

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030110

謎之泡 - 探討母泡產生子泡的機制

學校名稱：嘉義市立民生國民中學

作者： 國二 陳亮瑾 國二 葉宸妍 國二 蔡光栩	指導老師： 陳正雍 吳銘訓
---	-----------------------------

關鍵詞：曲率半徑、表面張力、壓力

摘要

想研究為什麼將附著在手上的泡泡往旁邊拉時會產生更小的泡泡。於是利用支撐架來模擬雙手，拉的速度則由砝碼的拉力來控制。

一開始先改變不同的拉力，發現拉力愈大，產生的子泡泡愈大。由高速攝影發現，要產生子泡泡前，母泡泡的曲率半徑開口會先從向外轉成向內，進而與中間段分離。而快速拉動的支撐架時，曲率半徑開口方向轉換的變化使中間段有較多空氣，形成較大的子泡泡。

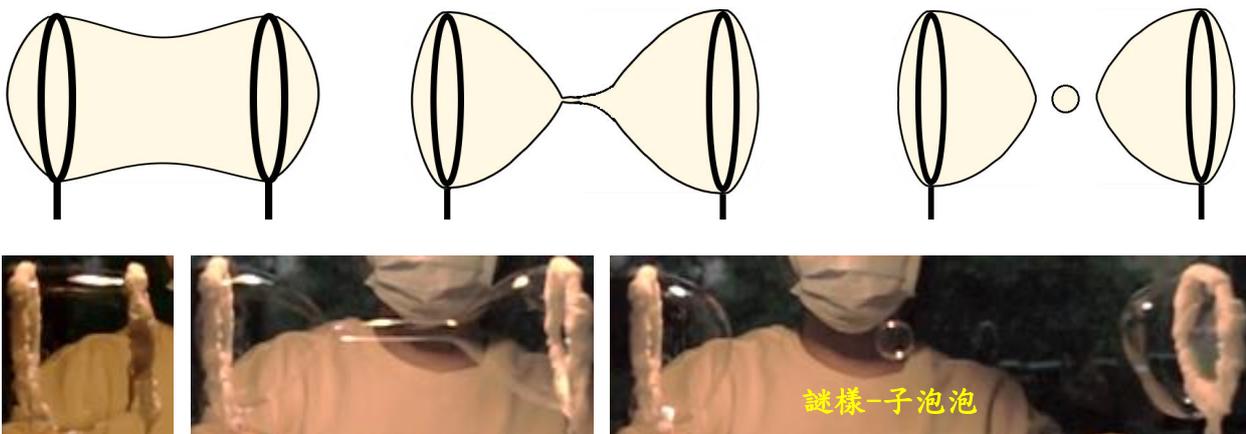
較小的支撐架，所產生的子泡泡會比較大。原因是小支撐架的分離母泡泡會比較小，使中間段空氣量較多，所以形成的子泡泡也較大。

最後改變溶液的表面張力，發現表面張力愈大，母泡泡曲率半徑的變化越快，產生子泡的時間就會更短，因此子泡泡將隨表面張力變大而體積變小。

壹、前言

一、研究動機

從小泡泡就是我生活中的一大樂趣。不管是洗手時、洗澡時還是洗碗時，只要是泡泡就非玩不可。也因為這樣的喜好，讓我發現了許多泡泡產生的不同現象，讓我十分的好奇。雖然看得見這些奇妙的現象，但對一些變化仍是百思不解，且網路上並沒有相關的實驗，一直無法解決我長久以來的困惑。有了這次的機會，讓我可以和有相同疑惑的同學們一起著手設計實驗，選擇了最有趣的一個現象—為什麼將附著在手上的泡泡往旁邊拉時會產生更小的泡泡—來進行研究。因為並沒有這個實驗的先例，所以我們只能自己搜尋讓此實驗更加成功的相關研究，掌握一些方法，希望能透過這個實驗來發現泡泡更深的奧妙。



圖一 母泡泡產生子泡泡的過程

二、研究目的

- (一) 探討不同分離速度的母泡泡對子泡泡大小的影響
- (二) 探討不同大小的支撐架對子泡泡大小的影響
- (三) 探討不同大小的母泡泡對子泡泡大小的影響
- (四) 探討不同形狀的母泡泡對子泡泡大小的影響
- (五) 探討母泡泡產生子泡泡的機制
- (六) 探討不同表面張力的泡泡水對子泡泡大小的影響

三、文獻回顧

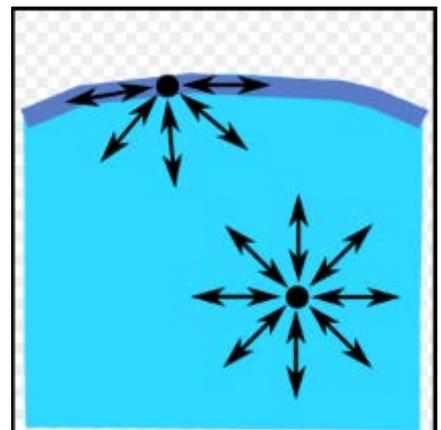
- (一) 呂玉雯、張榮格。泡泡界的養生秘方-甘油濃度與泡泡壽命的探討。第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。

文獻提到：「製作泡泡的基材，為了延長泡泡的存在時間，我們經過觀察後，假設泡泡的消失是因為水分逸散，因此選擇添加具有保濕能力的甘油。」

因此我們在嘗試泡泡的條件時，除了清潔劑外，還添加了甘油，能使泡泡更穩定存在，以利實驗進行。

- (二) 表面張力, 維基百科, 2022/2/17 取自

內容提到：「用分子力解釋：液體的內聚力是形成表面張力的原因。在液體內部，每個分子都在每個方向都受到鄰近分子的吸引力（也包括排斥力），因此，液體內部分子受到的分子力合力為零。然而，在液體與氣體的分界面上的液體分子在各個方向受到的引力是不均衡的（見圖解），造成表面層中的分子受到指向液體內部的吸引力，並且有一些分子被「拉」到液體內部。因此，液體會縮小液面面積的趨勢，在宏觀上的表現即為表面張力現象。」



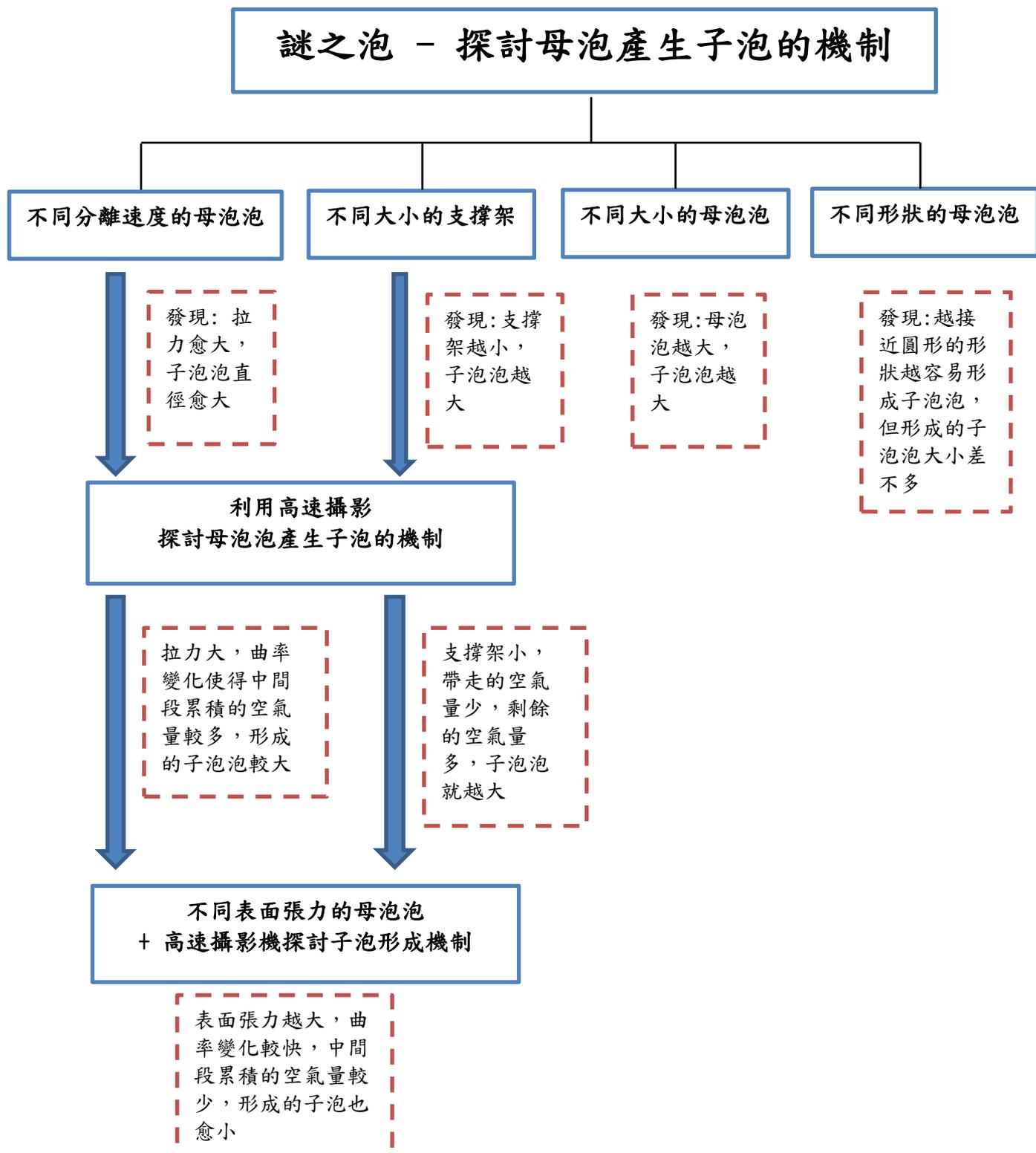
我們認為，在此實驗中，因為泡泡受到外力拉動，但是高速攝影中卻能明顯看到支撐架上的母泡泡卻被拉回，這個力量，應該就是泡泡水的表面張力所導致的。

