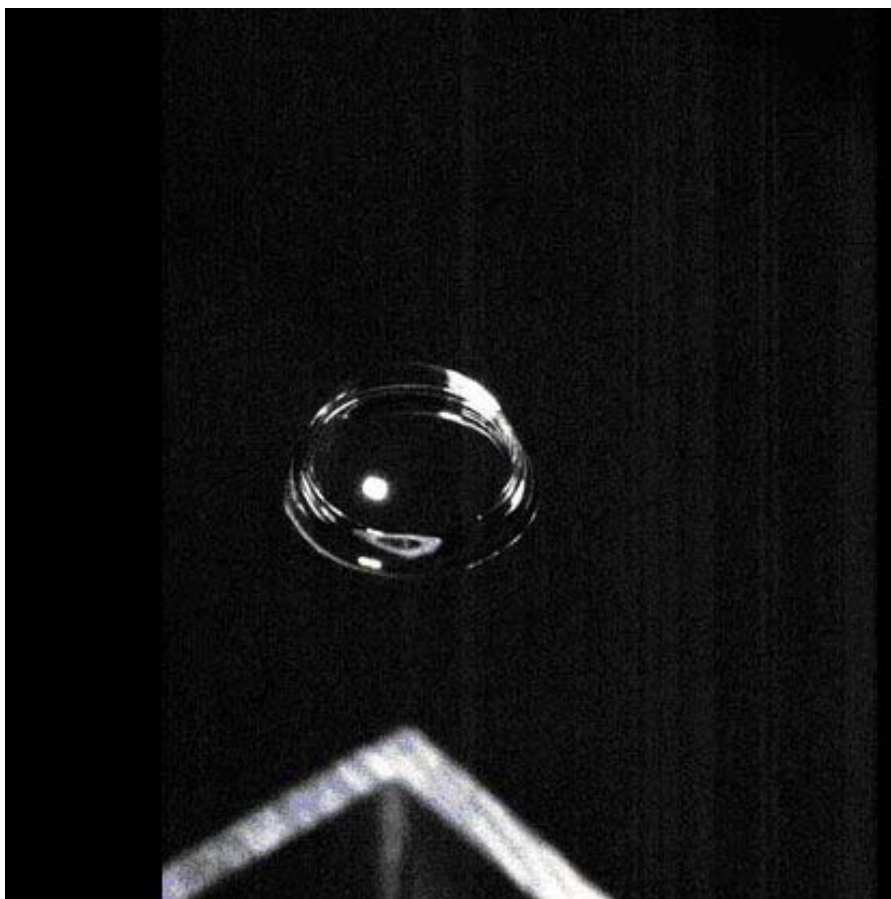
圖十九：落下中的圓球狀水滴



圖二十：落下中的扁形水滴



圖二十一：落下中的帽形水滴



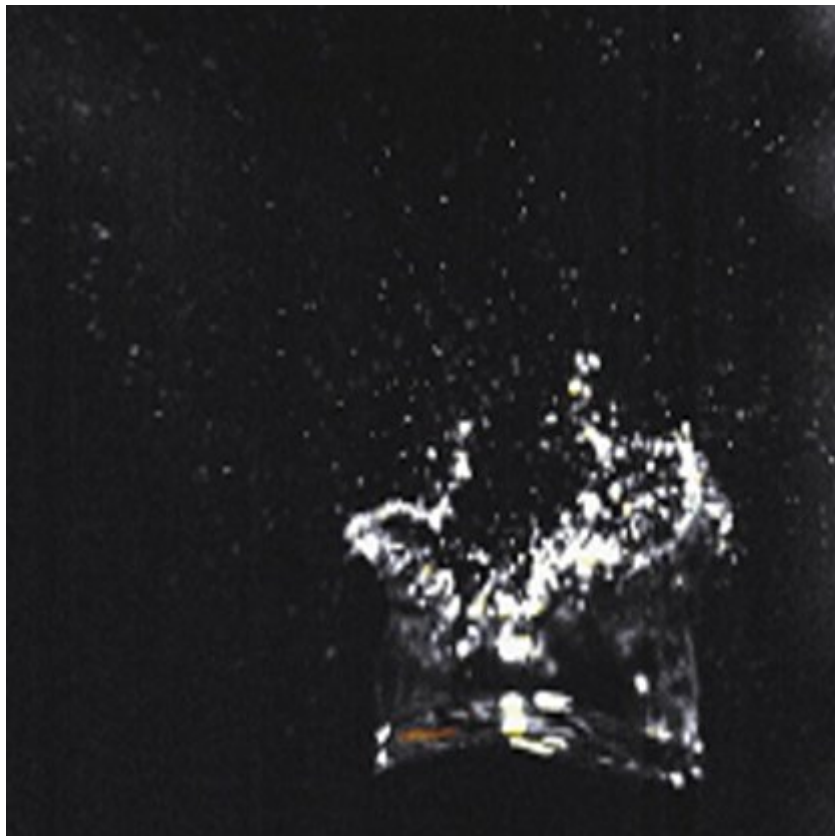
圖二十二：落下中的帽形水滴



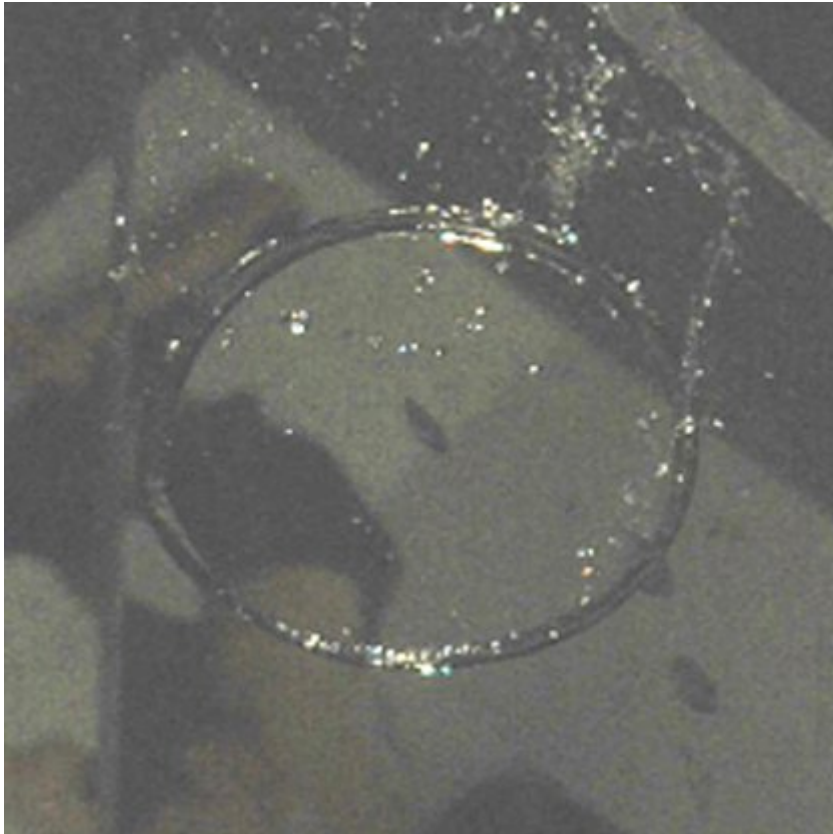
圖二十三：落下中的鐘形水滴



圖二十四：分裂中呈鐘形的水滴



圖二十五：分裂中呈鐘形的水滴



