

投稿類別：化學類

篇名：

翻滾吧氣泡

作者：

賈富涵。高雄市立左營高級中學。高二3班

指導老師：

潘怡如 老師

壹●前言

一、研究動機

在日常生活中常常會看到氣泡，例如倒茶水的時候，擰抹布的時候，用湯匙攪動液面的時候，然而氣泡到底是怎麼產生的呢？為什麼雨滴滴落到水窪時會產生氣泡呢？又是在怎麼樣的情況下最容易產生呢？找尋相關資訊後，發現有許多關於製造氣泡的文獻，但實際探討雨滴產生的資料並不多，於是就展開了一連串與生成氣泡有關的變因研究及實驗。

二、研究方法

為了要模擬水滴落下液面之情形，首先自製實驗儀器，利用灑水噴霧器類似幫浦的功能將水送往高處，藉此分析不同高度水滴撞擊液面情形，在實驗過程中每次利用一滴小水滴，反覆測試，觀察與記錄找出最佳氣泡出現之效果；另一方面運用不同溶液，探討表面張力之影響，內容將以下列三大面向，分成七個研究實驗進行，研究主題詳列於研究流程中，並於本文中完成實驗與分析探討。

（一）理想氣泡的生成過程分析

- 1、藉由 you tube 的影片截圖對照實驗影片，定義理想氣泡之生成過程。
- 2、利用二分法找出理想氣泡在清水環境下產生之臨界值。

（二）探究不同變因與氣泡生成率之關係

- 1、水滴的高度與氣泡生成率之關係。
- 2、溶液之表面張力與氣泡生成率之關係。