貳、研究設備及器材

 <p>壓克力板</p>	 <p>不同形狀的泡泡支架</p>	 <p>泡泡支架</p>
 <p>泡泡支架底座</p>	 <p>泡泡水</p>	 <p>洗碗精</p>
 <p>軌道</p>	 <p>甘油</p>	 <p>鋁線</p>
 <p>砝碼</p>	 <p>吸管</p>	 <p>打氣筒</p>
 <p>燒杯</p>	 <p>保鮮膜</p>	 <p>自製表面張力測試設備</p>
 <p>玻棒</p>	 <p>膠水</p>	

參、研究過程、結果與討論

一、實驗架構：



二、準備實驗：

(一)名詞定義：

1. **原始母泡泡**：一開始吹出來的大泡泡稱為原始母泡泡。
2. **子泡泡**：拉開大泡泡後，在中間處所產生的小泡泡稱為子泡泡。
3. **分離母泡泡**：形成子泡泡後殘留在支撐架的母泡泡。
4. **中間段**：形成子泡泡前在兩個母泡泡中間的空氣柱。

(二)組裝實驗器材

1. 支撐架：利用壓克力來切割成兩個圓環，用來模擬雙手，並纏上紗布，由於紗布可吸收大量泡泡水，解決了泡泡附著的問題。再將圓形壓克力連接在壓克力底座上，讓支撐架可以順利在軌道上滑動。



圖二 支撐架

2. 軌道系統：將支撐架放在軌道上，棉繩一端綁在支撐架上，一端則是綁在裝有砝碼的袋子上，用來控制拉動支撐架的力量。



圖三 實驗裝置示意圖與軌道照片

3. 製造泡泡系統：

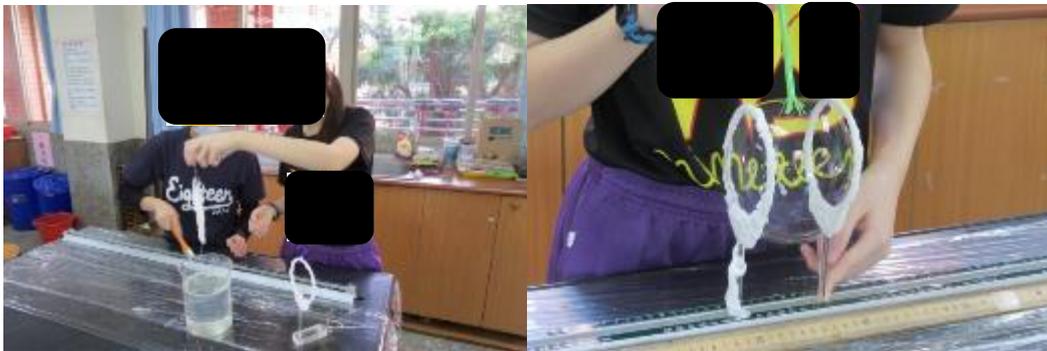
原本是用嘴向吸管吹，雖然可以順利產生母泡泡，但是無法控制吹出的氣體量，難以控制泡泡大小。

目前的方式是利用雙向打氣筒來控制出氣量，將塑膠軟管一端接在打氣筒上，塑膠軟管的另一段接在吸管末端剪開部分，就可以產生母泡泡，並精確控制母泡泡的大小。

三、實驗一：探討不同分離速度的母泡泡對子泡泡大小的影響

(一) 實驗過程

1. 將實驗裝置擺放好，在袋子裡放入總質量為 70 公克的砝碼。
2. 用相機記錄過程。
3. 以吸管吹出泡泡並附著於泡泡支架。
4. 讓砝碼自由落下到地面
5. 當出現子泡泡候用方格紙接住。
6. 拍攝方格紙上的子泡泡用來記錄大小。
7. 重複步驟 1~6，總共做 6 次取平均。
8. 重複步驟 1~7，改變砝碼的總質量為 110 公克、150 公克、190 公克。

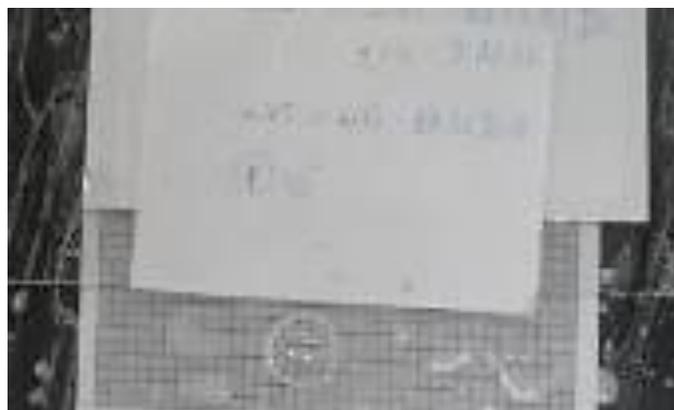


圖四 擺放實驗器具及準備母泡泡

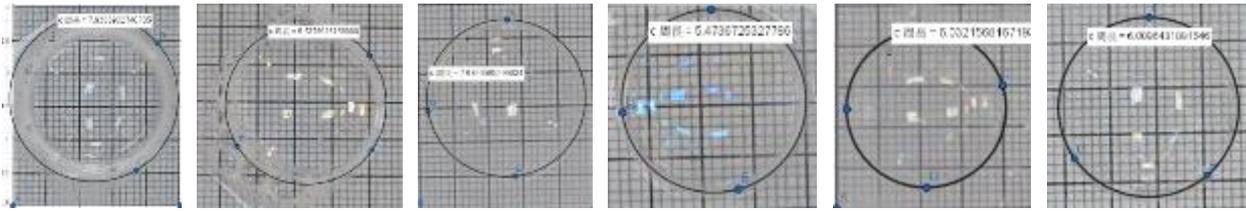
(二) 結果與討論

為了數據準確，我們固定泡泡支撐架為 9 公分的條件，共重複 6 次，在子泡泡落下時，利用每兩大格為一公分的方格紙接住並用相機拍下，再用電腦中的 GeoGebra 軟體進行泡泡大小的分析。

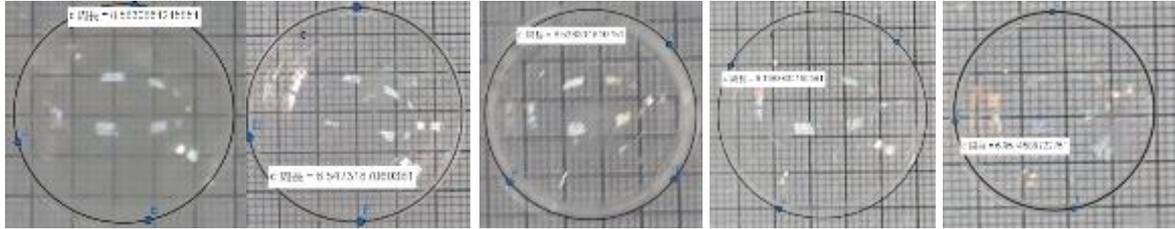
為了想知道泡泡大小的變化，因此討論後決定以 GeoGebra 軟體模擬出泡泡大小的圓，再量測出泡泡的周長。



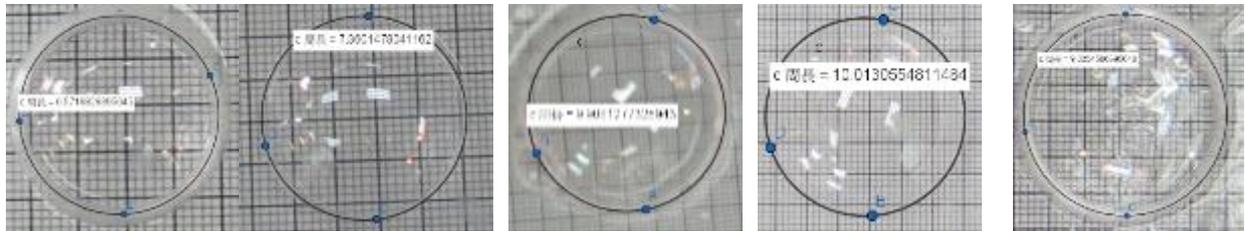
圖五 子泡泡落在塑膠板上



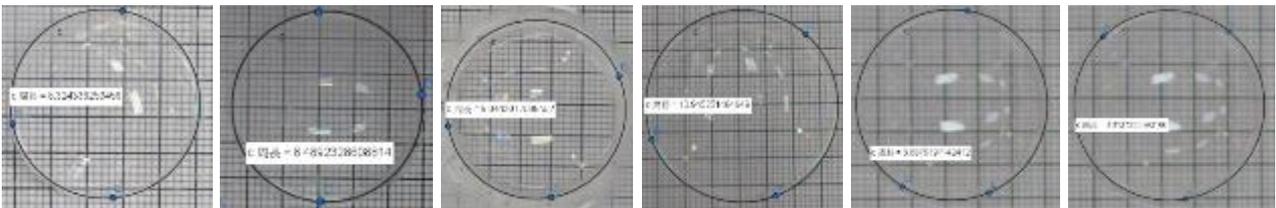
圖六 拉力 70 gw 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



