中華民國第53屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　物理科

第三名

030115

漂浮液滴於液面上產生不連續性體積縮小的變化現象

學校名稱：臺中市立大雅國民中學

作者：	指導老師：
國二 張聖群 國二 邱泊昇	鐘文生

關鍵詞：漂浮液滴、體積縮小、不連續性

摘 要

水滴滴落液面的同時，水滴除了會產生漂浮之外，你是否可曾想到『水滴會產生至少兩次以上體積縮小的不連續現象』，如圖二。我們想知道，**為何液滴不是一次就被吸附進入液面？而是在吸附進入液面時，會產生這種多次不連續性體積縮小的變化現象。**我們實驗過程採用高速攝影機來觀察這個有趣的現象，實驗發現，液滴的表面張力、液滴滴落的高度、液滴體積的大小等，都會影響液滴是否產生這種不連續性的體積縮小現象。當表面張力越小，如酒精、洗碗精水等，液滴不僅會產生漂浮，而且在吸附進入液面時，產生至少兩次不連續性體積縮小的機率都達百分之百。而且，隨著液滴滴落高度的增加以及液滴體積越大時，產生至少兩次不連續性體積縮小的機率隨之下降。

壹、研究動機

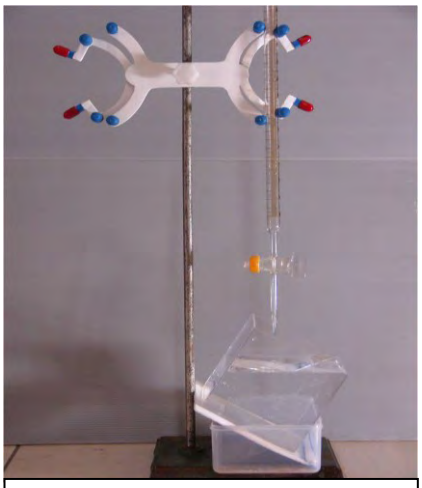
「水」是地球上生物所需的必需品，同時它也可以應用在很多地方，也可有許多出乎人意料之外的現象。為了尋找科展主題，我們在網路尋找有關水的影片以及相關科展作品，有關於水滴撞擊到液面之後，受到表面張力影響而產生漂浮的現象，受到我們的注意。然而在研究當中，其**表面張力較小的液滴，不僅會在液面上產生漂浮，而且會在液面上產生體積縮小的不連續性變化，這個現象極為特殊，查過相關文獻、歷屆全國科展作品以及國際科展優勝作品，都沒有這方面的探討與研究。**因此，我們開始了一連串的研究，期望可以得到解答。這個實驗並不容易進行，其液滴變化時間極為短暫，因此需要採用大量攝影的方式，然後處理大量的攝影檔，將影片切成圖片等等，這些過程都需要很多的時間及耐性。

貳、研究目的

一、研究液滴在液面上之變化過程。
二、研究液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「表面張力」的關係。
三、研究液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「液滴滴落高度」的關係。
四、研究液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「液滴大小」的關係。
五、研究液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「黏滯係數」的關係。
六、解釋液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象之物理機制。

參、研究設備及器材

一、滴定管及鐵架。
二、針筒、及數個不同開口大小的滴管。
三、一把 15cm 長度的鐵尺及方眼紙。
四、高速攝影機，每秒拍攝 300 張。
五、電腦一臺。
六、洗碗精水溶液、酒精、小蘇打水溶液、糖水食鹽水溶液、葡萄糖溶液等。



圖一、實驗裝置全圖。

七、實驗器材全圖如上頁圖一。

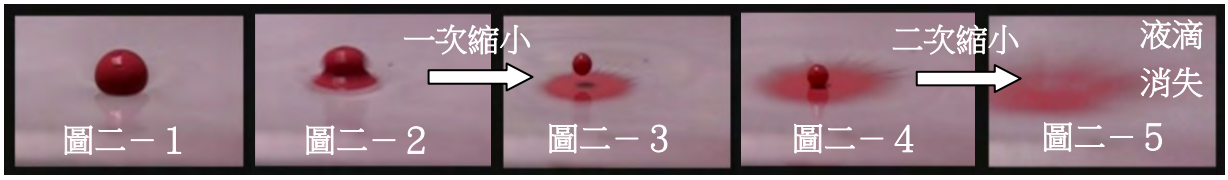
肆、研究過程或方法

一、名詞定義：

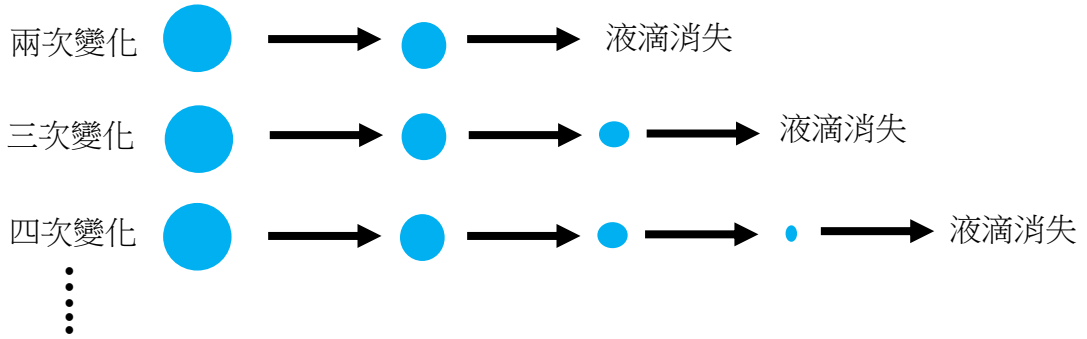
何謂：「液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象？」

如下圖二，我們可以很精確的看到水滴呈現階段不連續式的體積縮小變化，圖二－2至圖二－3之間發生一次，圖二－4至圖二－5之間發生第二次後液滴消失，發生這樣的過程，表示我們**實驗的液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象是成功的**，而且液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象共發生兩次。

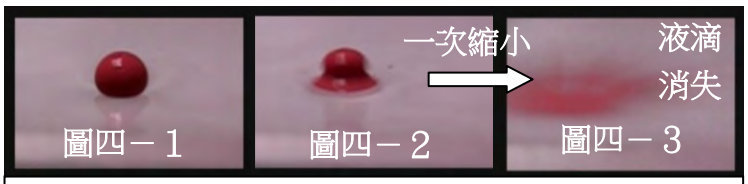
我們的實驗中，**液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象至少要發生兩次的變化過程，才可以算是成功**，如圖三之示意圖，否則就算失敗，如圖四的變化過程。



液滴成功於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象示意圖：



圖三、至少發生兩次體積縮小的變化過程，就可以算是成功產生體積縮小的不連續性變化現象。



只發生一次變化過程，即為不成功，所以不能算是成功產生體積縮小的不連續性變化現象。

二、文獻探討

1、表面張力：

自由存在的液體總使自己表面趨於球型。這是為甚麼呢?球有個特性：在同一體積下，球的表面積最小。這說明：液體有縮小表面積的傾向，促使此傾向的物理量稱為**「表面張力」**。表面張力的產生是因為液體分子對彼此會施加吸引力。當分子位於液體中央時，作用於分子的淨利為零；但若分子位居液體表面時，其餘分子會對其施加吸引力，使其往內拉。這就是為何液體傾向將其表面積縮成最小，就像拉開的膜一樣。

2、黏滯係數：

黏滯力是黏性液體內部的一種流動阻力，黏滯力主要來自分子間相互的吸引力。黏度較高的物質，比較不容易流動；而黏度較低的物質，比較容易流動。例如油的黏度較高，因此不容易流動；而水黏度較低，不但容易流動，倒水時還會出現水花，倒油時就不會出現類似的現象。在日常生活方面，黏滯像是「黏稠度」或「流體內的摩擦力」。因此，水是「稀薄」的，具有較低的黏滯力，而蜂蜜是「濃稠」的，具有較高的黏滯力。簡單地說，黏滯力越低（黏滯係數低）的流體，流動性越佳。

三、關於探討液滴漂浮的科展作品：

1、神奇的水珠－第四十七屆全國中小學科學展覽會(作者:高國峯)

此作品是在探討為何水滴會於液面中產生漂浮，而非直接沉入？他們假設水滴會浮起是因為靜電力的緣故，而並非表面張力。該作者認為此靜電力的來源主要是為水和管壁摩擦所造成的結果。

2、漂浮液珠－第四十九屆全國中小學科學展覽會

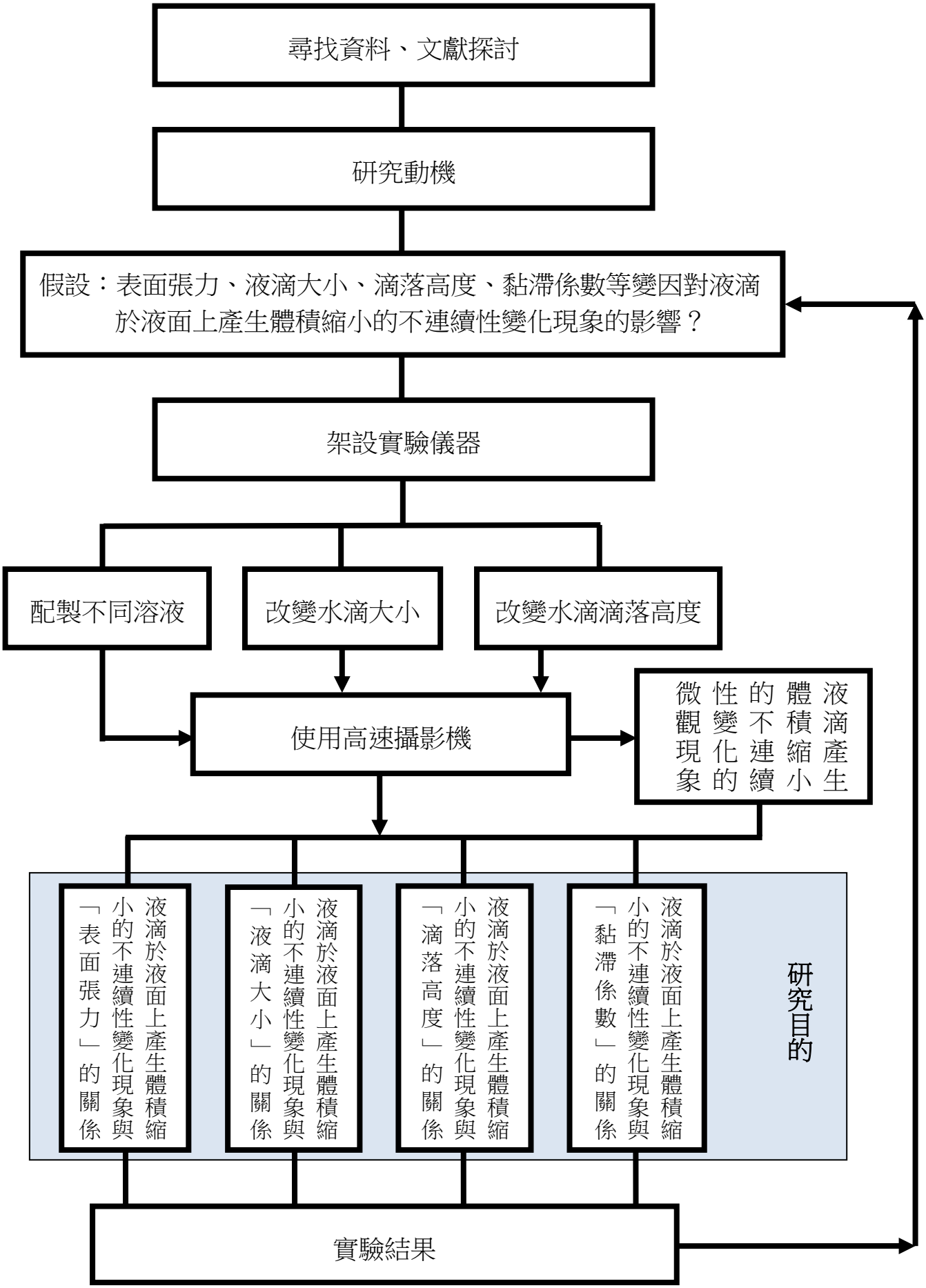
此作品探討液體在滴定時，會產生漂浮於液面的液珠，液面上的液珠會出現振盪、碰撞、互溶(水平及垂直)、撕裂分解的現象，透過實驗可驗證使液珠浮於液面的力確為液體與輸液管摩擦後所產生的靜電力。各項數據顯示靜電力大小與液體流速、輸液管長度、液溫高低及輸液管粗細息息相關且靜電力的產生與大小受溫濕度影響甚鉅。