圖二十六：分裂中呈環形的水滴

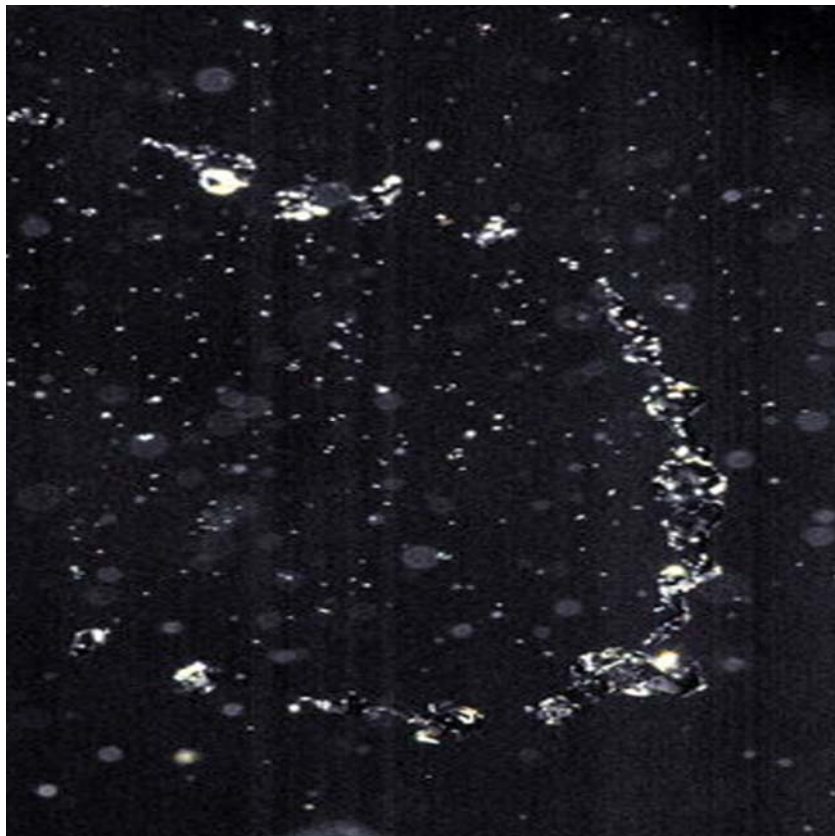


圖二十七：分裂後的小水滴





圖二十八：分裂後的小水滴



圖二十九：分裂後的小水滴



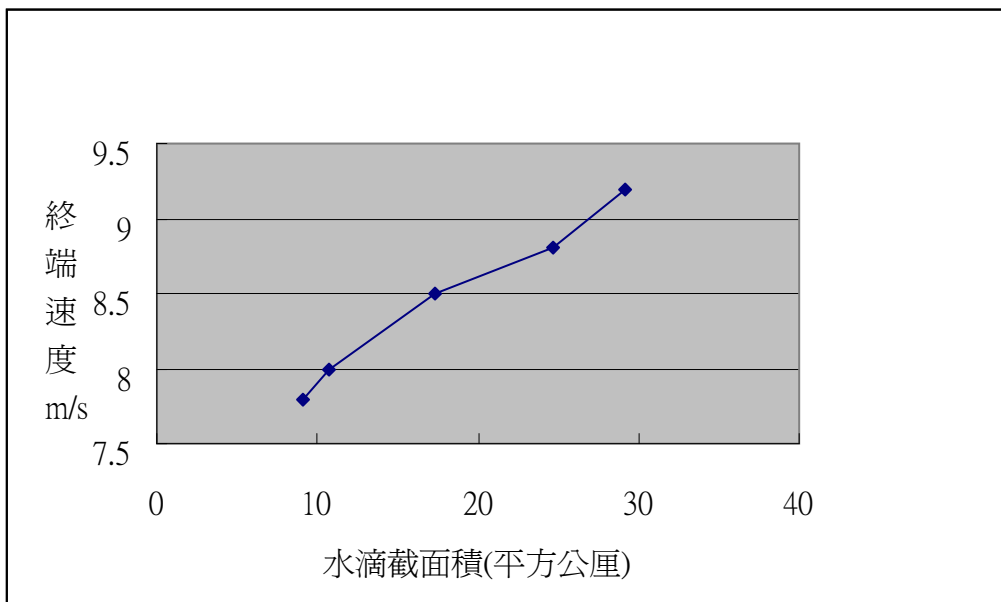
## 伍、討論

### 一、雨滴大小與終端速度之關係

研究一我們測量雨滴大小的結果發現，雨滴大小介於 1.5mm 到 1.8mm 之間，由高中物理課本我們知道物體在落下時會有其終端速度，公式如 5.1 式，其中  $W$  為重力， $C_d$  為阻力係數， $r$  為空氣密度， $A$  為物體截面積。

$$V = \sqrt{\frac{2W}{C_d \cdot r \cdot A}} \quad (5.1 \text{ 式})$$

所以我們知道不同大小的雨滴有不同的截面積，故應會有不同的終端速度，我們將研究一中 20°C 純水終端速度的數據製成曲線圖如圖三十，可以發現水滴的大小會影響落下的終端速度，且水滴越大其終端速度也越大，這個結果也與 5.1 式相符合，同時也驗證了實驗的正確性。