圖七 拉力 110 gw 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



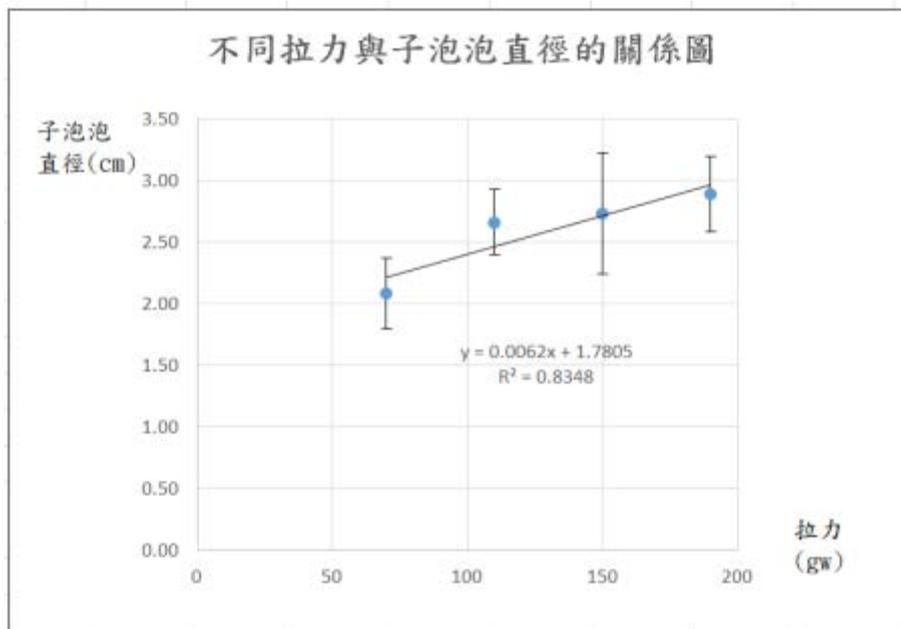
圖八 拉力 150 gw 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



圖九 拉力 190 gw 下，所測量及分析的子泡泡周長數據

表一 不同拉力大小下，所測量及分析的子泡泡直徑數據

拉力 (gw)	子泡泡直徑(cm)						子泡泡平均直徑 (cm)
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	
70	2.53	2.14	2.25	1.74	1.92	1.91	2.08
110	2.73	2.72	2.72	/	2.92	2.21	2.66
150	2.09	2.34	3.15	3.19	/	2.87	2.73
190	2.65	2.70	2.88	3.48	2.83	2.80	2.89



圖十 不同拉力下，子泡泡的直徑變化

由上圖可以發現，當拉力愈大時，子泡泡的直徑也會愈來愈大。猜測是否因為產生子泡泡的原因與表面張力及空氣量有關。

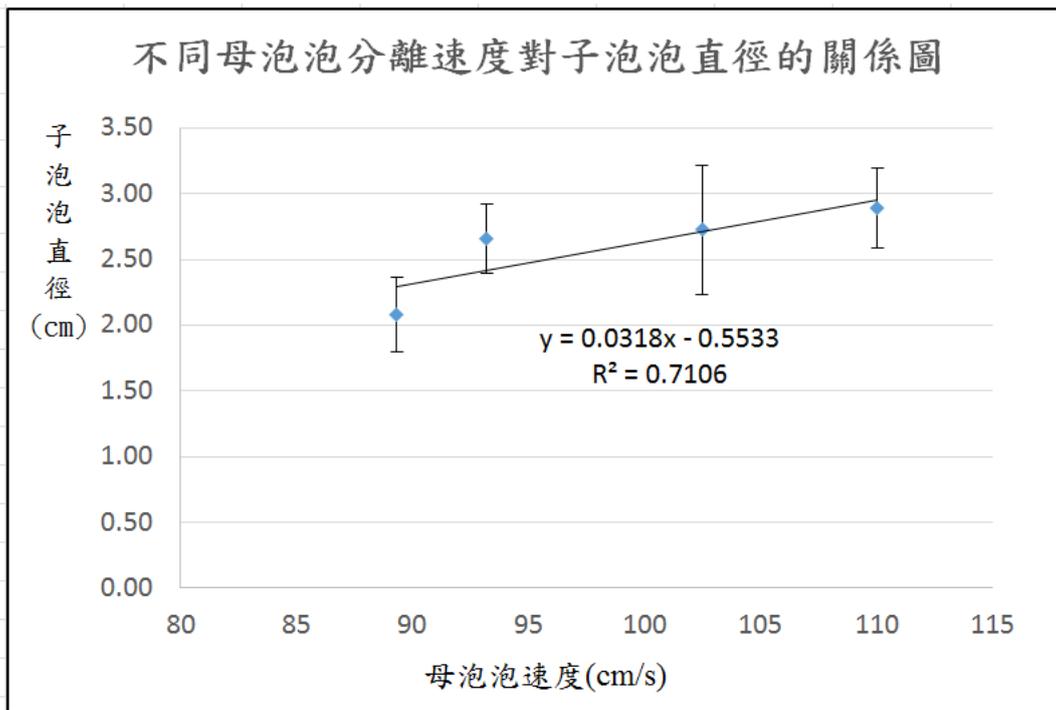
雖然拉力愈大，感覺母泡泡分開的速度應該愈大，但不確定拉力是否真的與母泡泡的分離速度成正比(因為可能存在軌道與支撐架的摩擦力)，因此，我們也利用高速攝影機分析不同拉力下，母泡泡在前 30cm 的平均速度，來分析與子泡泡直徑之間的關聯性。

表二 不同拉力與母泡泡速度間的關係

拉力(gw)	70	110	150	190
平均速度(cm/s)	89.31	93.20	102.47	110.02

表三 不同母泡泡移動速度下，所測量及分析的子泡泡直徑數據

平均速度(cm/s)	89.31	93.20	102.47	110.02
子泡泡平均直徑(cm)	2.08	2.66	2.73	2.89



圖十一 不同母泡泡速度對子泡泡直徑的影響

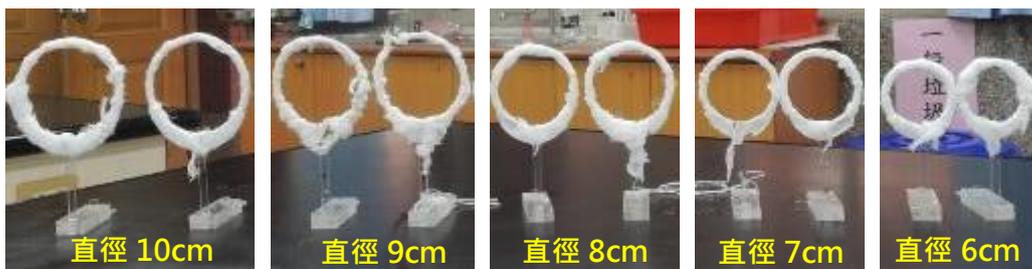
由上面的數據可以發現，雖然母泡泡的分離速度與拉力並不是成正比關係；但是子泡泡直徑一樣隨母泡泡速度變大而增加，數據呈現線性的關係。

後續想增加母泡泡的分離速度，但卻因為母泡泡速度變快，子泡泡卻很容易在產生過程中而破掉。

四、實驗二：探討不同大小的支撐架對子泡泡大小的影響

(一) 實驗過程

1. 利用雷射切割機切出直徑為 6~10cm 不同大小的支撐架
2. 將實驗裝置擺放好，在袋子裡放入總質量為 110 公克的砝碼。
3. 固定打氣量為 3 管在 6cm 的泡泡支撐架上。
4. 用相機記錄過程。
5. 讓砝碼自由落下到地面
6. 當出現子泡泡候用方格紙接住。
7. 拍攝方格紙上的子泡泡用來記錄大小。
8. 重複步驟 1~7，總共重複 6 次取平均。
9. 重複步驟 1~7，分別改變泡泡支撐架為 7cm、8cm、9cm 及 10cm。



圖十二 不同大小的支撐架

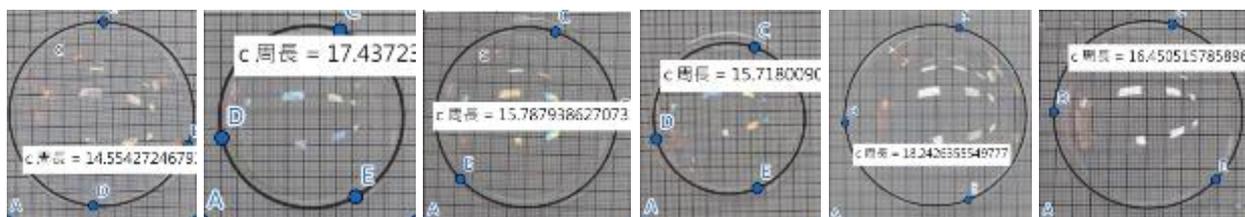


圖十三 將支撐架寫上編號

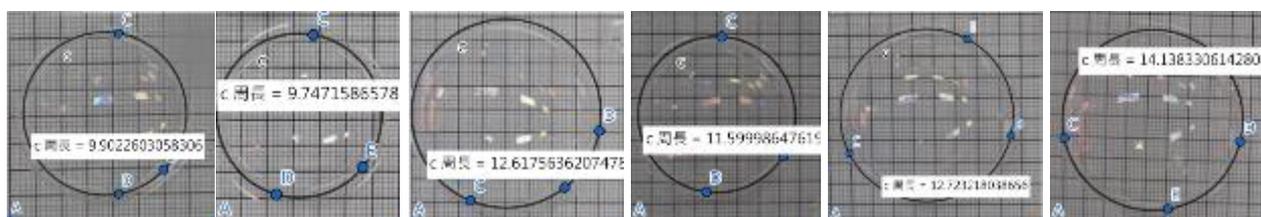
(二) 結果與討論

在實驗過程中，雖然我們做了 6 公分到 10 公分的泡泡支撐架，這是用來模擬雙手拉泡泡的情況，探討雙手大小對子泡泡大小的影響。

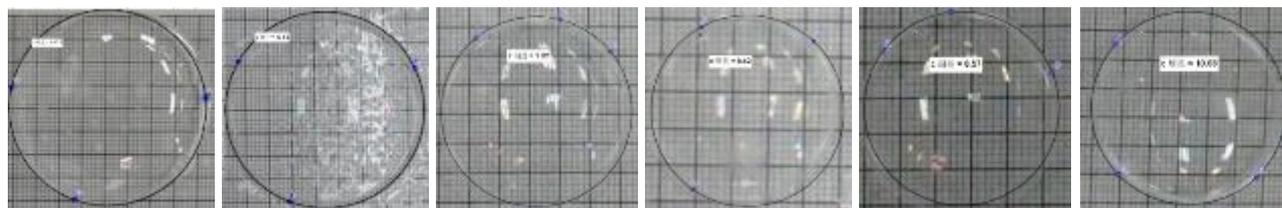
實驗過程中，我們都是使用空氣量為 3 管的母泡泡。



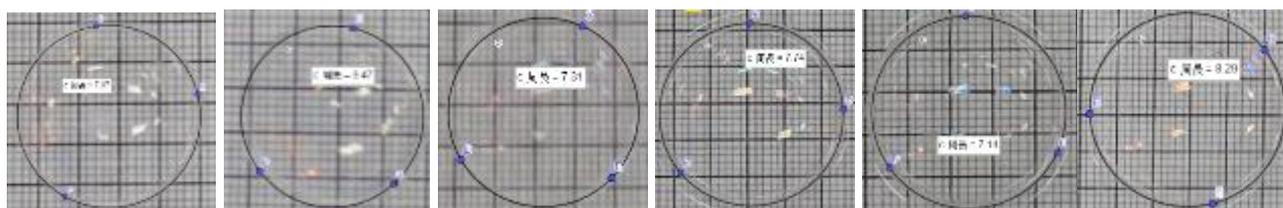
圖十四 支撐架為 6cm 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