3、會漂浮的水滴－第四十九屆全國中小學科學展覽會(作者:黃靖淳、張雯菁等)

此篇作品討論水滴大小、滴落的高度、液面振動與否以及表面張力大小等因素都會影響水滴是否會彈離液面的結果。該作品認為水滴會漂浮於液面的原因是因為空氣層與表面張力的關係，當水滴接近液面時，兩者之間會形成一層空氣薄膜，若再加上降低水滴和液面兩者的表面張力，水滴會變扁狀且液面較柔軟，容易形成凹槽而包覆更多的空氣，因而更不易發生黏合。

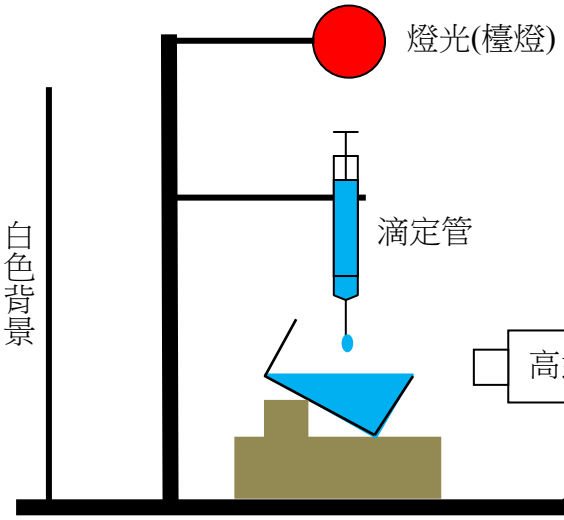
四、研究架構：

根據以上三篇科展作品，水滴產生漂浮不外乎是：水滴帶靜電而所產生的靜電力，以及表面張力較小的緣故。**然而水滴能夠飄浮並非為我們實驗的重點，我們不僅觀察到漂浮的現象，而且漂浮於液面上的液滴會產生體積縮小(至少兩次)的不連續性變化現象，才是我們研究的重點。**或許水滴為何能夠浮於水面上並彈跳與文章中所提到的靜電力有些關聯，但我們則是往表面張力及水溶液性質的方向來探討。我們研究架構如下：


尋找資料、文獻探討
研究動機
假設：表面張力、液滴大小、滴落高度、黏滯係數等變因對液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象的影響？
架設實驗儀器
配製不同溶液
改變水滴大小
改變水滴滴落高度
使用高速攝影機
液滴產生體積縮小的不連續性變化的微觀現象
研究目的
液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「表面張力」的關係
液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「液滴大小」的關係
液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「滴落高度」的關係
液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「黏滯係數」的關係
實驗結果

五、實驗步驟：

(一)、架設實驗儀器，實驗裝置圖如下圖五：



圖五、實驗裝置示意圖。

上方模擬圖為我們最主要的實驗器具，滴管(針筒)部份我們已腳架固定水滴滴落的高度與角度(90°)，滴落的容器呈現25°可方便高速攝影機拍攝聚焦；燈光來源則是為上方的檯燈，架設於上方可利於實驗拍攝的進行；最後使用每秒300張的高速攝影機來拍攝水滴的滴落情形。**由於液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化的停留時間非常短暫，為了百分百確定液滴產生體積縮小的不連續性變化，每次皆必須使用高速攝影機來拍攝，使用慢速播放來進行確認。**

(二)器材架設技巧及改良：

1、**避免容器干擾：**

由於拍攝液滴時若隔著一層玻璃(或塑膠)，將會受到此一層玻璃(或塑膠)的干擾，使得拍攝效果較差。因此，我們使**裝液體的容器傾斜**，再加上液體，此液體會高過容器，攝影機拍攝時就不會受到干擾，因此拍攝效果良好，如上圖五。

2、**使用滴定管來滴出液滴：**

因為，由手拿取滴管滴出液體時，手容易晃動，造成液滴滴落高度產生些許誤差。因此，我們採用化學酸鹼中和實驗會使用到的**滴定管**，架設在支架上，打開些許開關，使得液滴會約每隔5秒鐘滴一滴下來，也方便我們進行攝影及掌控時間。

3、**改變滴定管的出口大小：**

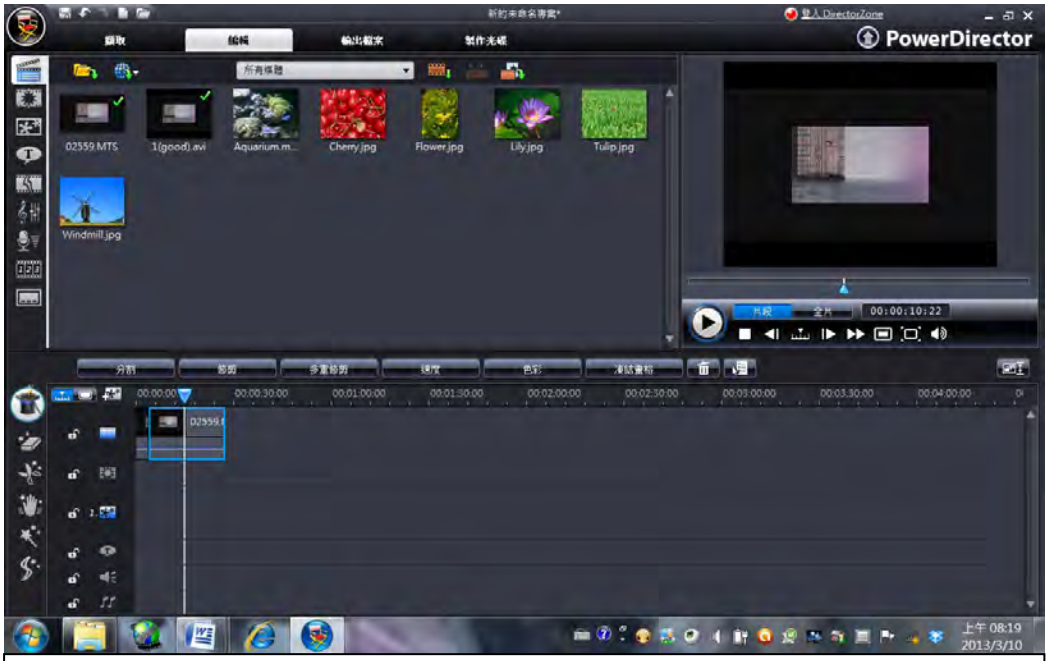
由於我們需製造不同體積大小的液滴，因此我們在滴定管的出口處套上一些空心塑膠管，這樣就可以改變液滴體積大小，如實驗一。

4、**攝影聚焦：**

由於我們是採用高速攝影，規格為300fps，加上購買的是較便宜的攝影機，其規格與解析度較低，所以如果沒有聚焦完全，將會使得影像模糊。因此，我們會將一把鐵尺架設在液滴掉落液面附近約2cm處，此處並不會干擾到液滴。