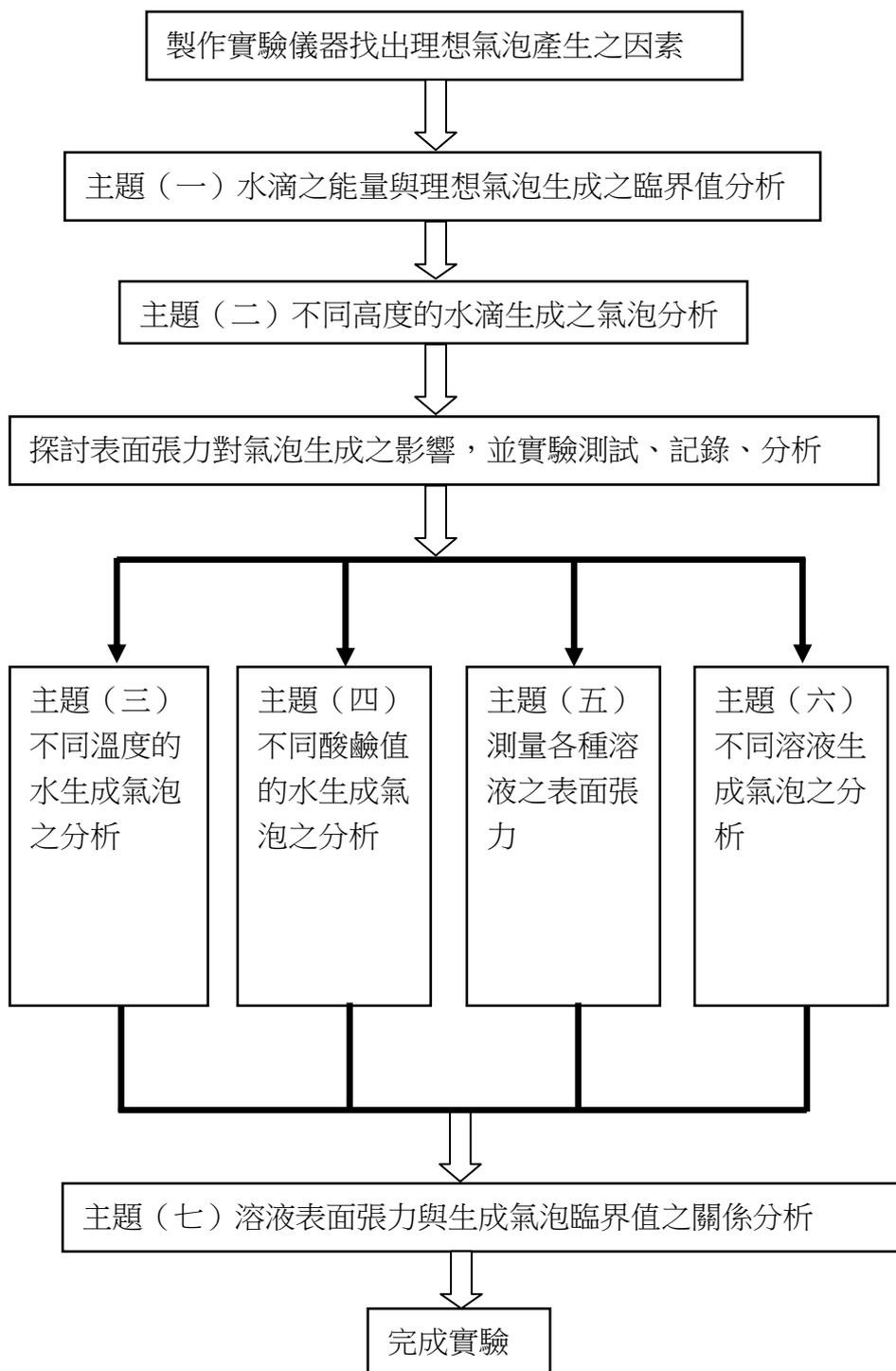
（三）分析表面張力與生成氣泡臨界值之關係

三、摘要

本研究針對水滴落入溶液是否生成氣泡進行討論，並從大量的實驗影片中觀察綜整，再利用二分法將能夠生成氣泡之最小高度找出來，進而分析此時氣泡的生成條件。另一方面，我們選擇不同之溶液進行實驗，結果發現肥皂水溶液氣泡最容易生成，需要之水滴高度也比清水來得低。因此可推論當表面張力越小之溶液，分子間的內聚力較弱，水滴能夠撞擊的凹洞變大，當凹洞夠大時便能夠產生完整的氣泡。最後找出氣泡生成率與臨界值的關係。

四、研究流程

翻滾吧氣泡



貳●正文

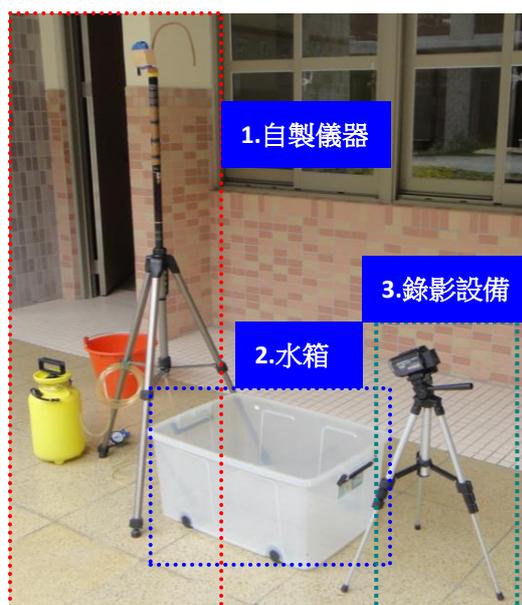
一、實驗研究器材

分別為自製儀器（產生雨滴）、水箱（盛裝溶液）、錄影設備（拍攝水滴撞擊液面之過程），如圖一。

二、分析方式

(一) 氣泡生成過程之分析：

1、氣泡實際產生之情形：為了觀察氣泡的生成，將攝影機鏡頭與液面平行拍攝，再回放詳細觀察，並與網路上所搜尋到的水滴生成氣泡之影片(參考資料來源：水滴氣泡生成, 2011)(註一)，進行比對與分析，以便了解氣泡實際的生成過程，將影片與實驗結果資料截圖對照，解釋氣泡生成之過程如下：