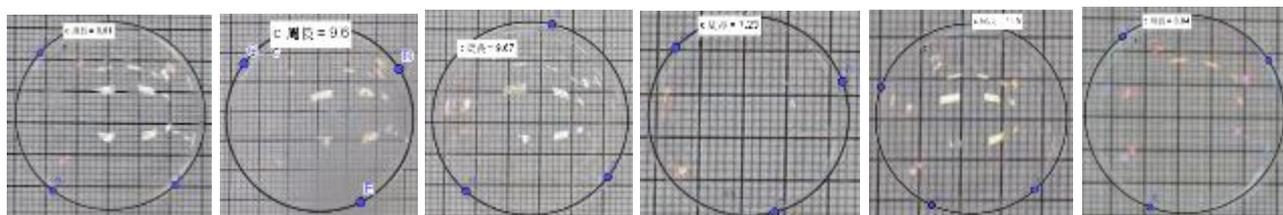
圖十五 支撐架為 7cm 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



圖十六 支撐架為 8cm 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



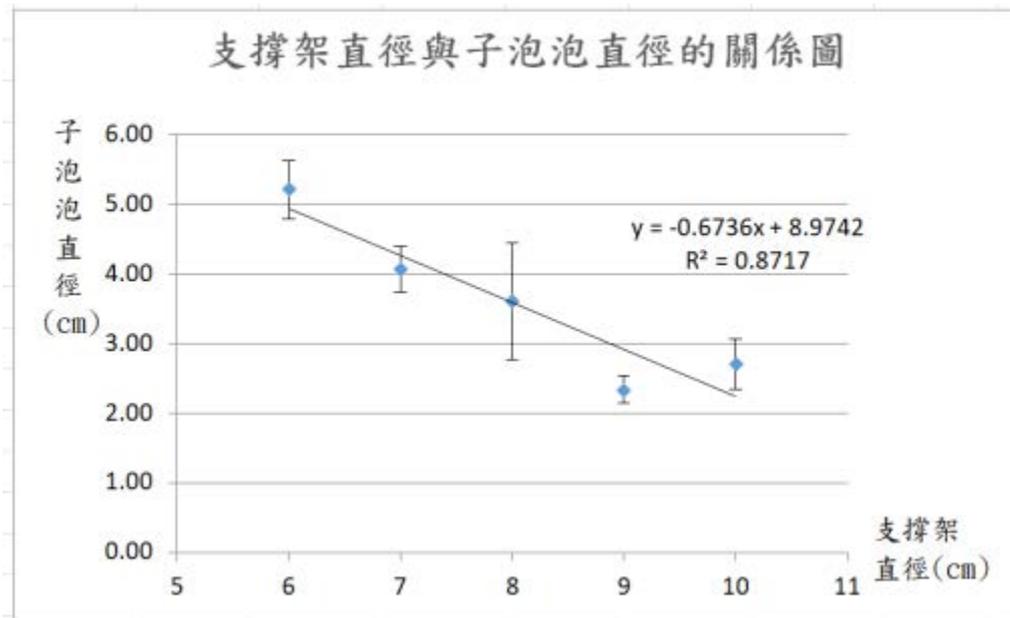
圖十七 支撐架為 9cm 下，所測量及分析的子泡泡周長數據



圖十八 支撐架為 10cm 下，所測量及分析的子泡泡周長數據

表四 不同支撐架大小下，所測量及分析的子泡泡直徑數據

支撐架直徑 (cm)	子泡泡直徑 (cm)						子泡泡平均直徑 (cm)
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	
6	4.63	5.55	5.03	5.00	5.81	5.24	5.21
7	/	/	4.02	3.69	4.05	4.50	4.07
8	4.32	4.31	3.13	2.68	/	/	3.61
9	2.25	2.06	2.33	2.46	2.27	2.64	2.34
10	2.74	3.06	3.08	2.30	2.25	2.82	2.71



圖十九 不同大小支撐架對子泡泡直徑的影響

以實驗數據可以發現，當支撐架愈小，則所產生的子泡泡大小愈大。而且在不同支撐架時，子泡泡的大小隨支撐架的變化相當大；6cm 支撐架所產生的子泡泡直徑比 10cm 支撐架所產生的子泡泡直徑大了約 2 倍。

五、實驗三：探討不同大小的母泡泡對子泡泡大小的影響

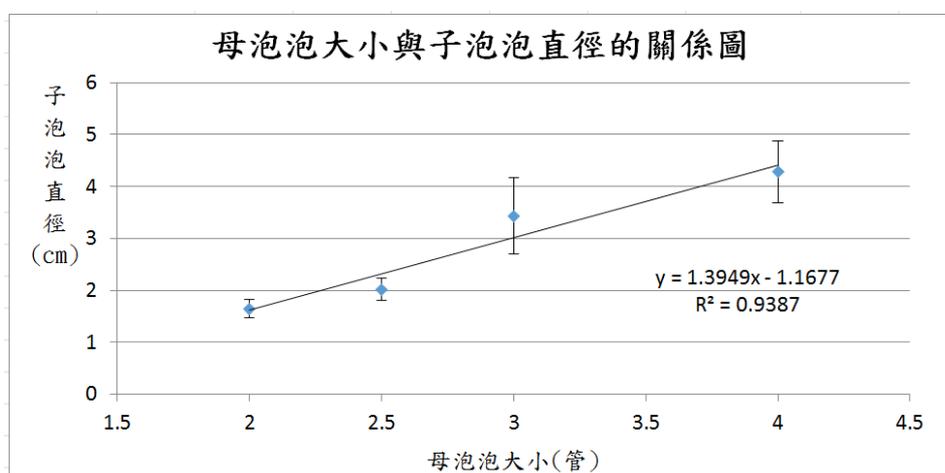
(一) 實驗過程

1. 將實驗裝置擺放好，在袋子裡放入總質量為 110 公克的砝碼。
2. 固定打氣量為 2 管在 8cm 的泡泡支撐架上。
3. 用相機記錄過程。
4. 讓砝碼自由落下到地面
5. 當出現子泡泡候用方格紙接住。
6. 拍攝方格紙上的子泡泡用來記錄大小。
7. 重複步驟 1~6，總共重複 6 次取平均。
8. 重複步驟 1~7，分別改變母泡泡空氣量為 2.5 管、3 管、4 管。

(二) 結果與討論

表五 不同母泡泡大小下，所測量及分析的子泡泡直徑數據

母泡泡大小 (管)	子泡泡直徑(cm)						子泡泡平均直徑 (cm)
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	
2.0	1.58	1.71	1.33	1.74	1.63	1.85	1.64
2.5	2.33	1.86	2.07	1.90	1.76	2.21	2.02
3.0	4.32	4.31	3.13	2.68	2.73	3.40	3.43
4.0	3.53	4.85	5.03	3.76	4.34	4.17	4.28



圖二十 不同大小母泡泡對子泡泡直徑的影響

由上圖可以發現，當原始母泡泡愈大，在一定拉力下，所產生的子泡泡也愈大。母泡泡的空氣量最小為 2 管，因為更小的母泡泡不容易黏在支撐架上。而母泡泡最大空氣量為 4 管，是因為如果灌入更多空氣，母泡泡很容易破掉，因此母泡泡的大小就固定在 2 管到 4 管之間。

六、實驗四：探討不同形狀的母泡泡對子泡泡大小的影響

為了想知道母泡泡形狀是否會影響子泡泡的形狀及大小。所以我們決定利用母泡泡為3管的空氣量，支撐架為8cm的條件來改變形狀。我們固定支撐架8cm的圓形面積大小，也就是面積統一固定為 $4*4*3.14=50.24(\text{cm}^2)$ ，分別計算出三角形、四邊形及五邊形的邊長後，再利用雷射切割設計出支撐架的形狀。

(一) 實驗過程

1. 利用雷射切割機切出環面積與環直徑8公分的圓環相同的三角形、四邊形與五邊形環。
2. 將環纏上紗布。
3. 把環刷上泡泡水。
4. 固定打氣量為3管，並找出適宜的兩環距離。
5. 用相機記錄下實驗的子泡泡大小。
6. 重複步驟1~5，實驗共5次取平均。
7. 重複步驟1~6，改變環的形狀為三角形、四邊形、五邊形。