(三)、使用電腦軟體：

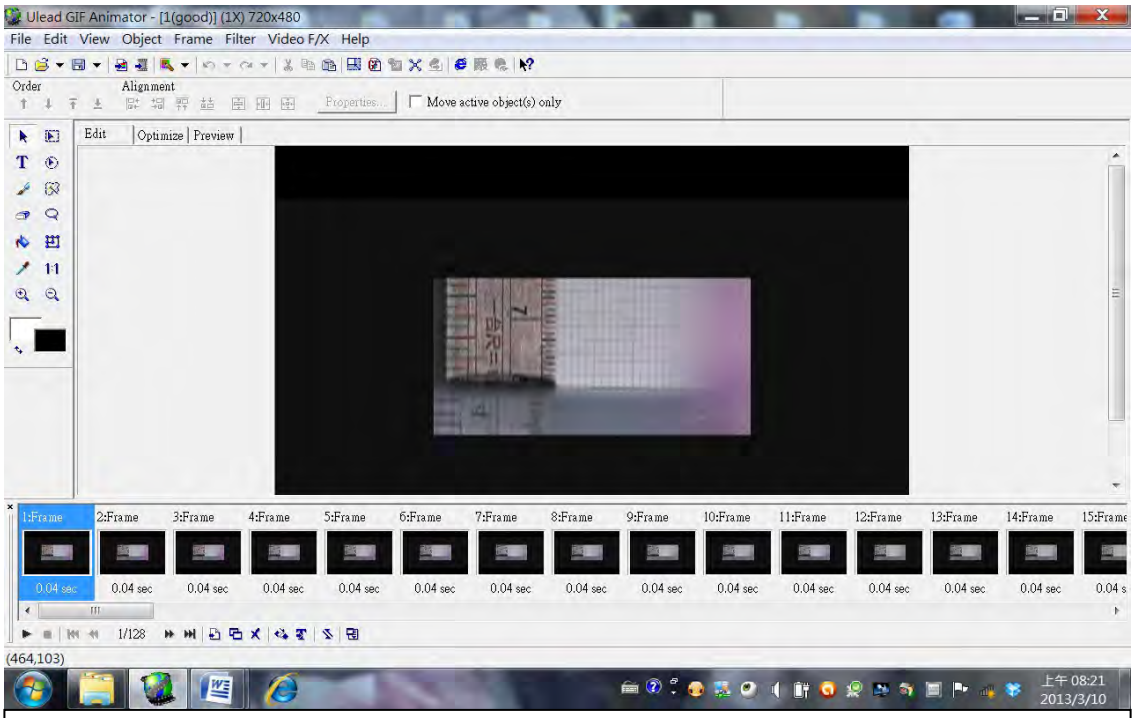
1、威力導演：



圖六、威力導演的畫面。

利用高速攝影機將液滴於液面產生體積縮小的不連續性變化現象拍攝下來，使用威力導演軟體將拍攝的影像分割，儲存變化瞬間的影像即可，檔案內容較小，方便儲存與處理。

2、Ulead GIF Animator 軟體

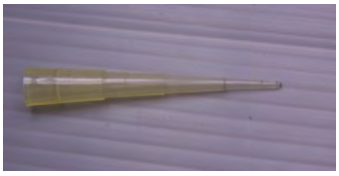
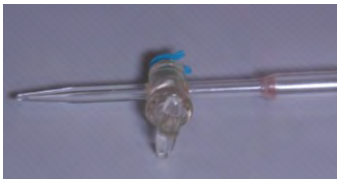
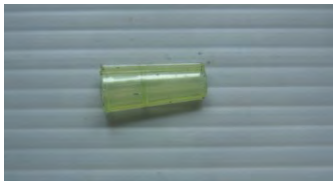


圖七、Ulead GIF Animator 軟體處理切檔的畫面。

將威力導演所分割出來的錄影影像，利用 Ulead GIF Animator 軟體分個成數個照片圖片檔，攝影模式為 300fps 時，該軟體可把每秒鐘的影片切割成 300 張照片。採用這麼麻煩的步驟，最主要是因為液滴體積的變化極為快速，停留時間即為短暫，所以，為了能夠精準的判斷－液滴是否成功於液面產生體積縮小的不連續性變化現象，我們就必須使用高速攝影機(規格 300fps)，為了確定發生縮小次數，更需使用 Ulead GIF Animator 軟體把攝影影片分割成數張照片，從照片中加以讀取。當發生體積縮小的不連續性變化現象至少兩次時，才是真正的發生，如圖三。

伍、研究結果

實驗一：製造不同體積大小的液滴

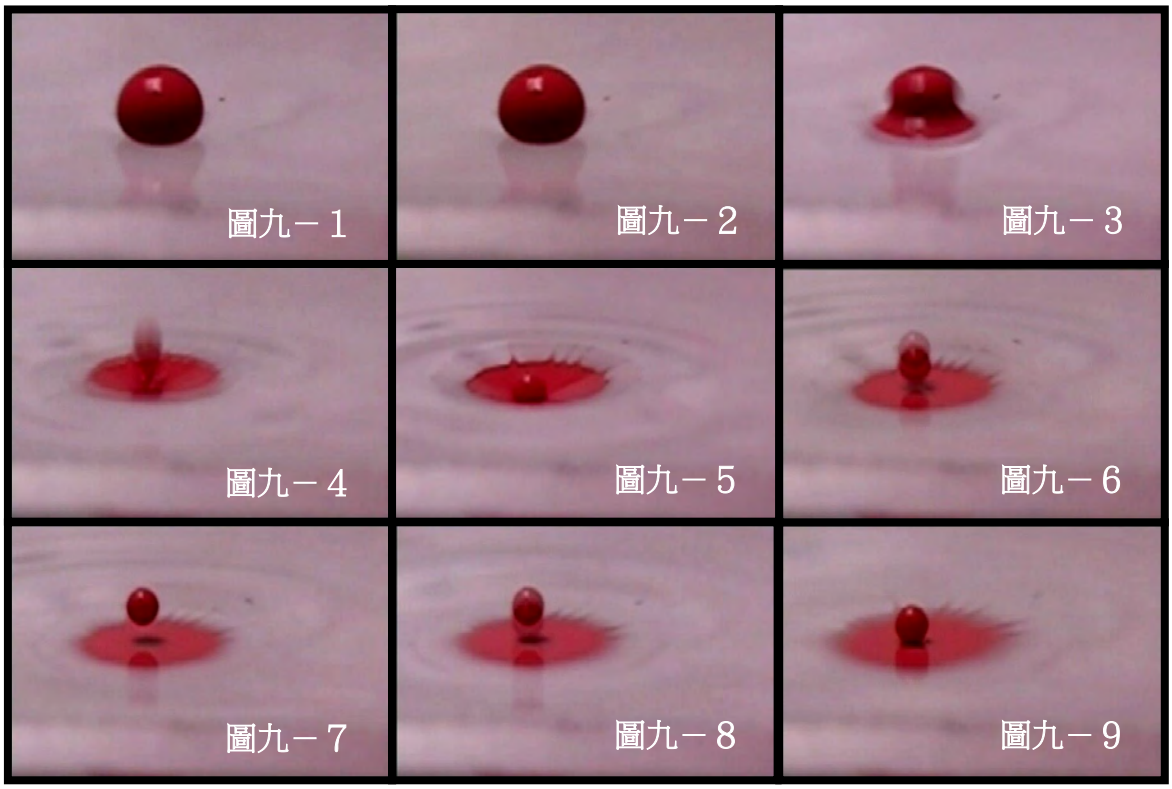
滴落器具	照片	滴落 100 顆液滴的總體積(ml)	平均一顆液滴的體積(ml)
塑膠管(小)		0.94	0.0094
滴定管		2.40	0.024
塑膠管(中，切過)		1.13	0.0113
塑膠管(大,反過來)		3.85	0.385
針頭		0.32	0.0032