圖三十：水滴終端速度與截面積關係圖

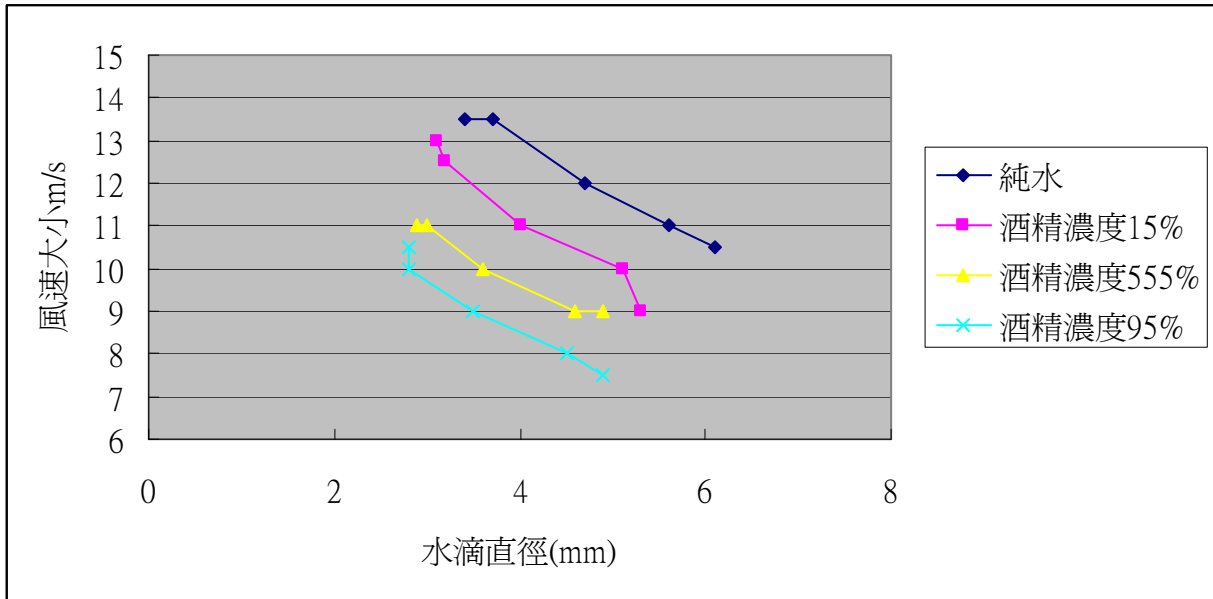
### 二、不同水滴直徑與分裂之關係

我們發現較大的水滴在落下時比較容易產生分裂情形，所以我們推測水滴是否分裂和其直徑大小有關，因此我們做了研究二的實驗來改變不同水滴的直徑並觀測水滴的分裂情形。由表五的結果我們可以得知，當水滴直徑為 6.9mm 時風速只需要 9.5m/s 就會有 100% 分裂的情況出現，而水滴直徑為 3.4mm 時風速確需要達到 13.5m/s 才會有 98% 的分裂情況出現。所以我們知道直徑比較大的水滴的確在風速較低時，就會有分裂的現象。

### 三、不同溶液之表面張力與液滴分裂的關係

由網路資料我們知道水滴是否分裂和他的表面張力有關，因此我們利用實驗測量不同液體的表面張力，並觀察水滴分裂的情形。由表二及表三我們可以知道純水的表面張力介於 73.34dyn/cm 到 85.04dyn/cm 之間，酒精的表面張力介於 28.87dyn/cm 到 51.10dyn/cm 之間，而肥皂水的表面張力為 33.16dyn/cm，我們發現酒精的表面張力比 20°C 的純水要小。所以我們推測含有酒精的液滴會比 20°C 的純水溶液有分裂的情形，利用表五、表九、表十、表十一中水滴

90%分裂之風速重新進行比較如圖三十一所示。由圖中可以看出當液滴直徑相同時，95%濃度的酒精液滴達到 90%分裂所需要的風速，會小於純水液滴達到 90%分裂所需要的風速，因此證明表面張力為影響液滴是否分裂的因素，且表面張力越小時液滴越容易分裂。