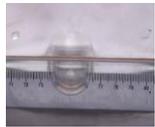
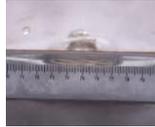
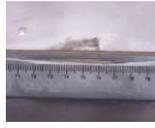
圖一：實驗研究器材配置示意圖

(1) 當水滴撞擊液面時，會產生一個碗型凹面，被撞開的液體會形成皇冠的形狀，接著皇冠會慢慢地會合將內部的空氣包圍起來 (圖二)。

(2) 然後水面上的液體會向氣泡的內部收縮變形成一個環狀氣泡(圖三)。

(3) 由於氣泡內部空氣不穩定，讓環狀氣泡變形成新月形氣泡(圖四)，因為液體表面張力作用之關係，最後氣泡是以半球型的形狀穩定存在(圖五)。

2、氣泡生成之直徑大小分析：將水箱的外圍貼上皮尺，藉由皮尺刻度測量凹洞大小以及氣泡生成之直徑大小。

氣泡	左為側拍、右為俯拍 (參考資料來源：註一)	實驗拍攝影片 (透明水槽側拍)
圖二		
圖三		
圖四		
圖五		

(二) 數據處理：

1、觀察實驗拍攝影片，分析氣泡生成率，每次實驗水滴次數為十次，利用產生氣泡數目除以水滴次數，依生成率來判定氣泡產生之效果好壞。

$$\text{氣泡出現率} = \frac{\text{氣泡出現次數}}{\text{水滴次數}} \times 100\% \quad \text{----- 公式(1)}$$

2、推算不同溶液之表面張力大小。

$$\text{推算溶液表面張力} = \frac{\text{溶液高度差(cm)}}{\text{清水高度差(cm)}} \times 72.8(\text{dyne/cm}) \text{----- 公式(2)}$$

(參考資料來源：表面張力測量新方法-連通管原理的再應用。註二)

三、研究過程與結果

(一) 水滴之能量與理想氣泡生成之臨界值分析

1、說明：為了深入了解高度如何影響氣泡生成之結果，決定先以不同的高度為操作變因來進行實驗分析，並以二分法來尋找理想氣泡生成之臨界值高度。

2、結果：當水滴落下高度為 200 公分時，氣泡生成率為 20%；水滴高度降為 175 公分時，氣泡生成率為 0%，表示氣泡產生之臨界值高度落於兩者之間，二分逼近法的測試結果得到氣泡臨界值之高度約為 186.75 公分，如表一。

表一：清水生成氣泡臨界值之數據結果

高度 cm	換算公式	測試 次數	氣泡出 現次數	氣泡出 現率(%)	與臨界 值比較
175	-	10	0	0	低
200	-	10	2	20	高
187.5	$\frac{(175 + 200)}{2}$	10	8	80	高
181.25	$\frac{(175 + 187.5)}{2}$	10	0	0	低
184.4	$\frac{(181.25 + 187.5)}{2}$	10	0	0	低
186	$\frac{(184.4 + 187.5)}{2}$	10	0	0	低
186.75	$\frac{(186 + 187.5)}{2}$	10	3	30	大約 位置

(二) 不同高度的水滴生成之氣泡分析

1、說明：不同位置高度的水滴，所具有的動能也不同，「水滴原位能越大，落水面時的動能也就越大；水滴撞擊液面時的動能越大，撞出的凹洞也越大。」(高雅然、林純儀，2011)(註三)。故從中分析不同高度水滴之氣泡生成率。實驗測試的水滴出水位置高度分別為 150cm、175cm、200cm、225cm、250cm。

2、結果：如表二從實驗的結果發現，當位能低，因其轉換的動能較小，撞擊的凹洞太淺，濺起的液體沒有足夠的時間包覆空氣，所以氣泡不容易生成。

表二：不同高度水滴的氣泡出現統計

高度 cm	壓力 psi (kg/cm ²)	水滴間 隔(秒)	水箱水 深(cm)	測試 次數	氣泡出 現次數	氣泡出 現率(%)
150	1	5	2.6	10	0	0
175	1	5	2.6	10	0	0
200	1	5	2.6	10	2	20
225	1	5	2.6	10	4	40
250	1	5	2.6	10	6	60