實驗二：拍攝液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象

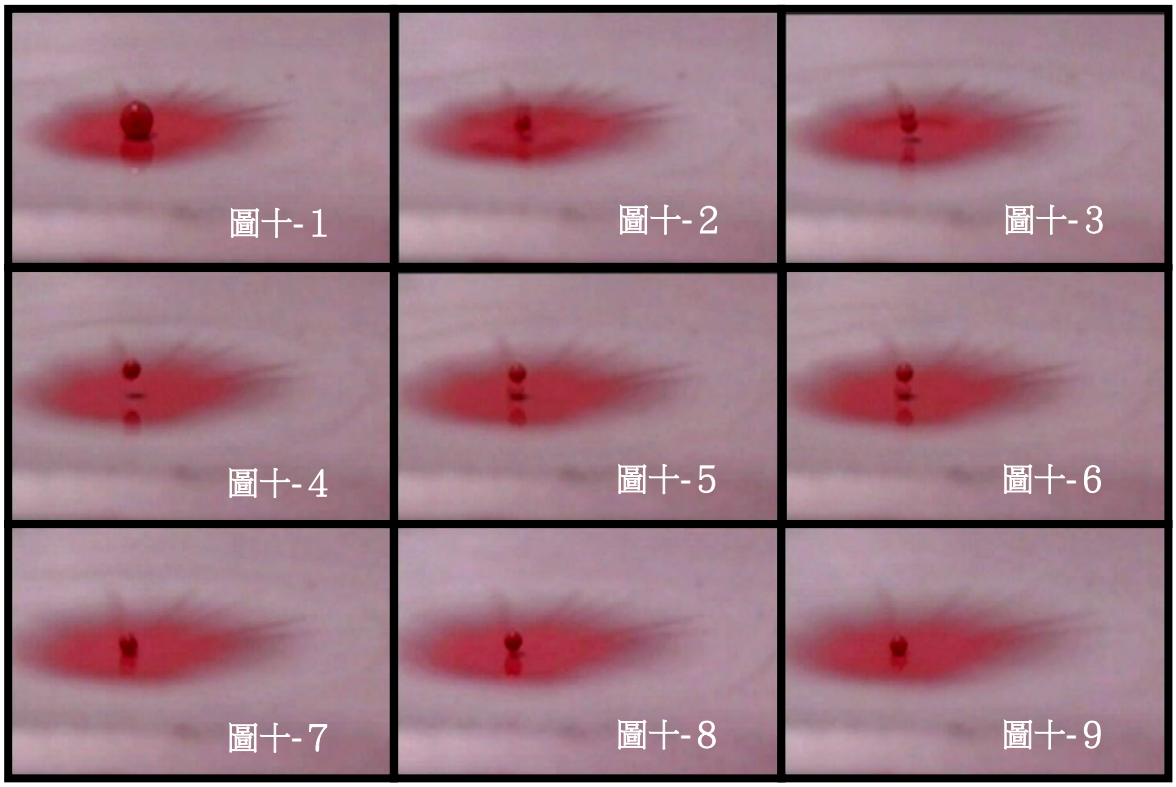
實驗條件：1、液滴成份為：5%的洗碗精水溶液；液面成份為：5%的洗碗精水溶液。

2、攝影機攝影模式：300fps，每兩張照片之間的時間間隔為：1 秒／300。

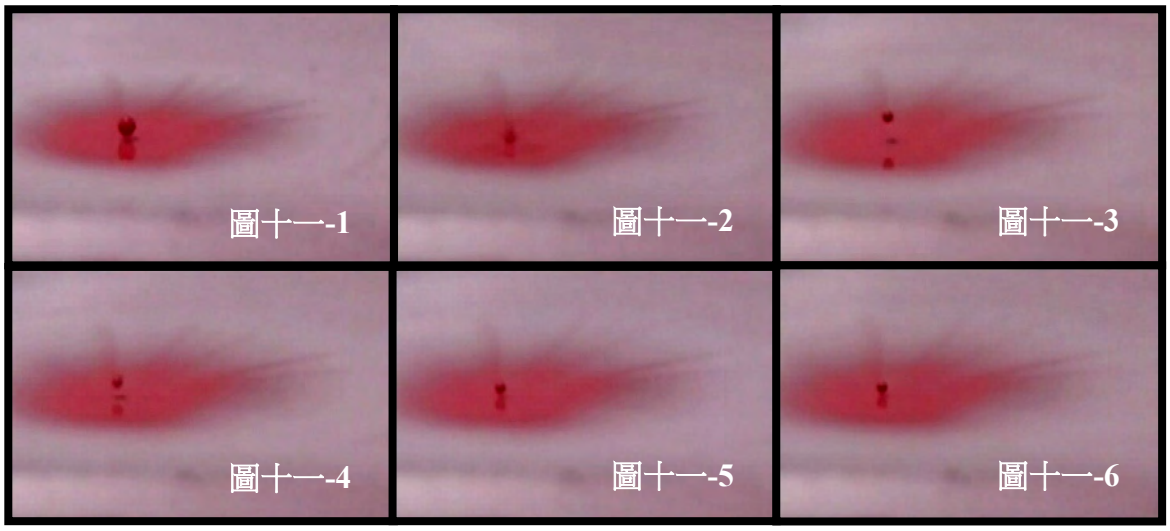
一、液滴於液面產生第一次體積縮小的不連續性變化現象



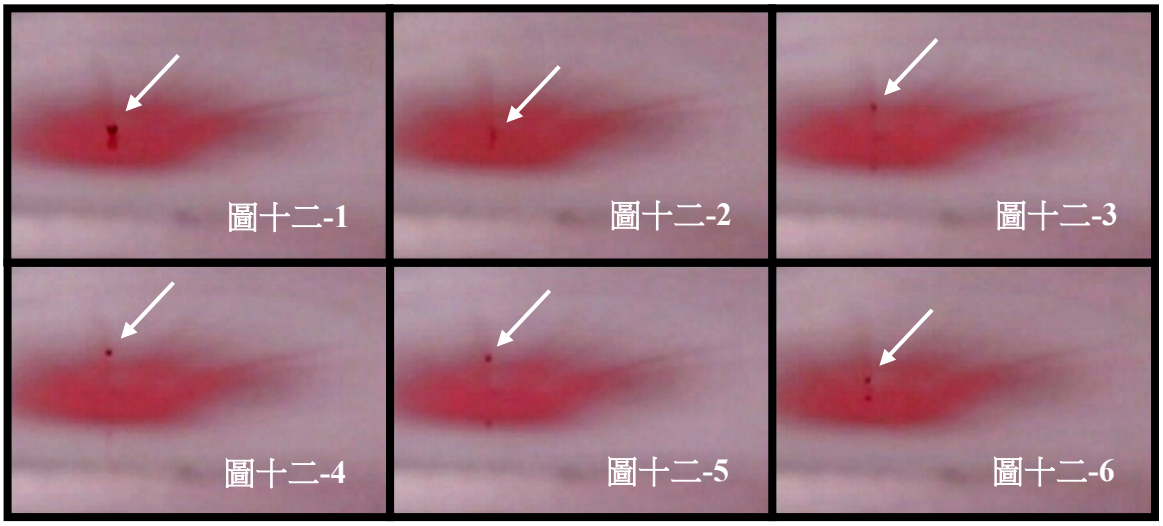
二、液滴於液面產生第二次體積縮小的不連續性變化現象



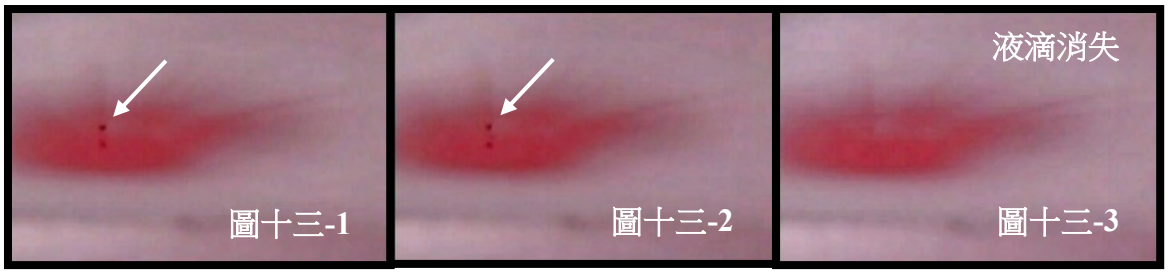
三、液滴於液面產生第三次體積縮小的不連續性變化現象



四、液滴於液面產生第四次體積縮小的不連續性變化現象



五、液滴於液面產生第五次體積縮小的不連續性變化現象



六、說明：

從圖片可以發現液滴產生體積縮小的不連續性變化現象時，會有以下的現象：

1、當液滴與液面兩者的表面張力較小時，液滴會在液面產生漂浮的現象。

2、漂浮液滴會被下方液面吸附，產生體積縮小，瞬間液滴下方會呈現出尖銳的圓錐形狀，如圖九－４。

3、在產生尖銳的圓椎狀後，水滴即回復成圓形狀，持續產生漂浮(未沉入水中)，且由於受到液面震盪的影響，而使得液滴產生跳動。如圖九－５～８。

4、紅色液滴受到液面的吸附時，並沒有一次就整顆被吸附進去，在此次的實驗中，液滴共發生**五次體積縮小**的現象後才消失不見。

5、由於液滴為紅色，所以液滴被液面吸附之後，液面變成圓型狀的紅色，而紅色液滴本身的顏色也維持不變。表示液滴被吸附的過程中，液滴並非由液面液體所再重新產出，而是原本的液滴留於水面上，彈跳後液滴仍有染劑的顏色，而且液面也呈紅色的狀態，就是最好的證明。

實驗三、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化與「表面張力」的關係(1)？

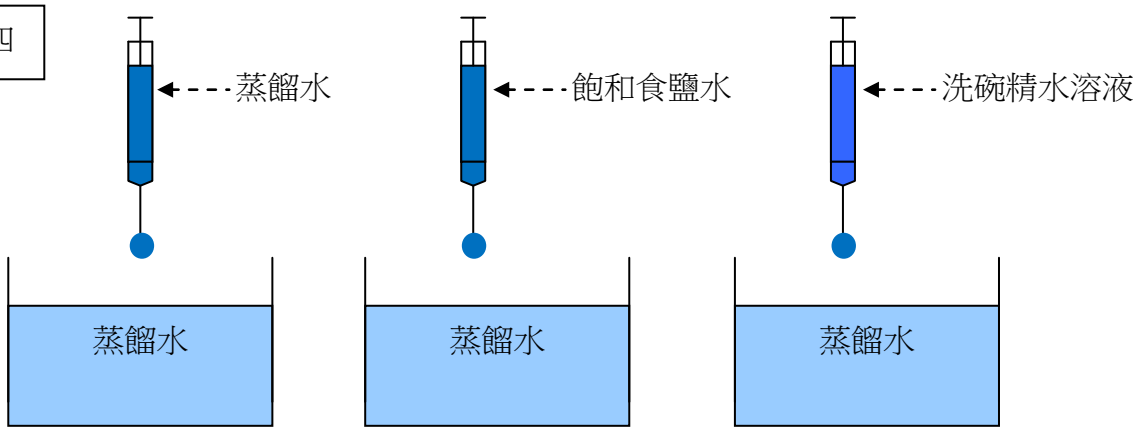
一、實驗條件：1、液滴的滴落高度皆為：1cm；滴落的液滴與液面為不同溶液成份。
2、攝影模式：300fps。　3、液滴大小：0.0032ml(由針筒所滴出來的)。

二、說明：

我們認為液滴能夠產生多次體積縮小的不連續性變化現象，最主要原因為表面張力。所以準備了三種不同表面張力的水溶液做為上方滴定的液滴成份：清水、飽和食鹽水溶液及 5%洗碗精水溶液，此為操縱變因。下方液面的皆採用蒸餾水，此為控制變因，如圖十四。

三種不同水溶液做為液滴時，實驗發現以**洗碗精水溶液**最容易成功，表示液滴能夠產生多次體積縮小的不連續性變化現象，與表面張力有關。另兩種水溶液的表面張力較高(清水與飽和食鹽水)，造成不會(或不容易)產生體積縮小的不連續性變化現象。

圖十四



成功與否 / 溶液種類	會漂浮並且產生兩次以上體積縮小	會漂浮但只產生一次體積縮小	不會漂浮(當然也不會出現體積縮小現象)
洗碗精水溶液	50	0	0
蒸餾水	1	48	1
食鹽水溶液	0	0	50

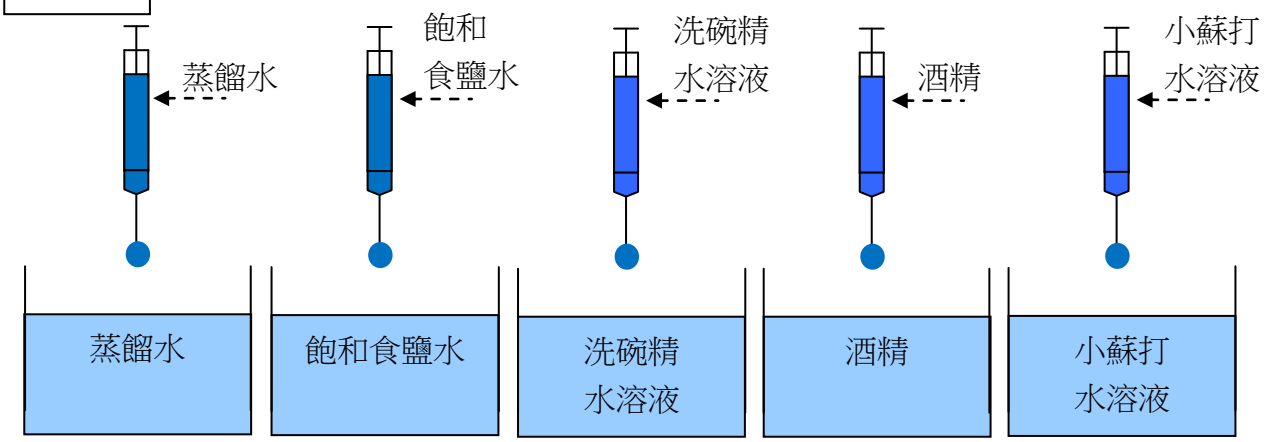
三、檢討：

此結果雖符合預期，不過實驗裝置有一個變因沒有控制好，就是下方燒杯所裝的清水，其液體成份會因為上方液滴滴落的多寡而受到影響。比如說：洗碗精水溶液一直滴落到下方的清水後，下方清水的成份就會變成洗碗精水溶液的成份，所以，我們的實驗結果的可信度有待商榷。為了改進，我們進行實驗四。

實驗四、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化與「表面張力」的關係(2)？

一、實驗條件：1、液滴的滴落高度皆為：1cm；滴落的液滴與液面皆為相同溶液成份。
2、攝影模式：300fps。實驗裝置如下圖十五。

圖十五



二、實驗結果：

	會漂浮並且產生兩次以上體積縮小	會漂浮但只產生一次體積縮小	不會漂浮(當然也不會出現體積縮小現象)	產生至少 2 次體積縮小的不連續性變化之機率
蒸餾水	1	48	1	2%
飽和食鹽水	0	0	50	0%
5%洗碗精	**50**	0	0	100%
20%洗碗精	**50**	0	0	100%
99.5%酒精	50	0	0	100%
丙酮	0	50	0	0%
飽和小蘇打	0	0	50	0%