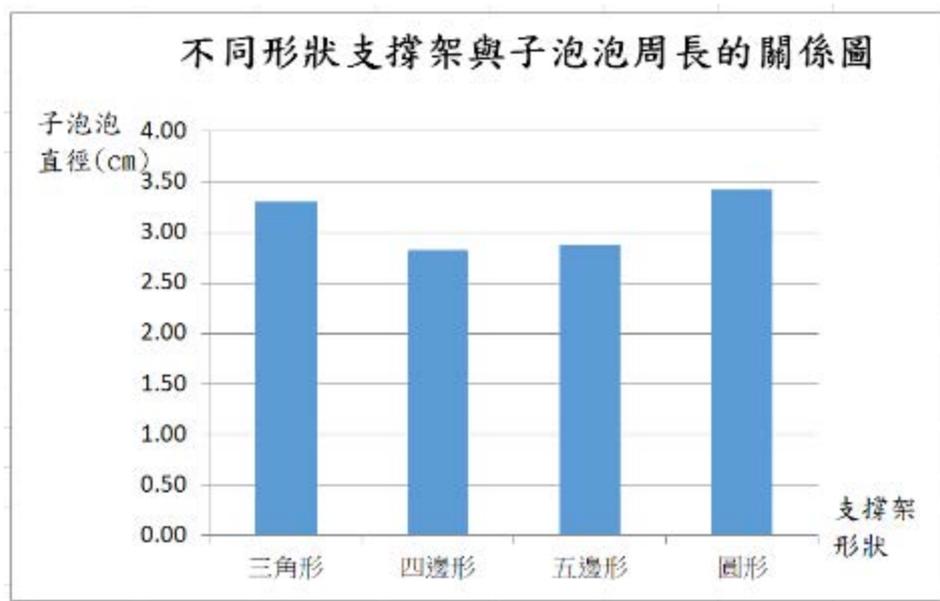


圖二十一 不同形狀的環

(二) 結果與討論

表六 不同形狀的支撐架下，所測量及分析的子泡泡直徑數據

支撐架 形狀	子泡泡直徑(cm)					子泡泡平均直徑 (cm)
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
三角形	3.18	2.79		4.03	3.24	3.31
四邊形	3.17	3.26	2.62	2.25		2.82
五邊形	2.51	2.51	2.78	3.72		2.88
圓形	4.32	4.30	4.15	4.74		4.38



圖二十二 不同形狀支撐架對子泡泡直徑的影響

實驗中，固定母泡泡的空氣量為 3 管，拉力為 110gw。結果發現，形成子泡泡的難易度：圓形>五邊形>四邊形>三角形，推測越接近圓形的形狀越容易形成子泡泡，反之則失敗率較高。而且發現不同形狀的支撐架時，子泡泡的直徑變化不大。

七、實驗五：探討母泡泡產生子泡泡的機制

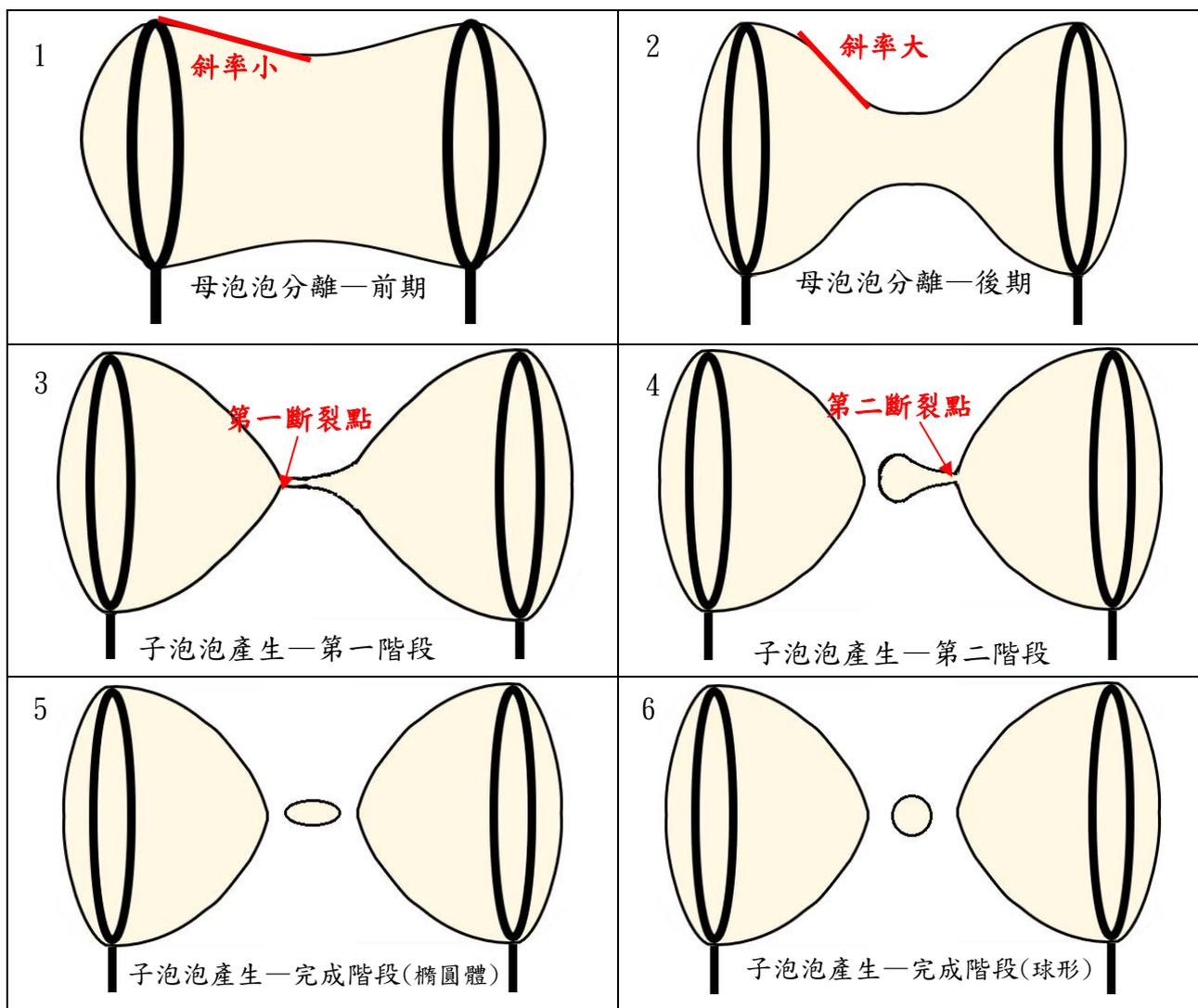
因為想知道為何會母泡泡拉開後，就可以產生子泡泡，因此想利用高速攝影機來觀察這個現象，討論後決定探討兩個部份。第一個部分是為何母泡泡的分離速度會影響子泡泡大

小，這個部份我們利用手緩慢拉及使用 110gw 的拉力來探討。第二個部分是利用支撐架為 6cm 及 10cm 來觀察產生的機制。

(一) 母泡泡產生子泡泡的機制 1(不同拉力)

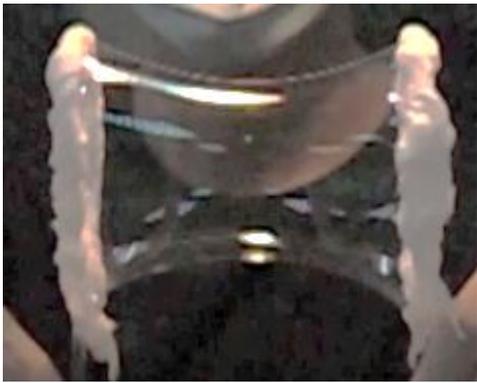
我們將不同情況的高速攝影觀看後，可以將過程分為 6 個階段。

- (1) 母泡泡分離 - 前期：兩個母泡泡與中間段幾乎黏在一起，會感覺像圓柱狀。
- (2) 母泡泡分離 - 後期：兩個母泡泡與中間段有明顯區分。
- (3) 子泡泡產生 - 第一階段：其中一個母泡泡與中間段開始分離，產生第一個斷裂點。
- (4) 子泡泡產生 - 第二階段：兩個母泡泡都與中間段分離，產生第二個斷裂點。
- (5) 子泡泡產生 - 完成階段(橢圓體)：中間段剛開始與母泡泡分離，形狀還不規則，此時子泡泡會在空中彼此碰撞，形狀變化不一定，呈現橢圓體。
- (6) 子泡泡產生 - 完成階段(球形)：產生球形的子泡泡。



圖二十三 子泡泡過程產生示意圖

1. 母泡泡慢速分離(手緩慢拉)



(1)母泡泡分離 - 前期



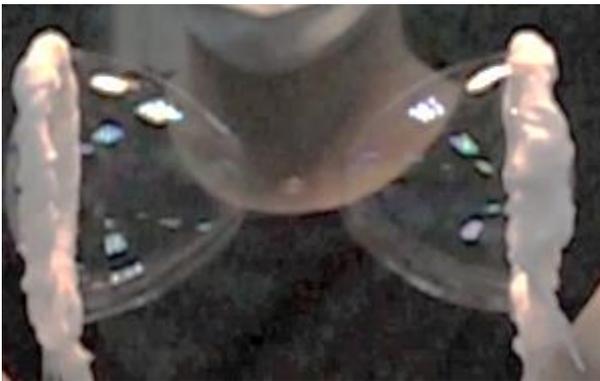
(2)母泡泡分離 - 後期



(3) 子泡泡產生 - 第一階段



(4) 子泡泡產生 - 第二階段



(5) 子泡泡產生 - 完成階段(橢圓體)



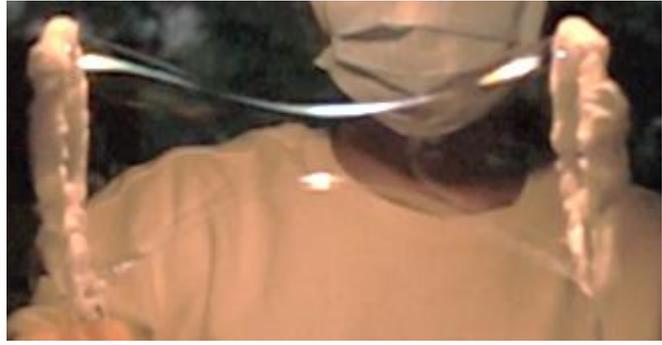
(6) 子泡泡產生 - 完成階段(球形)