圖三十一：不同液滴 90%分裂之風速關係圖


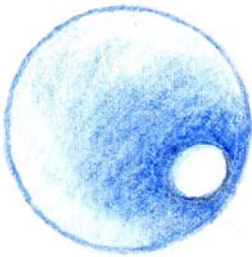

#### 四、不同溼度與液滴分裂的關係

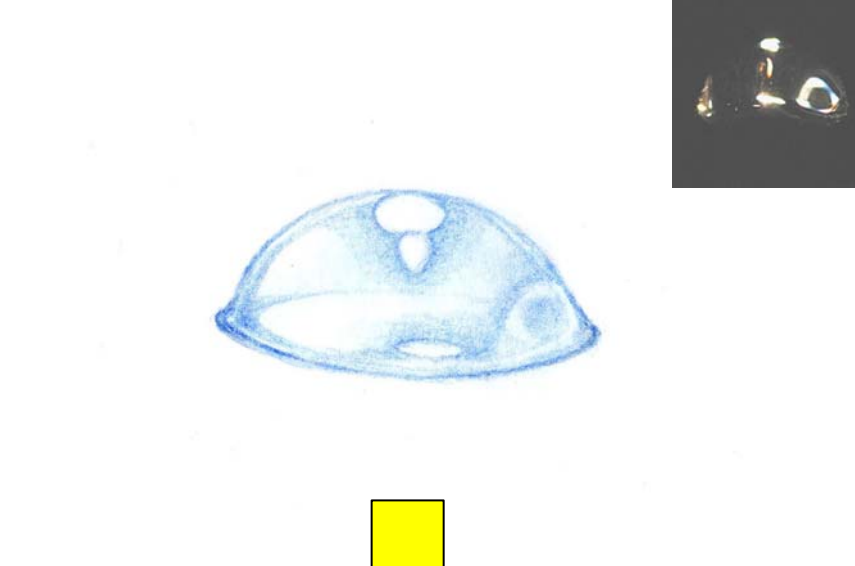
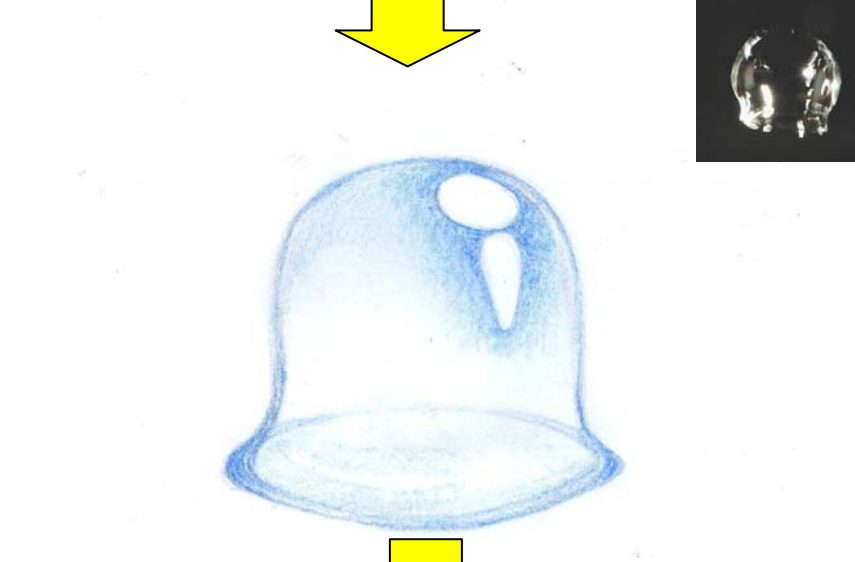
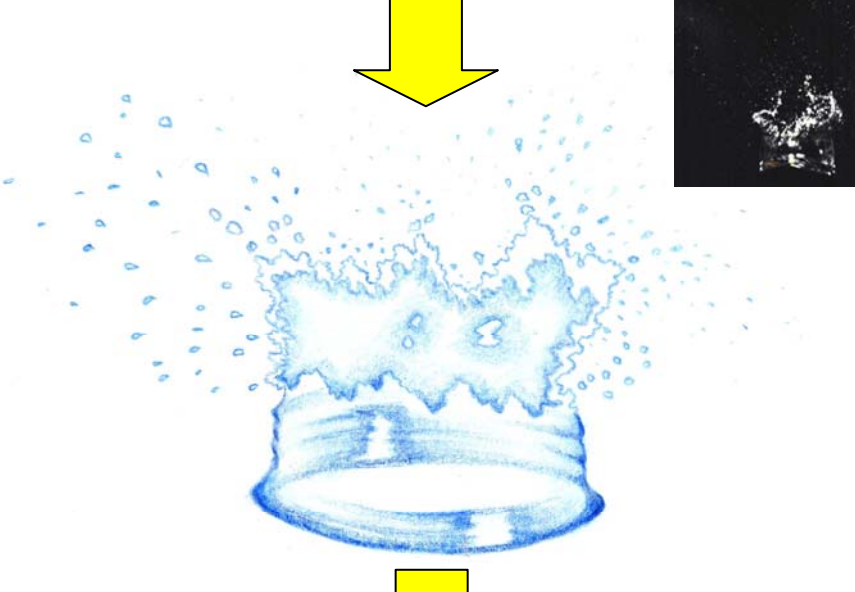
在實驗過程中，我們發現雖然每次只改變一個操作變因，但實驗結果卻往往會有差異，我們檢視實驗時的時間發現這些日子有時候是晴天有時候是雨天，所以我們推測這或許是由於氣候所造成的影響，因此我們把溼度當成操作變因，進行研究四的實驗，結果如表十三所示。當空氣溼度為 68%時需要 8.5m/s 才開始產生分裂的情況，而空氣溼度為 26%時只要達到 7.5m/s 就會有分裂的情況出現，因此證明空氣中溼度大小為影響液滴是否分裂的因素，且空氣溼度越小時液滴越容易分裂。