(三) 不同溫度的水生成氣泡之分析

1、說明：藉由水箱內裝入不同溫度的水，比較氣泡之生成率。實驗測試時分別採用 15°C 左右的冷水與 40°C 左右的溫水。

2、結果：如表三發現，溫水的實驗氣泡出現較多、生成較容易，理想氣泡所出現的臨界值也隨之下降，可以說明溶液的表面張力也是影響氣泡生成之主要因素之一。

表三：不同溫度的氣泡出現統計

高度 cm	壓力 psi (kg/cm ²)	水滴間 隔(秒)	水箱水 深(cm)	水溫度 C		測試 次數	氣泡出 現次數		氣泡出現 率(%)	
				15.0	40.0		0	3	0	30
150	1	5	2.6	15.0	40.0	10	0	3	0	30
175	1	5	2.6	15.0	40.0	10	1	9	10	90
200	1	5	2.6	15.0	40.0	10	8	9	80	90
225	1	5	2.6	15.0	40.0	10	6	5	60	50
250	1	5	2.6	15.0	40.0	10	4	7	40	70

(四) 不同酸鹼值的水生成氣泡之分析

1、說明：實驗測試時對清水的 pH 值量測為 7.68；鹼性水的調製是清水加入碳酸氫鈉達飽和的狀態，其 pH 值量測約為 8.08；酸性水的調製則是利用氫氧化鈉和冰醋酸調配成醋酸緩衝溶液，其 pH 值量測約為 5.08。



圖六：清水 pH 值實測 圖七：醋酸(左)、碳酸氫鈉(右)

翻滾吧氣泡

2、結果：在實驗中，將室溫維持一定，氣泡生成的結果以醋酸緩衝溶液之結果最好，如表四，推論是醋酸緩衝液的表面張力比清水小，造成氣泡生成率提升。

表四：不同酸鹼值的氣泡出現統計

高度 cm	壓力 psi (kg/cm ²)	水滴間 隔(秒)	水箱水 深(cm)	pH 值		測試 次數	氣泡出 現次數		氣泡出現 率(%)	
150	1	5	2.6	8.08	5.08	10	0	0	0	0
175	1	5	2.6	8.08	5.08	10	0	0	0	0
200	1	5	2.6	8.08	5.08	10	2	8	20	80
225	1	5	2.6	8.08	5.08	10	0	8	0	80
250	1	5	2.6	8.08	5.08	10	1	2	10	20

(五) 測量各種溶液之表面張力

1、說明：實驗沒實際量測出清水與其他溶液的表面張力。藉由「表面張力測量新方法-連通管原理的再應用」(註二)實驗報告內容，以清水毛細管的高度差與其他溶液之間的毛細管高度差做比較，並以清水已知的表面張力數值為標準來概略推算出其他溶液彼此間表面張力大小的關係。「推導毛細管內液柱高度常見的一個方法，就是假設沿著液柱表面有張力作用」(蔡尚芳，2003)(註四)，「這種數學相等性在毛細現象中，到處都成立。」(艾岱姆遜，1988)(註五)。故以實驗測量各溶液毛細管液面高度差，並分析推算彼此間表面張力大小的關係。