圖二十四 利用高速攝影機觀察母泡泡在慢速分離時(緩慢手拉)，產生子泡泡的情況

2. 母泡泡快速分離(110gw 的拉力)



(1)母泡泡分離 - 前期



(2)母泡泡分離 - 後期



(3) 子泡泡產生 - 第一階段



(4) 子泡泡產生 - 第二階段



(5) 子泡泡產生 - 完成階段(橢圓體)

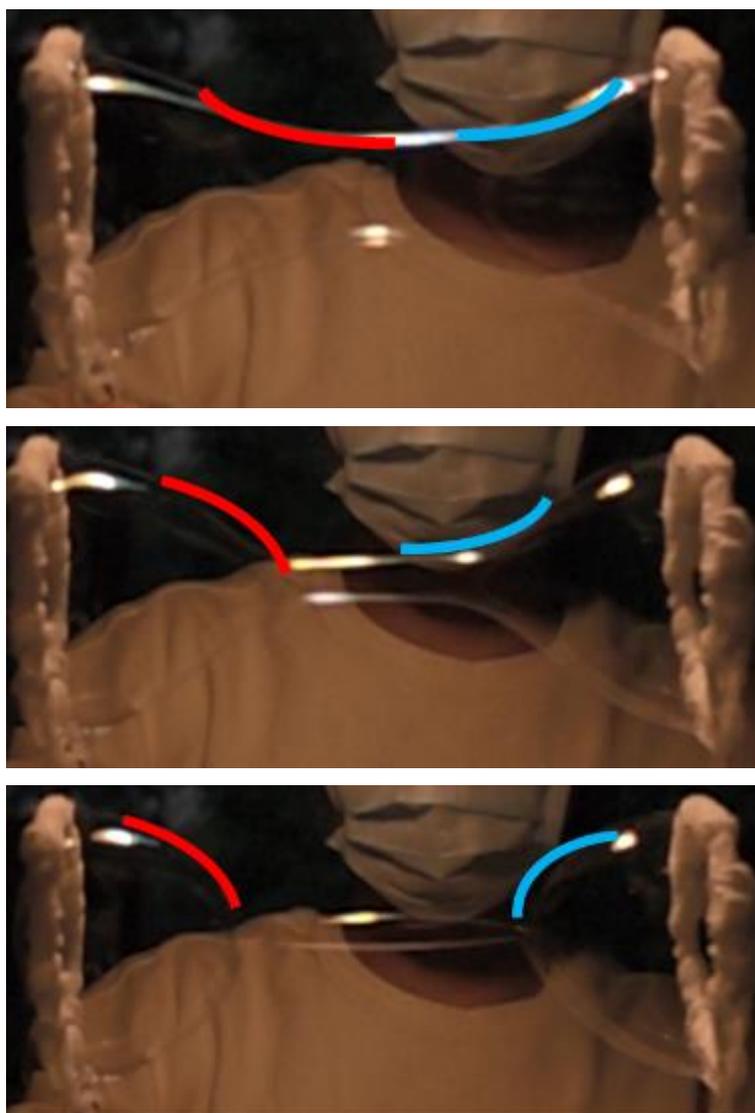


(7) 子泡泡產生 - 完成階段(球形)

圖二十五 利用高速攝影機觀察母泡泡在高速分離時(拉力 110gw)，產生子泡泡的情況

由高速攝影機的慢動作格放可以發現，兩個母泡泡彼此分開時，雖然母泡泡大小相同，但在母泡泡不同分離速度時，會因為表面張力及拉力的影響，成使母泡泡與中間段的曲率呈

現不同的變化。表面張力會使泡泡形成球狀，曲率容易變成開口向內，而拉力則使泡泡形成曲率開口向外，當拉力愈大，曲率開口就愈不容易向內。



圖二十六 母泡泡在過程中的曲率變化

基本上母泡泡要形成子泡泡，必須先產生中間段，母泡泡在與中間段分離。以左邊的母泡泡為例子，曲率(紅色圓弧)會從一開始開口向泡泡外，逐漸變成曲率開口向泡泡內，此時母泡泡就會和中間段分離，而產生斷裂點。但是我們也發現一個現象，因為砝碼只有拉右邊支撐架，觀察到右邊母泡泡的曲率(藍色圓弧)從開口向泡泡外到開口向泡泡內的變化時間，會比左邊母泡泡的變化慢。當拉力較大，曲率變化開始到斷裂，支撐架移動距離較長，此時中間段累積的空氣量會愈多，子泡泡會較大。

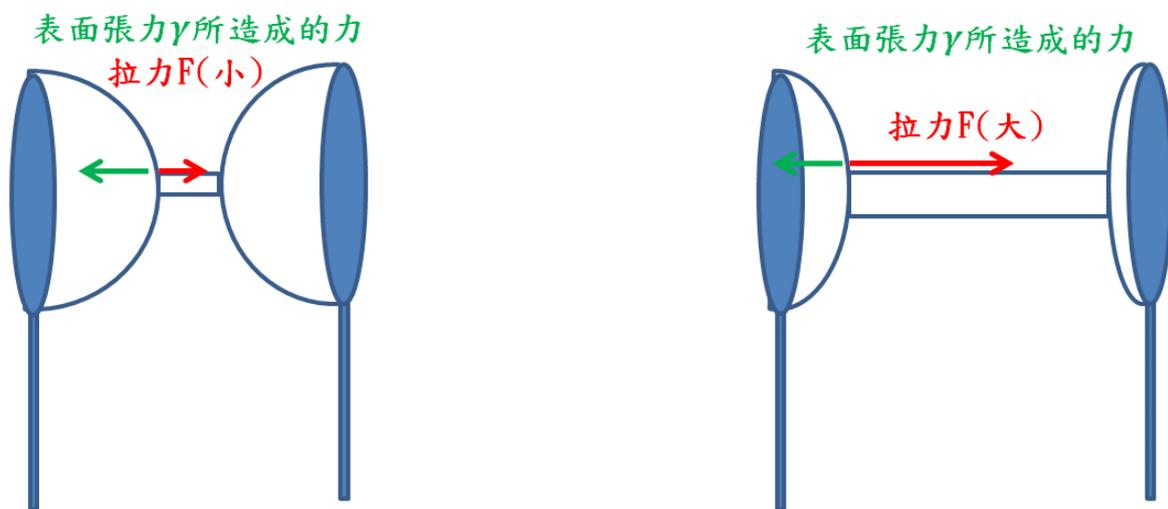
比較用高速攝影機的觀察結果，高速拉右邊的母泡泡，會使右邊的母泡泡比較慢與中間段分離，而左邊母泡泡因為並未拉動，所以很快與中間段分離，但在中間段與雙邊母泡泡脫離前，仍累積了足夠空氣量形成較大的子泡泡。

而慢速用手拉母泡泡，則兩邊的曲率變化很快，雙邊的母泡泡都一下子就和中間段分離了，沒有累積到足夠的空氣量，因此產生的子泡泡較小。

而實驗一，支撐架拉動的力量愈大，右邊支撐架分離的速度愈快，雖然左邊母泡泡會比較快與中間段分離，但是右邊的曲率變化會因為速度愈快，曲率變化愈慢，中間段愈慢脫離母泡泡，而能產生愈大的子泡泡。

我們在實驗過程中，常發現產生子泡泡後，子泡泡會向右飛行，也是因為第一斷裂點發生在左邊，所以中間段會繼續跟著右邊母泡泡前進的關係。

原則上，母泡泡分離速度愈快，應該可以產生愈大的子泡泡，但實驗中為何繼續加大砝碼卻不容易成功產生子泡泡；推測是因為中間段的泡泡量不足，雖然可以累積足夠的空氣量，但因為泡泡膜太薄，反而容易使子泡泡在產生過程中就破掉。



圖二十七 左邊母泡泡在拉力小與拉力大的示意圖

如上圖所示，當拉力小的時候，因為母泡泡會被表面張力拉回支撐架上，中間段帶走的泡泡不多，因此母泡泡會比較大，產生的子泡泡較小；而拉力大的時候，中間段較容易被拉力拉向右，等大氣壓力將母泡泡與中間段壓至適當的曲率半徑，中間段才能分離母泡泡，形成子泡泡，所以中間段較大，產生的子泡泡也比較大。

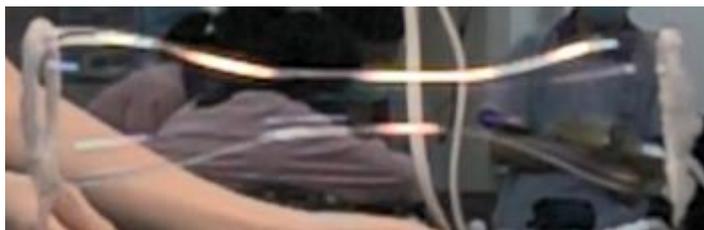
(二) 母泡泡產生子泡泡的機制 2 (不同支撐架)