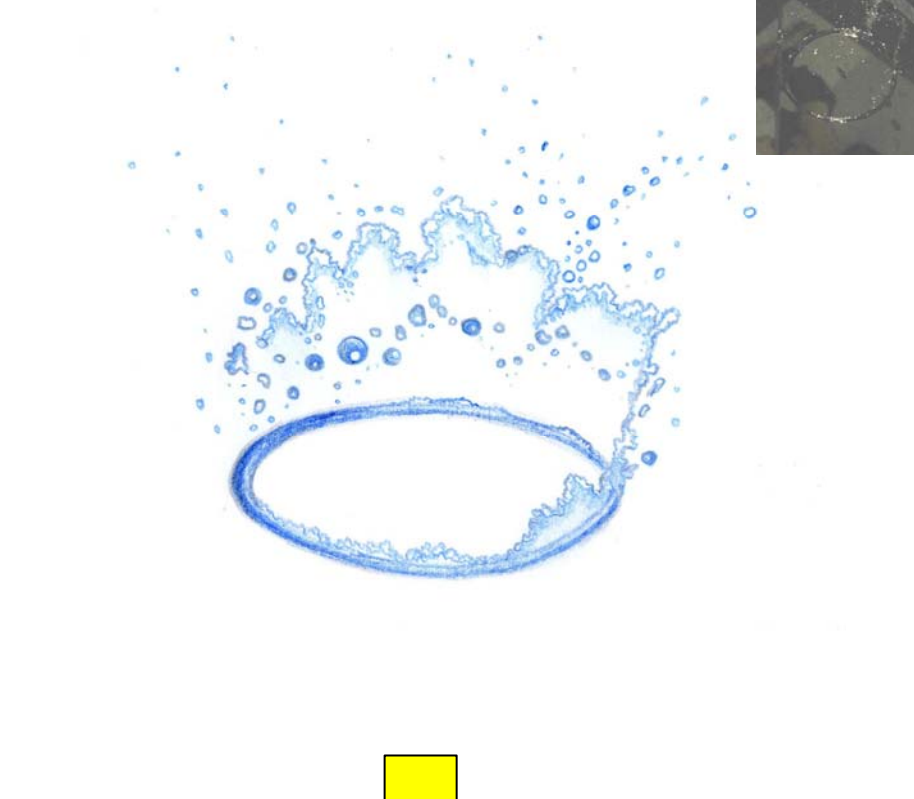
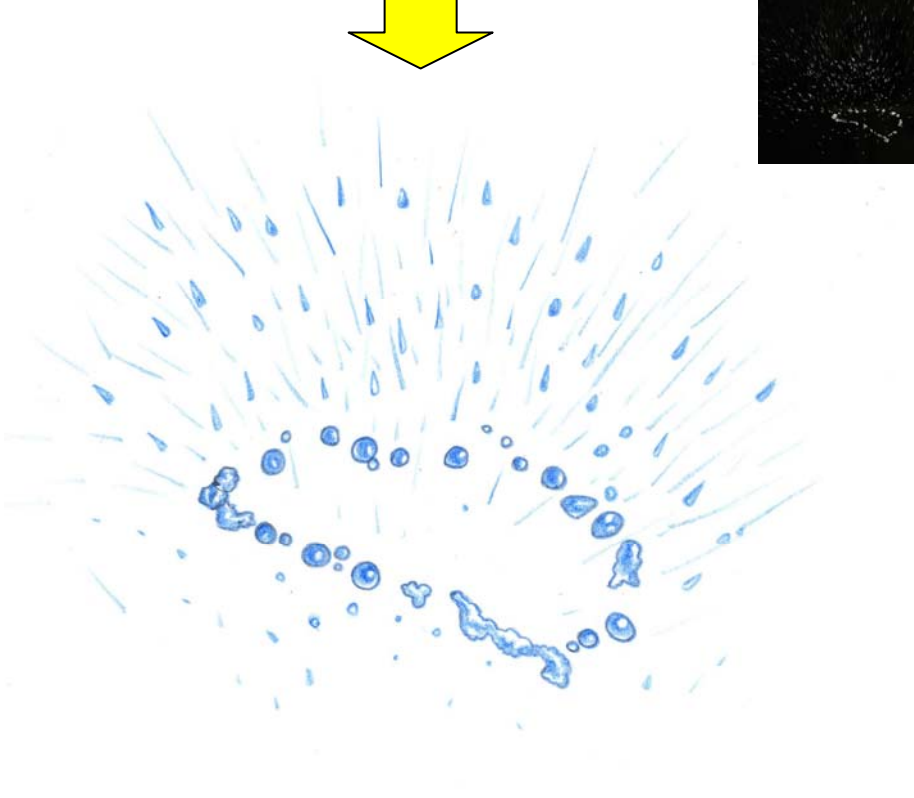
#### 五、水滴落下時的形狀變化及分裂過程