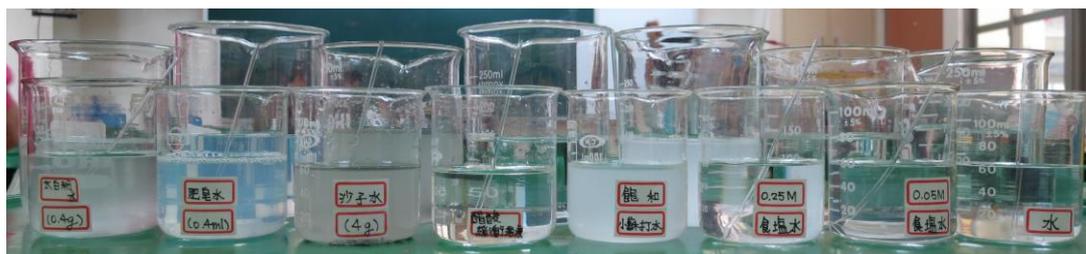
(1) 配置不同的溶液：不同濃度的食鹽水、飽和小蘇打水、醋酸緩衝溶液、裝有細沙子的水、太白粉加水、肥皂水，如表五。

(2) 每種溶液皆取 60ml 的量，做為測試的容量如圖八。

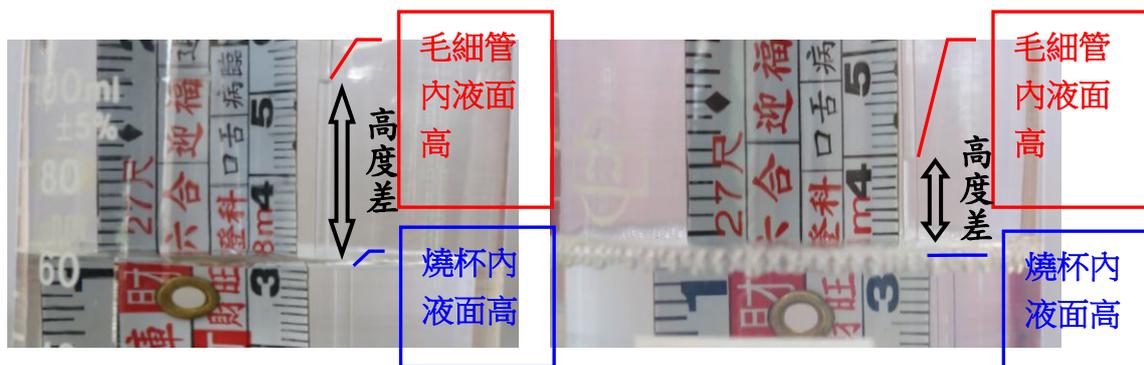
(3) 分別量測每種溶液的毛細管高度如圖九，並記錄、分析、與推算。

表五：添加物品及添加量

編號	名稱	添加物品	添加量	總混合量(ml)	備註
1	清水	無	無	200	純清水
2	食鹽水(0.05M)	食鹽	0.58g	200	食鹽量=分子量(58.3) × 莫耳數 × 體積(升)
3	食鹽水(0.25M)	食鹽	2.92g	200	
4	小蘇打水 (飽合)	碳酸氫納水	飽合	200	添加量至溶液飽和
5	醋酸緩衝溶液	醋酸、 氫氧化鈉	120ml+ 80ml	200	CH ₃ COOH(120ml)+ NaOH(80ml)
6	細砂水	細砂	4g	200	適量
7	肥皂水	沙拉脫	0.4ml	200	適量
8	太白粉水	太白粉	0.4g	200	適量



圖八



圖九：實測清水(左邊)、肥皂水(右邊)毛細管高度

2、結果：

(1)不同溶液毛細管高度測量結果，統計如表六。有關高度差的計算方式如下：

$$\text{高度差(cm)} = \text{毛細管內液面高(cm)} - \text{燒杯內液面高(cm)}$$

表六：不同溶液毛細管高度及高度差比較

編號	名稱	測試容量 (mL)	燒杯內液面高(cm)	毛細管內液面高(cm)	高度差 (cm)	高度差大小排序
1	清水	60	3	5.1	2.1	1
2	食鹽水(0.05M)	60	3	4.8	1.8	3
3	食鹽水(0.25M)	60	3	4.8	1.8	3
4	小蘇打水 (飽和)	60	3	4.3	1.3	4
5	醋酸緩衝溶液	60	3	4.2	1.2	5
6	細砂水	60	3	4.2	1.2	5
7	肥皂水	60	3	3.95	0.95	6
8	太白粉水	60	3	4.85	1.85	2