二、實驗發現：

我們發現液滴能夠產生多次體積縮小的不連續性變化現象，都是表面張力較小的液體 5%洗碗精、20%洗碗精及酒精。所以，從實驗三、四中可以很清楚得知，液滴能夠產生多次體積縮小的不連續性變化現象與表面張力大小有關。

實驗五、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化與液滴滴落高度的關係。

一、實驗條件：1、液滴成份為 5%的洗碗精水溶液。

2、下方液面成份為 5%的洗碗精水溶液。

3、液滴大小：0.0032ml(由針筒所滴出來的)。

二、說明：

在**實驗四**中，發現是以洗碗精水溶液最容易產生兩次以上體積縮小的不連續變化，所以我們此**實驗五**當中，我們決定以 **5%的洗碗精水溶液**來進行測量高度的實驗。

三、實驗結果：

液滴滴落高度 產生至少 2 次 體積縮小變化的次數	0.3	0.5	1	1.3	1.5	2
第 1 次(連續滴 20 滴)	19	20	20	20	20	20
第 2 次(連續滴 20 滴)	20	20	20	20	20	20
第 3 次(連續滴 20 滴)	20	20	20	20	20	20
第 4 次(連續滴 20 滴)	20	20	20	20	19	19
第 5 次(連續滴 20 滴)	20	20	20	20	20	20
總計產生至少 2 次體積縮小變化的次數(共滴 100 滴)	99	100	100	100	99	99
總計產生至少 2 次體積縮小變化的機率	99%	100%	100%	100%	99%	99%

液滴滴落高度 產生至少 2 次 體積縮小變化的次數	2.3	2.5	3	3.3	3.5	4
第 1 次(連續滴 20 滴)	18	17	13	0	0	0
第 2 次(連續滴 20 滴)	18	15	11	0	0	0
第 3 次(連續滴 20 滴)	13	18	17	0	0	0
第 4 次(連續滴 20 滴)	19	18	14	1	0	0
第 5 次(連續滴 20 滴)	18	12	11	0	0	0
總計產生至少 2 次體積縮小變化的次數(共滴 100 滴)	86	80	66	1	0	0
總計產生至少 2 次體積縮小變化的機率	86%	80%	66%	1%	0%	0%

五、實驗發現：

1、當滴落液滴距離液面小於 0.3cm 時，液滴不易觀察與控制。

2、隨著液滴滴落高度的增加，其產生至少兩次體積縮小變化的機率隨之下降。

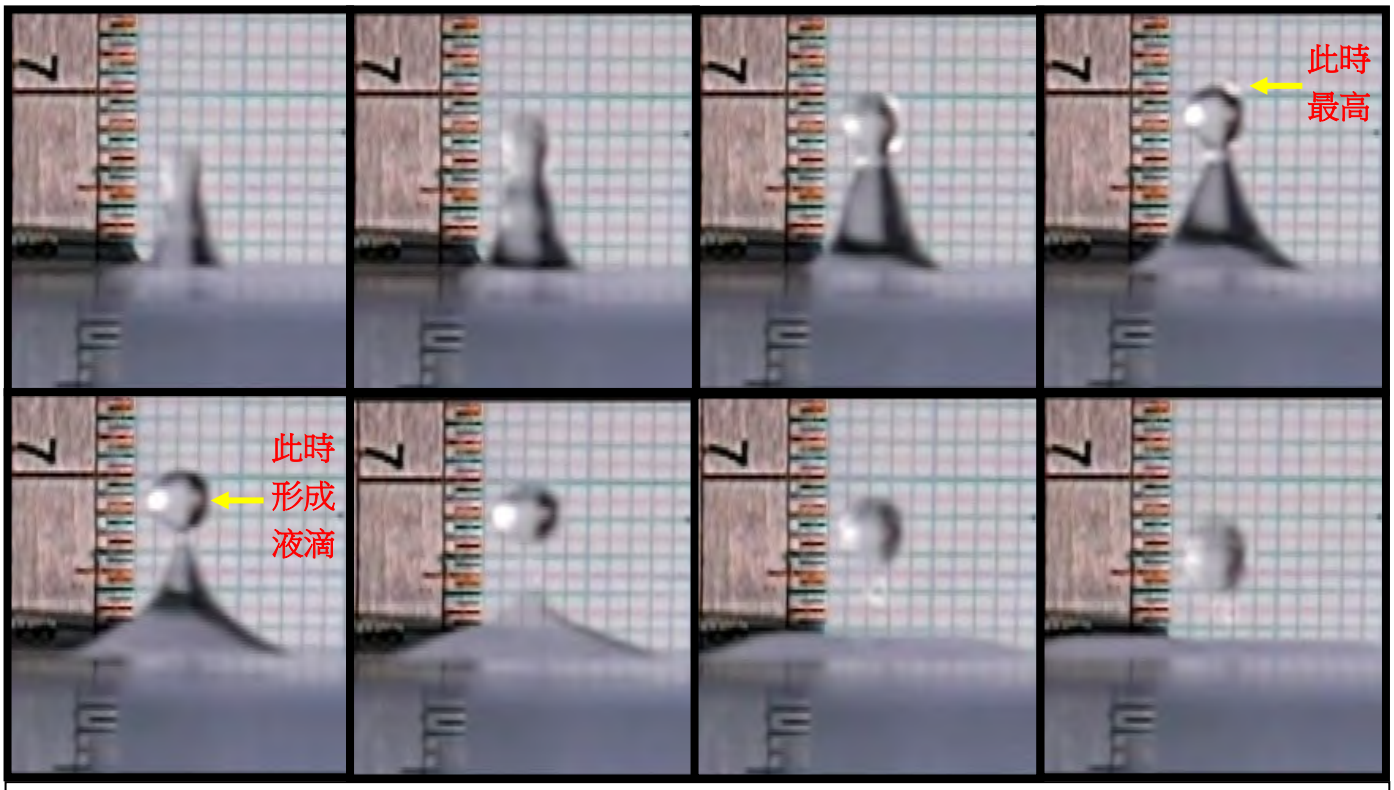
3、當液滴滴落高度大於 3cm 時，其產生至少兩次體積縮小變化的機率為零。

4、此實驗可以證明：液滴於液面上產生至少兩次體積縮小變化的的不連續變化與滴落高度有關。

六、檢討：

我們發現當液滴滴落高度越來越高時，我們發現液面會產生彈跳並形成柱狀體，如下圖十六，當滴落高度到達 10cm 時，液體所形成的柱狀體的上方會形成一顆圓形液滴，之後再掉落液面。如果液滴與液面是採用表面張力較小的洗碗精水溶液時，其在柱狀體上方形成的圓形液滴在掉落液面後，會產生漂浮於液面上的狀況。所以，**我們假設：柱狀體上方形成的圓形液滴，其高度如果是小於 3cm 時，一定也是會產生漂浮，而且我們假設會產生至少兩次體積縮小變化的的不連續變化現象**。

因此，我們進行實驗六的實驗，就是探討：**液滴第一次從 10cm 以上高度掉落時，下方液面受到撞擊而產生彈跳並形成柱狀液體，其柱狀液體上方會形成一顆圓形液滴，當此圓形液滴的掉落高度如果是小於 3cm 時，是否也會產生至少兩次體積縮小變化的的不連續變化現象**？



圖十六、液滴滴落高度為 10cm，液柱高度 1.03cm，液滴直徑為 0.32cm。每張照片間隔 1 秒/300。

實驗六、實驗五的延伸，探討圖十六之柱狀液體所形成液滴是否也會產生體積縮小的不連續性變化現象？

一、實驗條件：1、液滴成份為 5%的洗碗精水溶液。

2、下方液面成份為 5%的洗碗精水溶液。

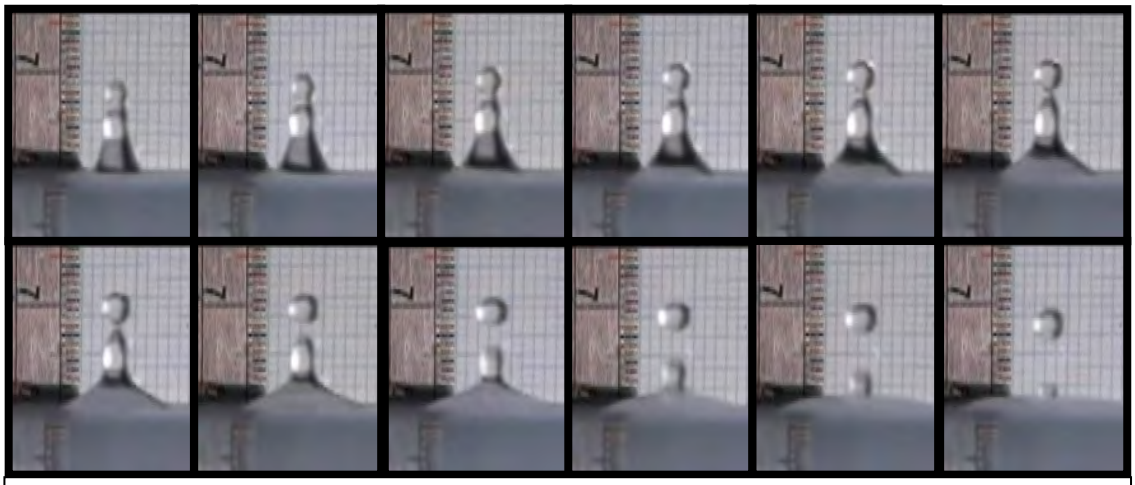
3、液滴大小：0.0032ml(由針筒所滴出來的)。

二、實驗結果：

液滴第一次滴落高度	液滴撞擊液面後形成柱狀液體，其上方所形成<u>液滴距離液面高度？</u>		液滴撞擊液面後形成柱狀液體，其上方所<u>形成液滴的直徑？</u>	其柱狀液體所形成液滴<u>是否也會</u>產生體積縮小的不連續性變化現象？	
10cm	第一次	1.02cm	0.30cm	第一次	是
	第二次	0.96cm	0.32cm	第二次	是
	第三次	1.00cm	0.33cm	第三次	是
11cm	第一次	1.15cm	0.28cm	第一次	是
	第二次	1.12cm	0.27cm	第二次	是
	第三次	1.20cm	0.27cm	第三次	是
15cm	第一次	2.33cm	0.21cm	第一次	是
	第二次	2.21cm	0.24cm	第二次	是
	第三次	2.18cm	0.25cm	第三次	是
20cm	第一次	1.89cm	0.27cm	第一次	是
	第二次	1.92cm	0.29cm	第二次	是
	第三次	1.81cm	0.25cm	第三次	是
25cm	第一次	1.71cm	0.34cm	第一次	否
	第二次	1.78cm	0.38cm	第二次	否
	第三次	1.73cm	0.39cm	第三次	否