因為水滴落下的過程難以用眼睛觀察，所以我們以相機捕捉水滴落下的影像，以進分析與研究。其落下過程的照片如圖十九到二十九，我們對其過程分析整理為表十四。

表十四：水滴落下至分裂流程

圖片說明	水滴落下至分裂流程示意圖
<p>即將脫離滴管口的水滴示意圖：因為附著力及表面張力影響，水滴尚未脫離滴管之前呈現完整的水滴狀。</p>	
<p>脫離滴管的圓球狀水滴示意圖：因為表面張力的影響，所以水滴會趨向最小的表面積呈現出圓球狀。</p>	
<p>落下中的扁形水滴示意圖：水滴在空氣中行進時，受到重力及空氣阻力的影響開始由圓球狀改變為扁狀。</p>	

圖片說明	水滴落下至分裂流程示意圖
<p>落下中的帽形水滴示意圖：水滴落下速度逐漸增加時，水滴開始逐漸轉為帽形的水滴。</p>	
<p>落下中的鐘形水滴示意圖：變為帽形水滴之後，受到向上氣流的影響轉變為鐘形。</p>	
<p>分裂中呈鐘形的水滴示意圖：當受力突破表面張力的極限時，由鐘形的頂端開始產生分裂的現象。</p>	

圖片說明	水滴落下至分裂流程示意圖
<p>分裂中呈環形的水滴示意圖：接著持續分裂後，如圖所示形成環形的構造。</p>	 <p>The diagram shows a blue water droplet that has flattened and spread out into a thin, horizontal ring. Above the ring, there is a spray of smaller blue droplets, indicating the initial stage of fragmentation. A small inset photograph in the top right corner shows a real-world example of a water droplet on a dark surface, appearing as a thin, circular ring.</p>
<p>分裂後的小水滴示意圖：最後環形分解為較小的水滴四散。</p>	 <p>A large yellow arrow points downwards from the ring diagram to this diagram. The diagram shows the ring from the previous stage has broken apart into many small, individual blue droplets scattered across the surface. A small inset photograph in the top right corner shows a dark surface with many small, scattered water droplets.</p>

## 六、自然界雨滴大小極限之探討

我們在做實驗的過程，利用不同管徑大小的滴管，可以製造出各種不同直徑大小的水滴，但是反觀於自然界觀察到的雨滴，卻無法達到我們所能製作的極限大小，因此我們判斷自然界雨滴的大小存在一個極限值，而此極限值可能與雨滴的終端速度有關，由表一（不同大小液滴的終端速度）與表五（不同直徑大小的水滴在不同速度下其分裂百分比）得知，當直徑為6.9mm的水滴在速度為9.5m/s時會有100%分裂的現象，而我們在測量終端速度時由於水滴未達終端速度之前即發生分裂的現象，此終端速度大於9.5m/s，故在雨滴落下速度達到終端速度之前就會有分裂的現象發生，在雨滴降落到地面之前，無法持續保持水滴原有的大小，所以我們辦法沒有看到如此大顆的雨滴。當直徑為3.4mm的水滴在速度為13.5m/s時會有98%分裂的現象，我們所測出其水滴的終端速度為7.8m/s，此終端速度遠小於13.5m/s，所以在自然界中不易發生分裂的現象，故可以觀察到此種大小的雨滴。當直徑為6.1mm的水滴在速度為9.5m/s時會有64%分裂的現象，而我們所測出其水滴的終端速度為9.2m/s，此終端速度接近於9.5m/s，代表雨滴此時正處於分裂的臨界速度，因此在自然界中有時可以觀察到此種大小的水滴，綜合以上我們推測自然界中水滴直徑的極限值約在6.1mm到6.9mm。