我們利用高速攝影機觀察支撐架為 6cm 及 9cm 的兩個變化，來討論為何產生大的子泡泡及小的子泡泡原因。

1. 支撐架為 6 cm



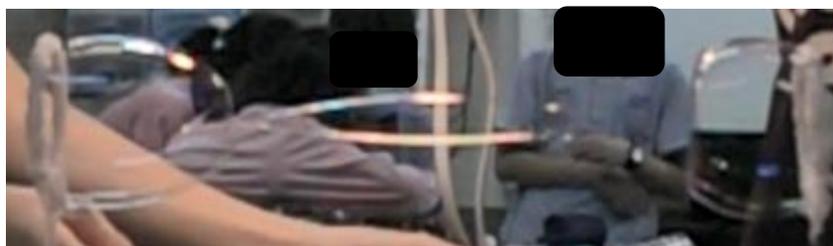
(1)母泡泡分離 - 前期



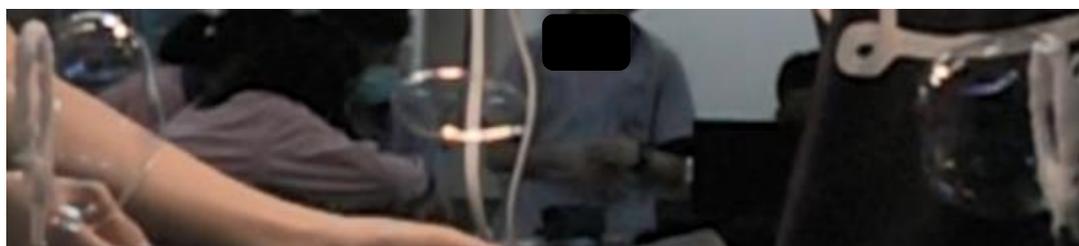
(2)母泡泡分離 - 後期



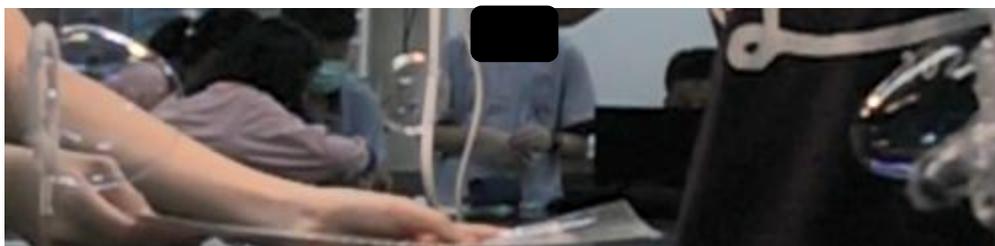
(3) 子泡泡產生 - 第一階段



(4) 子泡泡產生 - 第二階段



(5) 子泡泡產生 - 完成階段(橢圓體)



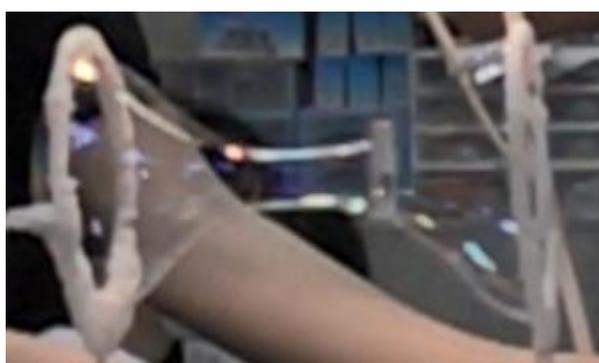
(6) 子泡泡產生 - 完成階段(球形)

圖二十八 利用高速攝影機觀察支撐架較小(支撐架為 6cm)，產生子泡泡的情況

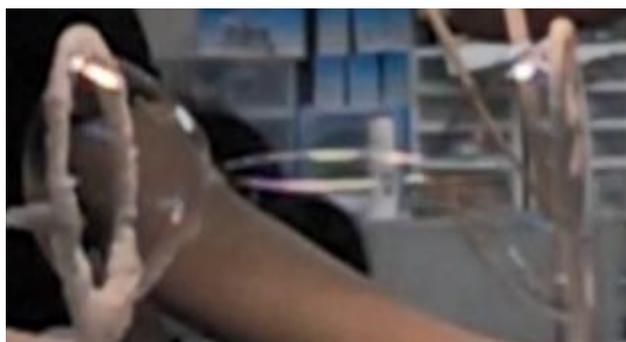
2. 支撐架為 10cm



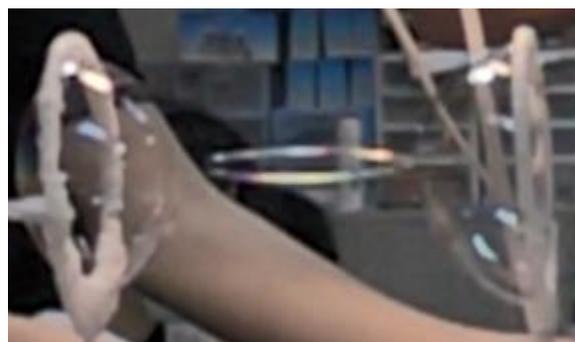
(1)母泡泡分離 - 前期



(2)母泡泡分離 - 後期



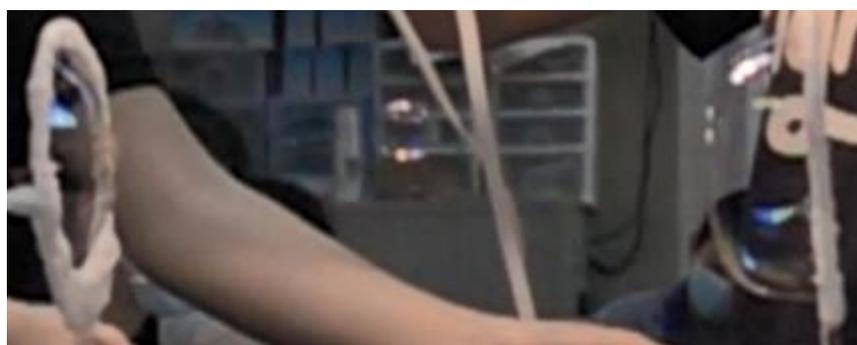
(3) 子泡泡產生 - 第一階段



(4)子泡泡產生 - 第二階段



(5) 子泡泡產生 - 完成階段(橢圓體)



(6) 子泡泡產生 - 完成階段(球形)

圖二十九 利用高速攝影機觀察支撐架較大(支撐架為 10cm)，產生子泡泡的情況

我們認為子泡泡的大小是由中間段的空氣量所決定，而子泡泡的極限值由泡泡本身的表面張力所限制，但是如果中間段的泡泡量太少，就算有累積足夠的空氣量，也會因為子泡泡的泡泡膜太薄而破掉。

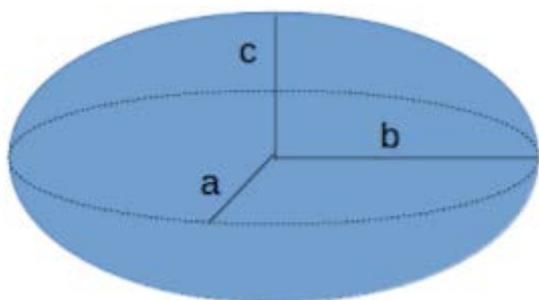
$$\text{子泡泡的體積} = \text{一開始的母泡泡體積} - \text{分離後的兩個母泡泡體積}$$

子泡泡以及一開始的母泡泡會因為表面張力的關係，而呈現球形；但是分離後的母泡泡則因為受限於支撐架的大小及空氣量的多寡，可能呈現橢圓體。

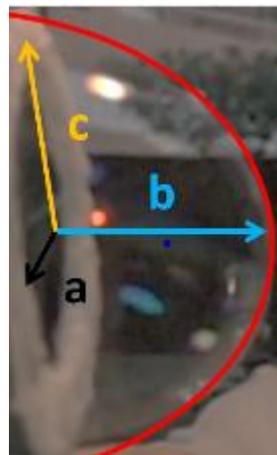
橢圓體的公式如下

$$V = \frac{4\pi abc}{3}$$

(其中 a、b、c 為分別沿 x、Y、Z 軸的半徑)



圖三十 橢圓體的示意圖



圖三十一 分離後的母泡泡為橢圓體

分離後的母泡泡大小會因為空氣量而決定，因為支撐架的大小已經決定 a 軸長及 c 軸長，而 b 軸長大小則由支撐架分離速度決定，在實驗中也是固定，因為一開始母泡泡一樣大，扣除分離後的母泡泡所帶走的空氣量，留給中間段形成子泡泡的空氣量也會比較多，最後形成的子泡泡體積也較大。

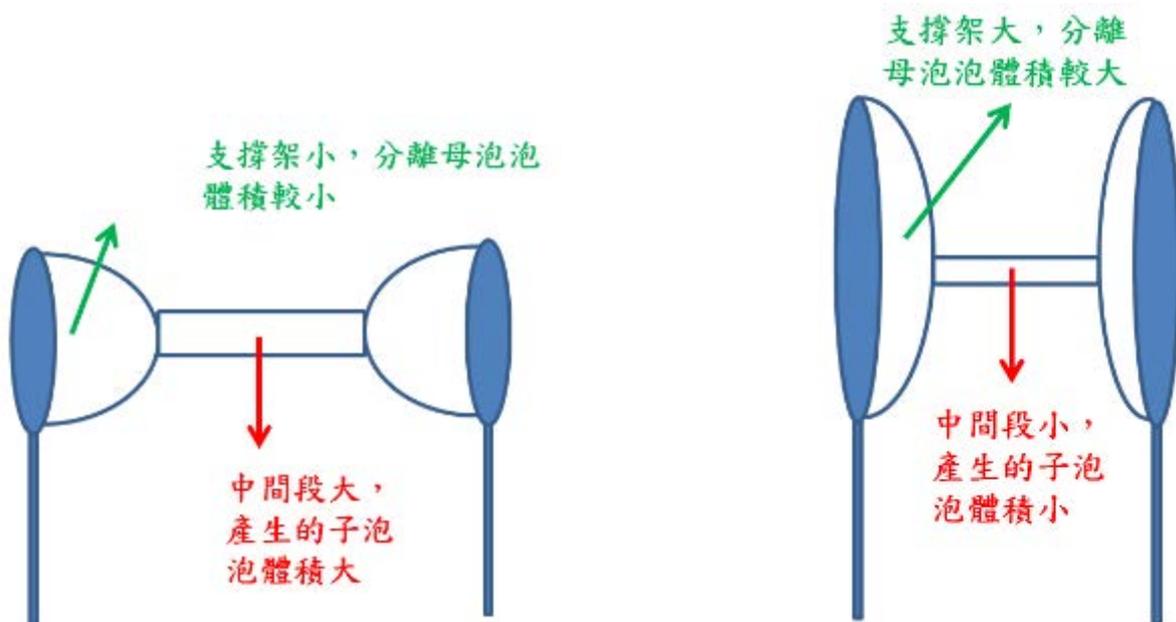


圖三十二 分析母泡泡橢圓體的 b 軸長(由左至右為：6cm、7cm、8cm、10cm)