(2) 為便於分辨，將毛細管液面高度差相近的溶液做選擇，並參考前面實驗的結果，最後再以編號 1、3、4、7 的溶液重新編排比較。水的表面張力值約為 72.8 達因/公分(資料來源：維基百科。註六)，以此為基準，對應於清水的高度差，由前述公式(2)可概略推算出編號 1、3、4、7 溶液的 surface tension 如表七。

表七：不同溶液表面張力推算值比較

編號	名稱	高度差 (cm)	推算表面張力 (dyne/cm)	高度差 大小排序	表面張力 大小排序
1	清水	2.1	72.8(基準)	1	1
3	食鹽水(0.25M)	1.8	62.4	2	2
4	小蘇打水 (飽和)	1.3	45.1	3	3
7	肥皂水	0.95	32.9	4	4

(3) 實驗發現高度差與表面張力有正相關，高度差越大，表面張力越大。結果符合假設，肥皂水的表面張力最低與清水相比差了近一倍，故氣泡的生成較佳。

(六) 不同溶液生成氣泡之分析

1、說明：利用表七中所列的溶液來進行兩項探討與比對，分別是不同的表面張力的溶液對(1)氣泡生成難易的影響，及(2)生成的氣泡直徑大小之關係。

2、結果：

(1) 表八，溶液的表面張力越小，其氣泡的出現率越高，如肥皂水其表面張力最小，氣泡也最容易生成。故溶液的表面張力與氣泡的出現率是成反比的關係。

表八：不同表面張力溶液的氣泡出現統計

名稱	高度差 (cm)	推算表面張力 (dyne/cm)	測試 次數	氣泡出 現次數	氣泡出現 率(%)
清水	2.1	72.8(基準)	10	2	20
食鹽水(0.25M)	1.8	62.4	10	3	30
小蘇打水 (飽和)	1.3	45.1	10	4	40
肥皂水(沙拉脫 10mL)	0.95	32.9	10	10	100

(2) 表九，溶液的表面張力越大，氣泡的直徑越小，如清水的氣泡直徑最小，肥皂水的氣泡直徑大很多。可見溶液的表面張力是和氣泡直徑成反比的關係。

表九：不同表面張力溶液實驗的氣泡直徑比較

名稱	高度差(cm)	推算表面張 力(dyne/cm)	氣泡直徑(mm)	氣泡出現率 (%)
清水	2.1	72.8(基準)	7	20
食鹽水(0.25M)	1.8	62.4	17.5	30
小蘇打水 (飽和)	1.3	45.1	19.5	40
肥皂水(沙拉脫 10mL)	0.95	32.9	41.5	100

(七) 溶液表面張力與生成氣泡臨界值之關係分析

1、說明：由上述實驗證實表面張力越小，氣泡的生成率較高，因此將清水換成肥皂水進行實驗，利用二分逼近法找出肥皂水能夠生成氣泡之最小高度。

2、結果：表十，實驗結果顯示肥皂水的臨界值 112.5 cm < 清水的臨界值 186.75cm，由此可證實表面張力越小的溶液，其氣泡生成之臨界值會下降，表示表面張力越小，氣泡生成所需的水滴高度位置越低。

表十：肥皂水生成氣泡臨界值之數據結果比較

高度 cm	換算公式	測試次數	氣泡出現次數	氣泡出現率 (%)	與臨界值比較
150	-	10	9	9	高
100	-	10	0	0	低
125	$\frac{(100 + 150)}{2}$	10	0	0	高
112.5	$\frac{(100 + 125)}{2}$	10	6	60	大約位置