## 七、本次實驗設計過程與缺失之檢討

- （一）雨滴顆粒的測量：我們已經使用過麵粉、地瓜粉、在來米粉、糯米粉、太白粉等，最後選用太白粉，它和雨滴結成的球狀最適合我們的測量，其它如麵粉在下雨時若落下的雨滴顆粒太多則不易包裹測量。
- （二）製作各種不同大小的液滴：製作液滴時，爲了要能夠製作出各種不同直徑的液滴來進行實驗，我們嘗試過很多產生液滴的方法，從棉花、海綿、吸管、壓克力管一直到各種植物的葉子，發現到液滴的直徑受到很多因素的影響，口徑大小、液體密度、表面張力、附著力和溫度等，最後我們選擇不同口徑大小的滴管及玻璃管，當滴管口徑大於10mm開始，表面張力無法支撐，而滴管口徑小於0.8mm之後，因爲附著力的關係水滴直徑的變化不明顯，所以我們選用0.8mm到10mm之不同口徑的滴管共6種。
- （三）在實驗中，當使用不同的溶液時，即使是使用相同口徑的滴管，因爲溶液表面張力、液體密度及滴管口徑變化的不同，而產生不同直徑的液滴，在測量表面張力時，也可能會因爲液體的溫度而使管徑發生些微的變化，使得實驗產生誤差。
- （四）風洞確實可以使原本鼓風機的氣流變穩定，但也受限於鼓風機的出風口大小，使得實驗時可以進行的實驗區域較小。
- （五）在捕捉水滴分裂的影像時，曾使用過數位攝影機錄影，然後以1/30秒格放但所得到的影響非常模糊，也曾經試過使用相機配合高速閃光燈，這種方法的確可以拍下水滴的連續動作，但這種拍攝方法必須要有較遠的距離才能獲得較寬廣的視野，故拍攝到的水滴顆粒較小，而書面中十一張的水滴照片是從數千張中所挑出，雖然成功率不高但這種拍攝方式所得到影像是最清晰的。

## 陸、結論

1. 由實驗我們知道不同大小的雨滴有不同的截面積，因此具有不同的終端速度，也發現水滴越大其終端速度也越快，這個結果與終端速度之公式相符合。
2. 我們發現較大的水滴在落下時比較容易產生分裂情形，且水滴是否分裂和其直徑大小有關，透過實驗我們知道直徑比較大的水滴在風速較低時，就會有分裂的現象。

3. 我們利用實驗測量不同液體的表面張力，並觀察水滴分裂的情形。證明不同的液體具有不同的表面張力，且表面張力為影響液滴是否分裂的因素，當表面張力越小時液滴越容易分裂。
4. 透過實驗我們知道空氣中的溼度會影響水滴的分裂，當空氣溼度較小時水滴較容易分裂。
5. 我們利用滴管可以製造出直徑較大的水滴，但是自然界觀察到的雨滴，卻無法達到此種大小，此極限值與雨滴的終端速度有關，當雨滴分裂的臨界速度小於終端速度時，雨滴就會分裂，而此種情況發生於較大的雨滴中，所以我們無法看到超過一定值的雨滴，當雨滴分裂的臨界速度接近終端速度時，雨滴正處於是否分裂的臨界點，因此我們認為此時雨滴的直徑，應該就是自然界雨滴的最大值為 6.1mm 到 6.9mm 之間。

## 柒、參考資料

- 一、戚啓勳（民 70）普通氣象學 P 124~ P 148
- 二、史家瑩（民 96）翰林版國中自然與生活科技第五冊 P 31~ P 48
- 三、林明瑞（民 91）南一版高中物質科學物理篇上冊 P 162~163
- 四、林明瑞（民 92）南一版高中物質科學物理篇下冊 P 143~P148 P 65~ P 69
- 五、馮鵬年（民 69）出門看天氣 P 65~ P 71
- 六、武田康男（民 96）氣像觀察圖鑑～不可思議的天空 P 60~ P 64



## 【評語】 030113

優點:

1. 以風洞方式研究最大雨滴之設計很有創意。
2. 改良風洞，水滴等儀器展現出動手能力。
3. 文獻蒐集頗完整。

缺點:

1. 只是驗證既有結果。
2. 未開發或發現新的現象。