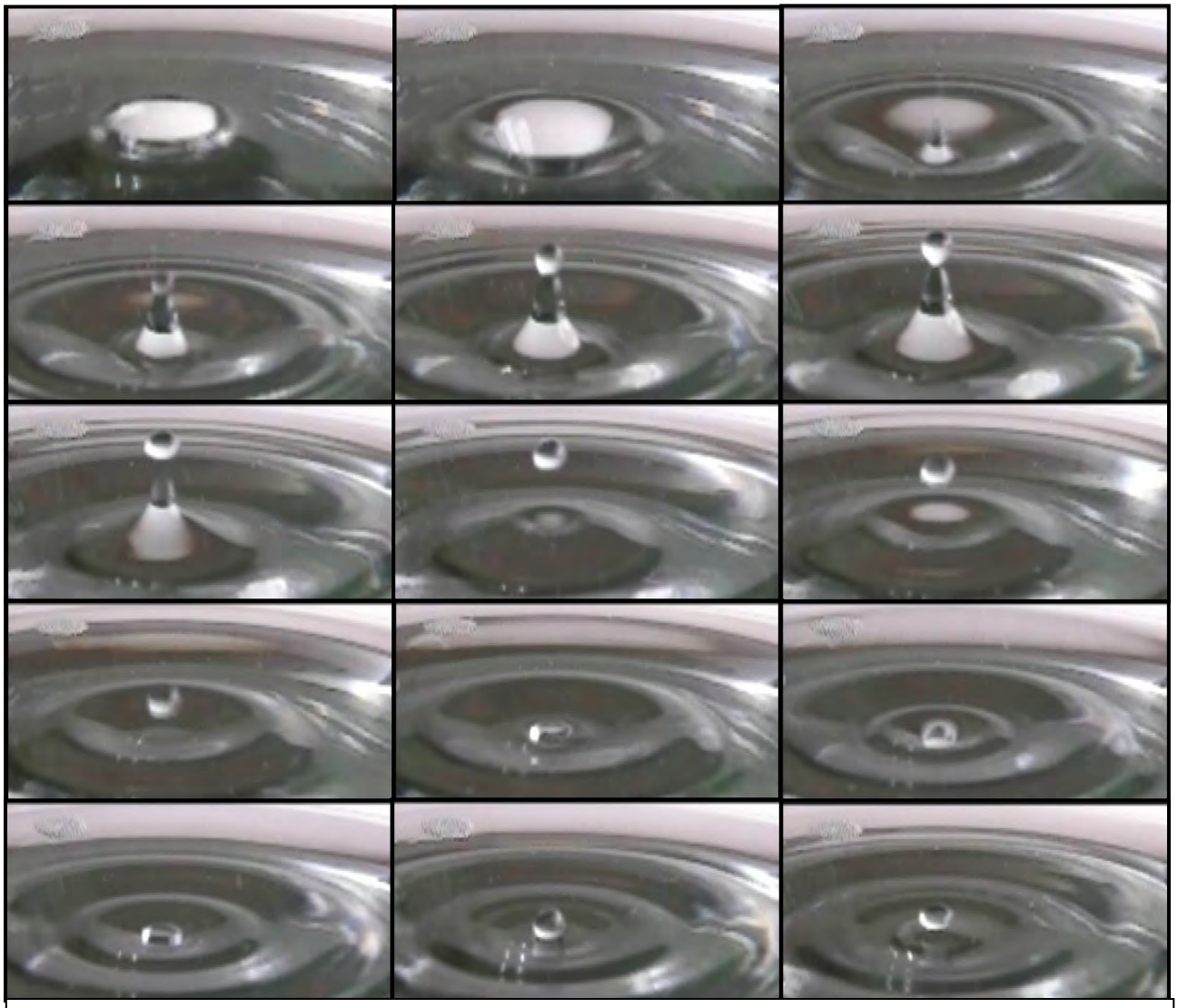
三、實驗照片：

1、側拍：可以得知液柱彈出液面的高度及液滴體積大小。

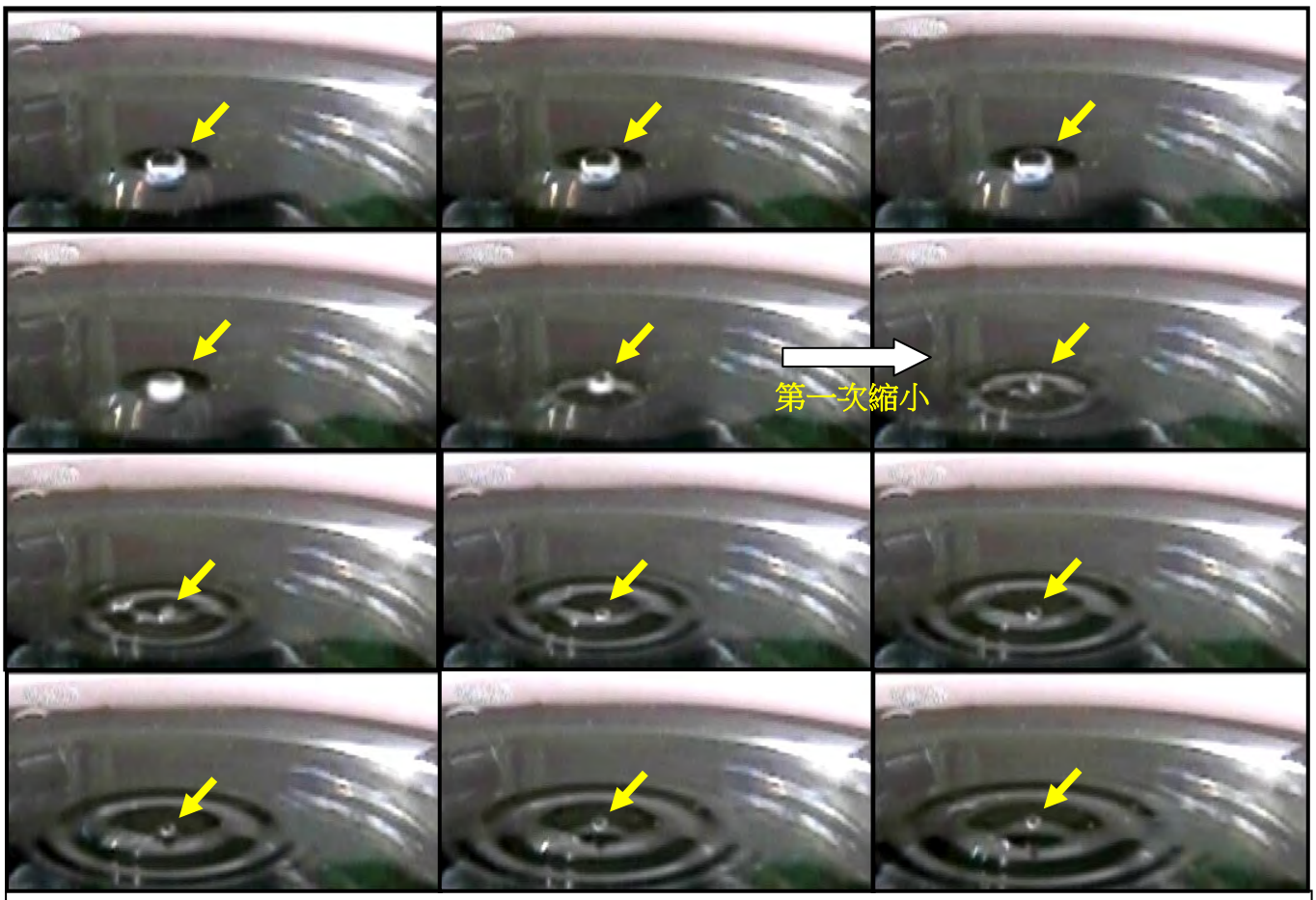


圖十七、液滴滴落高度為 11cm，液柱高度 1.15cm，液滴直徑為 0.28cm。
每張照片間隔 1 秒/300。

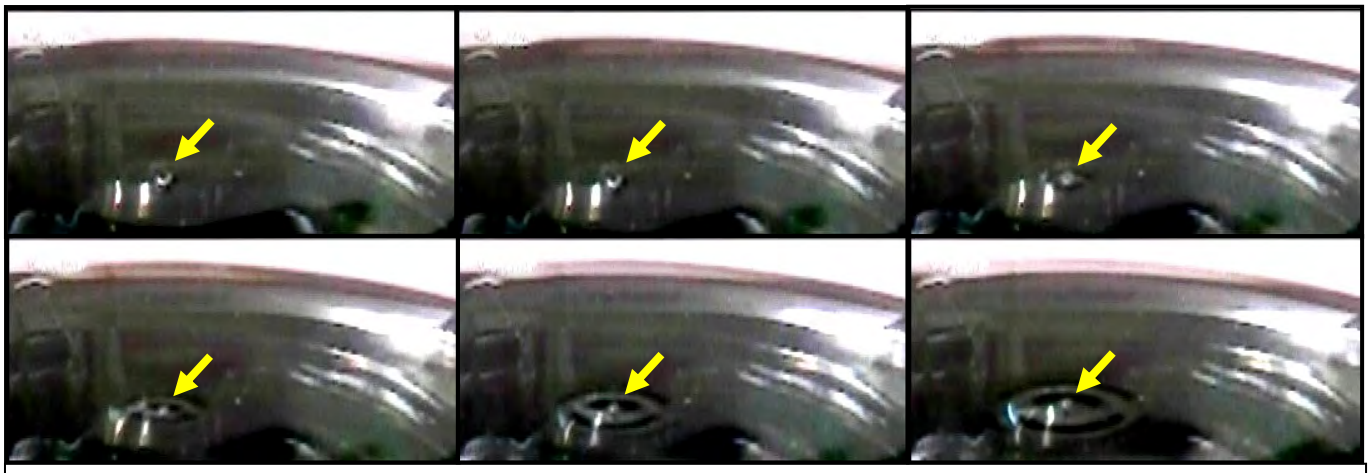
2、稍微俯拍：可以得知從液柱分開後的液滴是否產生體積縮小的不連續性變化。



圖十八、液滴撞擊液面後分離液滴產生漂浮。液滴滴落高度為 11cm，每張照片間隔 1 秒/100。



圖十九、液滴第一次體積縮小。液滴滴落高度為 11cm，每張照片間隔 1 秒/300。



圖二十、液滴第二次產生體積縮小。液滴滴落高度為 11cm，每張照片間隔 1 秒/300。

圖二十一、液滴第三次產生體積縮小而後消失。液滴滴落高度為 11cm，每張照片間隔 1 秒/100。

四、實驗發現：

1、照理說，液滴滴落高度越高，液柱彈出液面的高度會比較高，但是，從實驗的結果來看，發現滴落高度在 10~15cm 之間時，液柱的彈出高度的確隨著滴落高度增加而增加。可是，15~25 cm 之間，液柱的彈出高度卻是隨著滴落高度增加而減少。