參●結論

一、落下水滴之動能與生成氣泡之間有何關聯性？

實驗中觀察到當水滴位置高度不到186.75公分時，形成氣泡的第一個步驟就和成功形成氣泡的情況不一樣，推想因為水滴的動能不夠，撞擊液面的凹洞不夠深、不夠大，所以飛濺起來的液體能量不足，也就無法產生氣泡。因此，設計實驗進行氣泡生成之臨界值數據分析，結果顯示水滴動能的確與產生氣泡有正相關，高度必須在186.75公分以上才有可能得到完整的氣泡。

二、溶液之表面張力與生成氣泡之間有何關聯性？

肥皂水因為表面張力較小之關係，所以會比清水容易產生泡泡，而且經由不同的調配比例還可以產生不同比例的大小泡泡，表示表面張力的確會影響氣泡的生成。在探討作用力與氣泡生成率之關係的實驗內容，理論上高度越高之水滴產生的氣泡數目應該要越多，但是實驗發現並不具有這樣的結果，可能是因為高度越高的氣泡體積也相對較大，所以表面張力太大的清水不容易生成大氣泡。在實驗六的數據中發現肥皂水中產生許多大泡泡，因此推論除了水滴作用力之外，溶液之表面張力也與生成氣泡有極大之關係。

三、綜整研究結果的發現，提出相關看法與觀點如下：

(一) 作用力及溶液水量的增加，有助於氣泡的生成。此外，發現水滴彼此間的

時間間隔太短，易受到溶液水面波的干擾，不利於氣泡穩定的生成；只要將時間間隔稍微增加，這個影響就不明顯了。

(二)「肥皂水因肥皂分子的作用，使得表面張力減小」(蕭淑美、邱秋娟、林伊慧，1998)(註七)，氣泡生成效果最好，與其含有介面活性劑，降低了溶液表面張力有關。經實驗及表面張力推算，結果也證實了肥皂水表面張力的確最小。

(三)各溶液的表面張力推算的結果，發現高度差與表面張力之間成正相關，也就是高度差越大，表面張力推算值也越大。

(四)實驗結果表面張力大小與氣泡的出現率高低是成負相關。也就是溶液的表面張力越大，其氣泡的出現率越低；反之，表面張力較小者，氣泡比較容易生成。

(五)溶液的表面張力大小與氣泡直徑大小成反比的關係。表面張力越大者，氣泡直徑較小的比率較高；而表面張力越小者，其生成的氣泡直徑較大者偏多。

(六)表面張力越小之溶液其水滴生成之氣泡臨界值越小。

(七)實驗限制：(1)水滴淨重的差異雖小但不是0。(2)清水的表面張力值是參考網路資料。(3)部分的實驗觀察，是以截圖方式分析比對，沒有精確的量化值。

四、未來展望：

從動能的公式($E_k=1/2mV^2$)發現水滴的質量與速度都和水滴的動能有關係，因此未來希望能夠，將固定管徑的銅管更改成不同尺寸藉以改變水滴質量，或者增加水滴之初速度，從中探討這兩種變因與氣泡生成率和氣泡臨界值之關係。

肆●引註資料

一、(註一)水滴氣泡生成(Donut-shaped Bubbles Formed by Raindrops)。2011年3月10日。YouTube影片分享網站。取自：

<https://www.youtube.com/watch?v=9KzKw8RkHr4>

二、(註二)林孟好、郭曉芮著。2008年。表面張力測量新方法-連通管原理的再應用。臺灣2008年國際科學展覽會。取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2008/pdf/140036.pdf>

三、(註三)高稚然、林純儀著。2011年。「彈」何容易—水珠的反彈。中華民國第51屆中小學科展作品。取自：

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/040112.pdf>

四、(註四)蔡尚芳。民92年4月。表面張力。科學教育月刊，第257期，21-30。

五、(註五)艾岱姆遜(Arthur W. Adamson)編著。陶雨台譯。民77年5月25日。表面物理化學。台北市：千華出版公司。

六、(註六)維基百科。2015年7月26日。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%A0%E5%8A%9B>

七、(註七)蕭淑美、邱秋娟、林伊慧責任編輯。1998年5月。科學真有趣(18)表面張力。新北市：錦繡文化企業。