2、我們仔細測量脫離液柱的液滴直徑大小，發現，脫離液柱的液滴直徑大小會改變。

3、本來想製造一個液柱高於 3cm 的狀況，但無法辦到。

4、不過，由實驗可以發現，當液滴撞擊液面後形成柱狀液體，其上方所形成**液滴距離液面高度在 2.33cm 以內時，都可以造成漂浮，而且都可以產生至少兩次體積縮小的不連續性變化現象。**

五、檢討：

我們發現液滴撞擊液面後會形成柱狀液體，但其上方所形成液滴的大小，我們並無法操控成每一次都一樣。因此，就會產生一個問題，就是：**液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化是否會受到「液滴體積大小」的影響？**因此，我們進行實驗七的探討。

實驗七、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化與「液滴大小」的關係。

一、實驗結果：

體積 ml	成功次數 (滴 20 次)	成功機率 (滴 20 次)	縮小次數							總縮小次數	平均縮小次數
0.0032ml 針頭(小)	19 次	19/20 = 95%	4	4	3	3	3	3	3	63	63/20 =3.15
			3	3	3	3	3	5	3		
			4	3	3	4	3	0			
0.0113ml 塑膠管 (中)	5 次	5/20 = 25%	0	0	0	0	4	4	2	18	18/20 =0.9
			0	0	0	0	0	4	0		
			0	0	0	0	4	0			
0.024ml 滴定管	0 次	0/20 = 0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0	0		
			0	0	0	0	0	0			

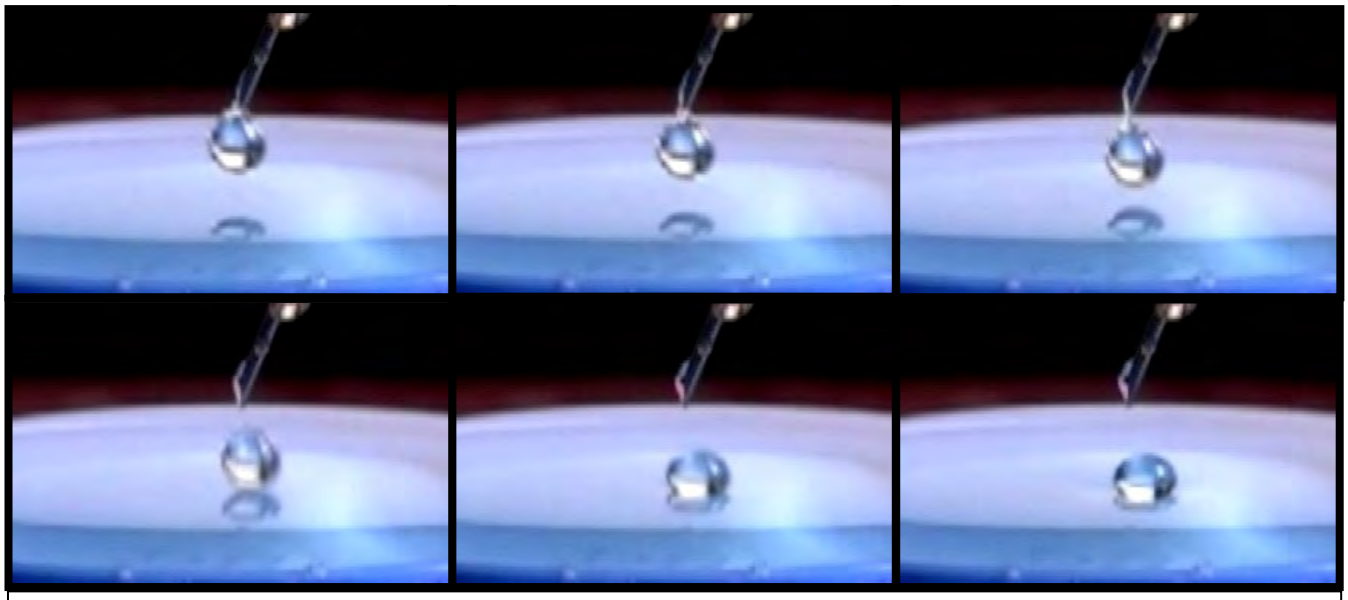
二、實驗發現：

當體積愈大時，則水滴體積縮小的次數愈不容易成功。

實驗八、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化與「黏滯係數」的關係。

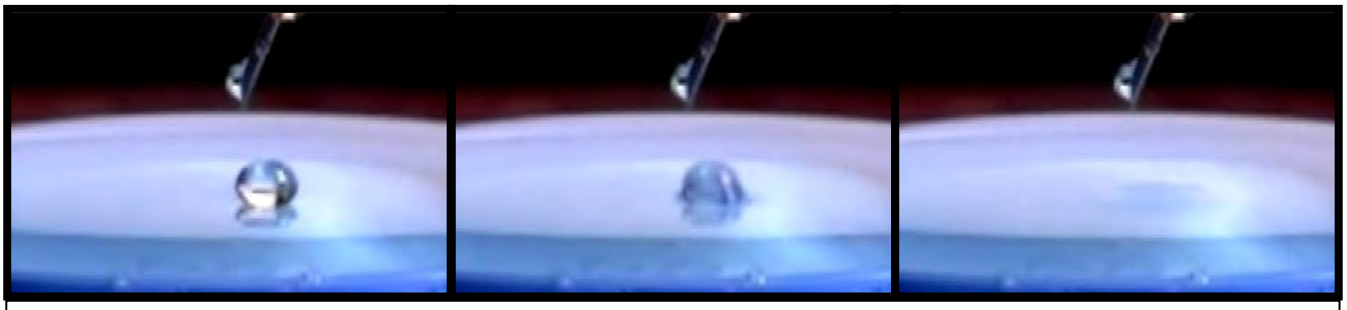
一、沙拉油：

1、沙拉油液滴滴落到沙拉油液面後，產生漂浮的照片：



圖二十二、液滴與液面皆為沙拉油，沙拉油液滴可產生漂浮，每張照片間隔 1 秒/300。

2、沙拉油液滴滴落到沙拉油液面後，液滴產生體積縮小時的瞬間照片：



圖二十三、液滴第一次產生體積縮小，之後即消失不見，每張照片間隔 1 秒/300。

3、沙拉油液滴產生至少兩次體積縮小的機率：

液滴滴落高度 產生至少 2 次 體積縮小變化的機率	0.3	0.5	1	1.5	2
滴 20 滴	0%	0%	0%	0%	0%

二、糖水液滴產生至少兩次體積縮小的機率：

糖水濃度 產生至少 2 次 體積縮小變化的機率	12%	25%	50%	75%
滴 20 滴	0%	0%	0%	0%

三、檢討：

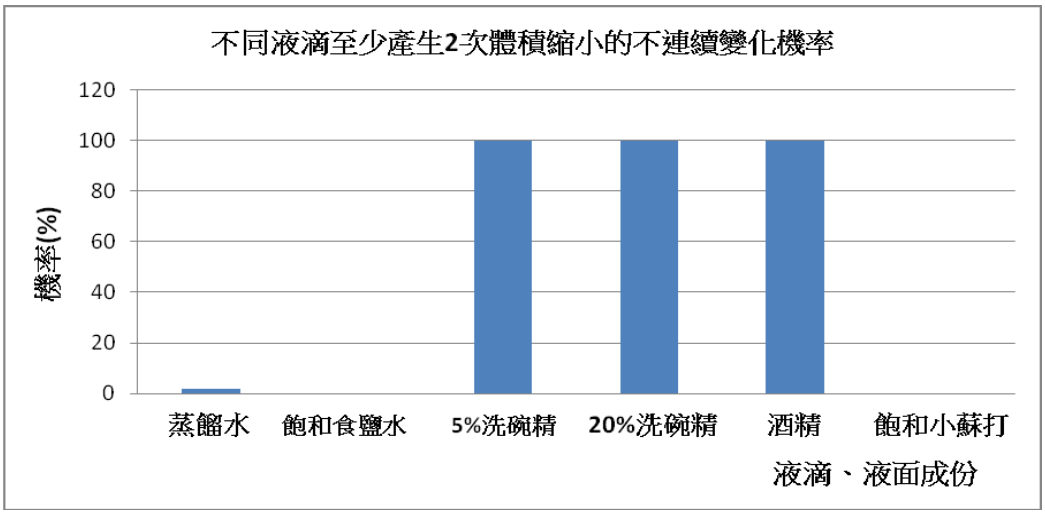
糖水溶液的表面張力並不確定，未來，我們期望設計一個測表面張力的實驗儀器，再大量採用液體來交錯滴定實驗，實際能得出表面張力與產生多次體積縮小的不連續性變化現象之間的關聯。

陸、討論與分析

討論一、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「表面張力」的關係。

從實驗三、四中可知，表面張力較小的液體：5%洗碗精、20%洗碗精，其液滴都能夠產生多次體積縮小的不連續性變化現象，而且機率達百分之百，而表面張力較大的液體則機率為零。但如果是飽和食鹽水或蒸餾水等表面張力較高的水溶液，則較不容易成功，其原因推測為：兩者的表面張力若差越多，則較容易成功。

我們也發現，表面張力較大的液體，本身就不容易產生漂浮，即使產生漂浮，之後都是一次就被吸附進入液面，而非產生多次體積縮小的變化。我們認為，這很像吹泡泡的原理，表面張力較小的液體才容易產生泡泡，表面張力較大的液體則在吹泡泡時就會破掉。所以，同樣的狀況，我們實驗滴出表面張力較小的液滴，在吸附進入液面的當時，其吸附力較小，液滴容易再次聚集成一顆小液滴。

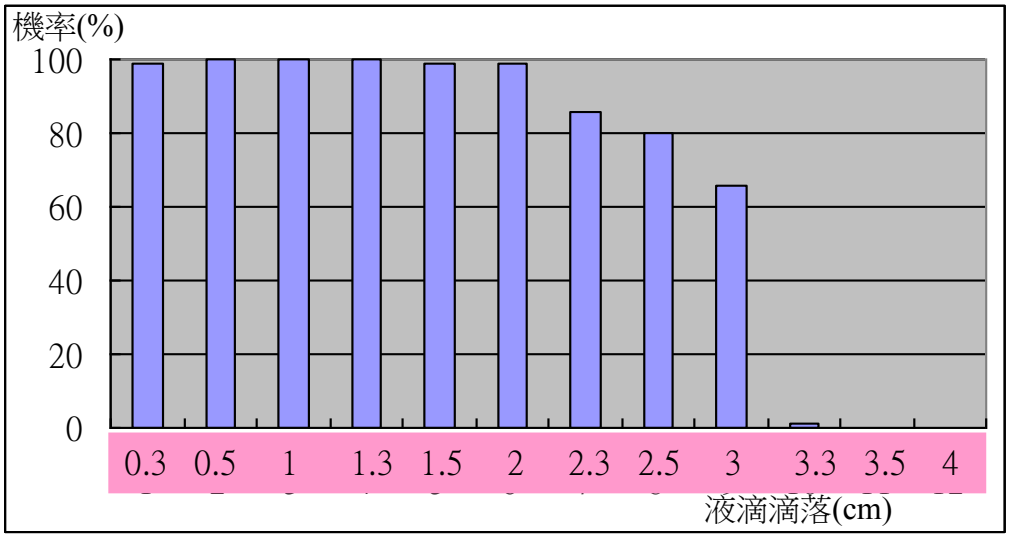


圖二十四、產生體積縮小的不連續性變化現象與液滴成份的關係

總結來說，要發生多次體積縮小的不連續性變化現象，首先條件就是滴落液滴與液面液體成份的表面張力皆要小。但如果其中一方的表面張力較大，另一方的表面張力較小，則上方滴落的液滴表面張力必須小於下方液體的表面張力時，則產生多次體積縮小的不連續性變化現象的機率較高。

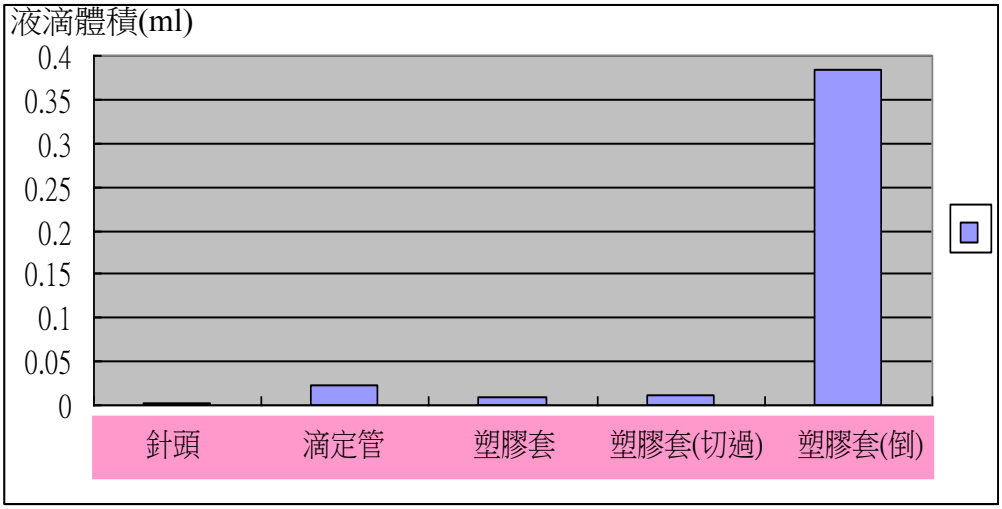
討論二、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「液滴滴落高度」的關係。

從實驗五中，可以得知體積縮小的不連續性變化現象與「液滴滴落高度」的關係，實驗發現，液滴掉落高度越高，則發生體積縮小的不連續性變化機率隨之降低，當滴落高度達 3.3 公分時，機率掉到幾乎為零%。

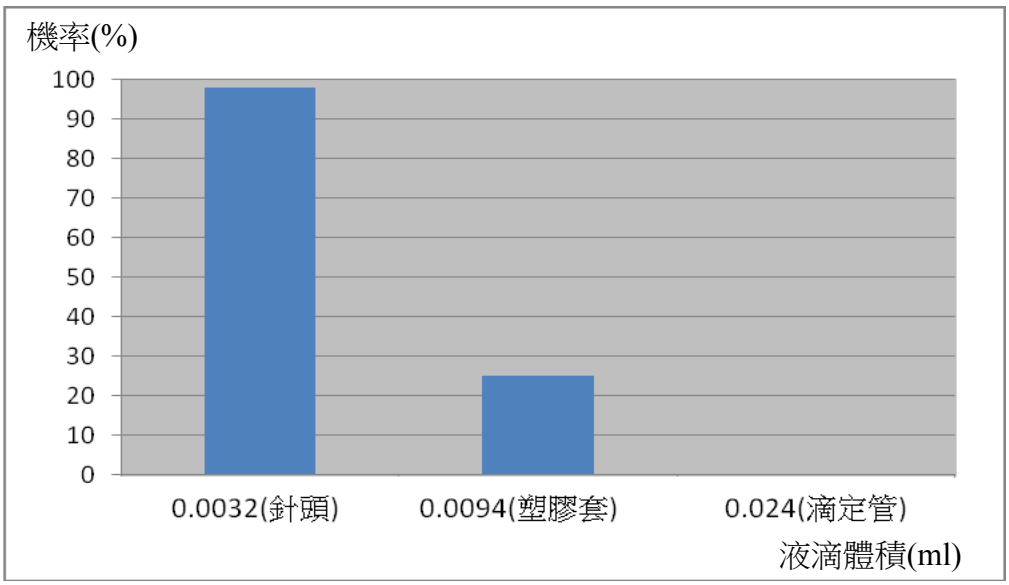


圖二十五、產生體積縮小的不連續性變化現象與液滴滴落高度的關係

討論三、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「液滴大小」的關係。



圖二十六、不同容器口徑大小與滴出液滴大小的關係



圖二十七、產生體積縮小的不連續性變化現象與液滴大小的關係

我們測量出不同的滴落口徑大小的水滴體積和不同水滴大小固定高度的成功率。看圖上的柱狀圖得知水滴體積 0.0032(針頭)的成功率較高，另外 0.024(滴定管)的成功率就變成 0。所以得知體積越小越容易成功。

討論四、液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象與「黏滯係數」的關係。

目前我們只做沙拉油與糖水的實驗，實驗發現，沙拉油液滴會漂浮在沙拉油液面上，但是完全不會產生兩次以上不連續性體積縮小的變化現象。油滴落的高度分別為 0.3cm 及 2cm。在這兩種高度中所滴落的油滴都會漂浮但不會縮小。**洗碗精水溶液的黏滯係數小於油**，所以我們使用洗碗精水溶液，來證明液滴體積不連續性的變化與黏滯係數的關聯性。洗碗精水容易所滴落的高度同樣為 0.3cm 及 2cm，他在水面上與油滴一樣會漂浮，但差異是會產生不連續性的體積縮小。在油與洗碗精水溶液的實驗中，證明了**黏滯係數較小的水溶液**，是較容易產生液滴不連續性的體積縮小。

我們進行高速攝影，我們發現，沙拉油液滴在被沙拉油液面吸附時，一次就完全被吸附進入沙拉油液面，即使成附做了 20 次，也都是一樣的結果。未來，我們會再嘗試一些較黏稠的液體，仔細觀察液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象是否與「黏滯係數」的關係。

討論五、從高速攝影中，觀察液滴於液面上產生體積縮小的不連續性變化現象。

我們以高速攝影機來紀錄水滴不連續性的的變化，使用高速攝影機的原因為:液滴產生的體積變化過快，為了能夠確認水滴的縮小次數，才使用如此麻煩的步驟。我們從影片中的變化觀察到水滴縮小時由橢圓形形成倒圓錐形，接著變成水滴左右向內凹陷的形狀，在又形成倒圓錐形，最後變成比原水滴小的水滴，之後重覆以上形容的動作到水滴消失。由於攝影時採用紅色液滴，所以液滴被液面吸附之後，液面變成圓型狀的紅色，而紅色液滴本身的顏色也維持不變，表示液滴被吸附的過程中，液滴並非由液面液體所再重新產出，而是原本的液滴留於水面上，彈跳後液滴仍有染劑的顏色，而且液面也呈紅色的狀態，就是最好的證明。

柒、結論：

如要漂浮液滴要產生至少二次體積縮小的不連續性現象，發現以水加洗碗精的方式最容易成功，我們認為最主要的原因是水溶液的性質、表面張力大小差異、液滴體積大小及滴落高度的影響。

以下幾點為本實驗整理出水滴成功機率的相關因素：

一、當水滴滴落水面時，表面張力會像橡皮般的有彈性，在沉入水中後，無法太快被吸收，而形成股力量，產生新的水滴；解釋出表面張力的那股力量，我們會繼續研究。

二、表面張力值若愈小，較容易產生不連續性的體積變化。

三、表面張力的大小差，也是有一定的相關性。當滴落的液滴表面張力小需第一優先符合，然後，液滴與液面兩者表面張力的大小差愈多的話，是比較容易發生不連續性體積縮小的變化現象。

四、水滴若是以垂直的方式滴落，成功的機率會比以傾斜角度滴落還高，證明了滴落的角度是以垂直較容易成功。液滴滴落的高度小於 3cm，則成功體積變化的機率較高。

五、控制水滴的大小，也是極為重要的因素，如果比較滴管與針筒，針筒滴出的水滴是小於滴管所滴。在實驗過程當中，我們發現以針筒所滴出的水滴會比較容易成功，其原因為水滴較小。水滴在水面的體積愈大，會減少體積變化的成功率。

六、黏滯係數若較大(本實驗中為油及糖水)，則較不容易產生不連續性的體積變化。

七、液滴第一次滴落後，會在上方產生第二顆水滴，若第一次滴落的高度在 10cm，是較容易產生體積的不連續性體積變化。

捌、參考文獻

一、歷屆科展作品

1、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會-神奇的水珠

2、漂浮液珠－第四十九屆全國中小學科學展覽會

3、會漂浮的水滴－第四十九屆全國中小學科學展覽會

4、從吹泡泡中發現奧妙－表面張力在泡泡上的應用

二、書籍：

1、啟發物理學力學－牛頓力學，彈性、流體和熱力學，作者:H.Young，Roger A.Freedma。

2、普通物理（上）第十二版，作者:戴念祖、林清涼

二、其餘網站及文章之網址:

1. http://songshuhui.net/archives/33732
2. http://www-math.mit.edu/~bush/Blanchette_PoF.pdf
3. http://www.tudou.com/programs/view/o53dlXjIB2g/
4. http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/~byjin/Bubble/science/surface.htm
5. http://www.youtube.com/watch?gl=TW&hl=zh-TW&v=6KKNnjFpGto

【評語】030115

1. 所強調之觀察現象有趣而新穎。

2. 此現象可能有未來的廣泛推廣。

3. 現象的解說稍嫌含糊。