表七 分離後的母泡泡 b 軸長及體積關係

支撐架直徑(cm)	b 軸長(cm)	橢圓體體積(cm ³)	b/a 比值
6	5.05	190.4	1.68
7	5.25	269.4	1.50
8	5.35	358.6	1.34
10	5.85	612.6	1.17

由上表可以發現，當支撐架愈大，分離母泡泡的橢圓體體積愈大，雖然 b 軸長有因為支撐架直徑變大而增加，但增加幅度不大，因此，較小的支撐架會帶走較少空氣，剩餘多空氣就流到子泡泡，造成子泡泡的大小會更大。



圖三十三 不同大小支撐架時，分離母泡泡與中間段的示意圖

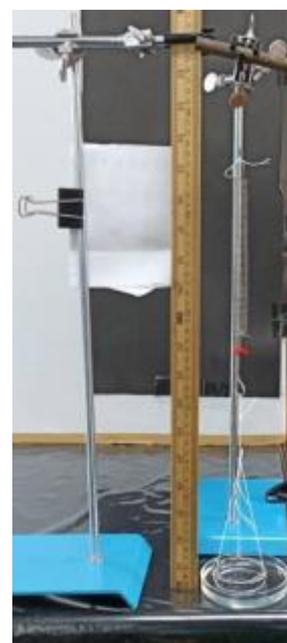
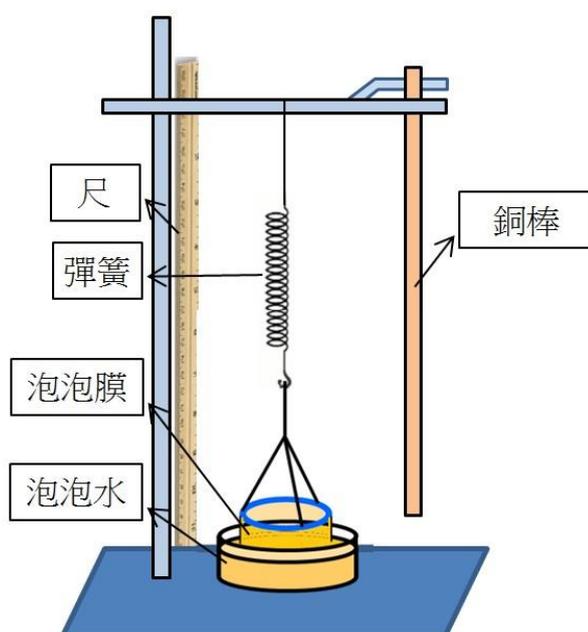
八、實驗六：探討不同表面張力的泡泡水對子泡泡大小的影響

由於在高速攝影中，觀察到子泡的形成是因為表面張力及分離速度造成曲率半徑的

變化，而由實驗一(探討不同分離速度的母泡泡對子泡泡大小的影響)及高速攝影可以得知外力愈大，的確子泡愈大；但我們的推測中，也覺得泡泡水溶液的表面張力也會影響曲率半徑的變化，因此才會改變泡泡水的表面張力，來探討不同表面張力的泡泡水對子泡泡大小的影響。

(一) 實驗過程

1. 將實驗裝置擺放好，在袋子裡放入總質量為 110 公克的砝碼。
2. 固定打氣量為 3 管在 8cm 的泡泡支撐架上。
3. 利用第一種泡泡水(市售泡泡水)進行實驗。
4. 用相機記錄過程。
5. 讓砝碼自由落下到地面
6. 當出現子泡泡後用方格紙接住。
7. 拍攝方格紙上的子泡泡用來記錄大小。
8. 重複步驟 1~6，總共重複 5 次取平均。
9. 測量泡泡水的表面張力。
10. 重複步驟 1~9，分別改變泡泡水為第二種(自製泡泡水--水：洗碗精：甘油=4:2:1)與第三種(自製泡泡水：膠水=2:1)。



圖三十四 自製測量泡泡水表面張力實驗架構圖示意圖及實驗圖

(二) 結果與討論

我們將鋼圈泡在泡泡水中，利用彈簧將鋼圈拉起，此時有泡泡膜在鋼圈的下方，鋼圈會受到重力及泡泡膜的表面張力所形成的力量向下，而向上的力量有彈簧的拉力，紀錄此時的全長 L ；而鋼圈沒有被泡泡膜拉著，此時只受到鋼圈重力向下及彈簧拉力向上，記錄此時的長度為彈簧的原長 L_0 ，在計算出彈簧的伸長量 $(L-L_0)$ ，及測量出彈簧的彈力常數 k 、鋼圈內徑 R_1 及外徑 R_2 ，並利用下列公式，就可以計算出泡泡水的表面張力 T

$$(2\pi R_1 + 2\pi R_2)T = k(L - L_0)$$

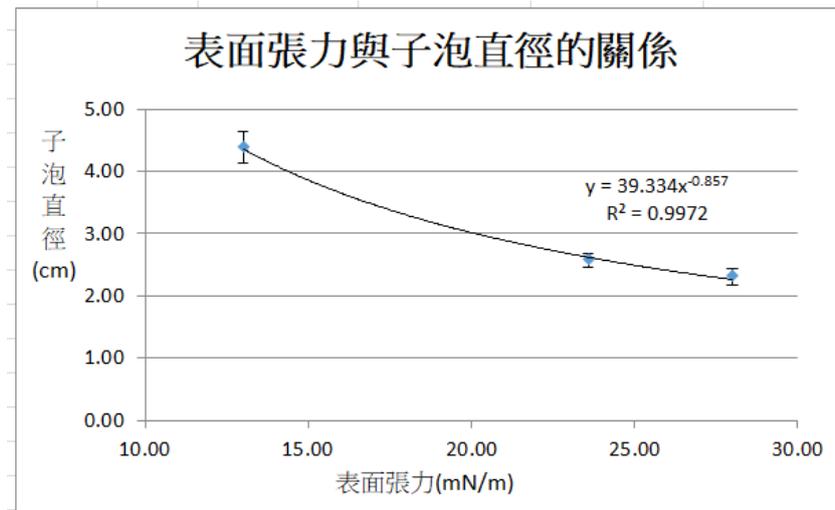
表八 不同表面張力的泡泡水，所測量及分析的彈簧身長量

(彈力常數 $k=2.06$ N/m，鋼圈內徑 $R_1=25.9$ mm，鋼圈外徑 $R_2=30.7$ mm)

泡泡水	原長 L_0 (cm)	全長 L (cm)					表面張力 T (mN/m)
		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
第一種	21.47	21.95	21.99	21.89	22.01	21.92	28.01
第二種	21.33	21.45	21.48	21.73	21.52	21.59	13.02
第三種	21.58	21.91	21.98	22.07	21.94	22.03	23.60

表九 不同表面張力的泡泡水，所測量及分析的子泡泡直徑數據

泡泡水	表面張力 (mN/m)	子泡泡直徑(cm)					子泡泡平均直徑 (cm)
		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
第一種	28.01	2.32	2.47	2.23	2.16		2.30
第二種	13.02	4.32	4.31	4.15	4.74		4.38
第三種	23.60	2.63	2.42	2.61	2.61	2.60	2.57

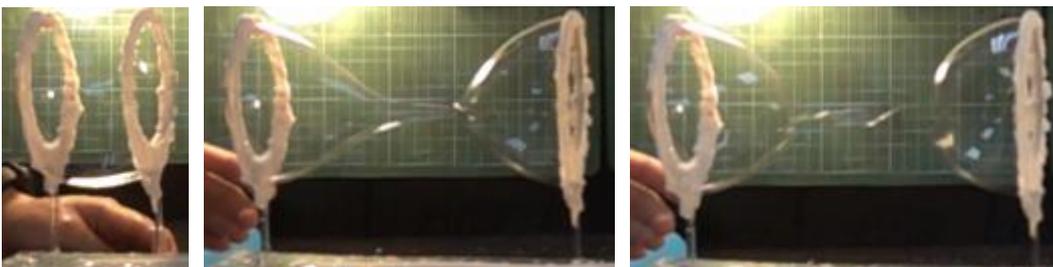


圖三十五 不同表面張力的泡泡水對子泡泡直徑的影響

由上圖可以知，當我們改變泡泡水的表面張力時，發現泡泡水的表面張力愈大，實驗所得到的子泡直徑變得愈小。想知道為何如此，因此利用高速攝影機觀察不同表面張力溶液的泡泡變化如下圖。



(第二種泡泡水：表面張力=13.02 mN/m，子泡泡直徑=4.38 cm)



(第三種泡泡水：表面張力=23.60 mN/m，子泡泡直徑=2.57 cm)

圖三十六 不同表面張力的泡泡水產生子泡的變化

表十 不同表面張力產生第一斷裂點、第二斷裂點及產生子泡所需時間

泡泡水種類	次數	第一斷裂點所花時間(秒)	第二斷裂點所花時間(秒)	產生子泡所花時間(秒)	產生子泡所花時間(秒)
第二種	1	3.486	0.315	3.801	3.801
	2	3.613	0.188	3.801	
第三種	1	1.886	0.077	1.963	2.138
	2	2.279	0.034	2.313	

表十一 比較表面張力、產生子泡時間及子泡直徑的關係

泡泡水種類	表面張力 T(mN/m)	產生子泡所花時間(秒)	子泡平均直徑(cm)
第二種	13.02	3.801	4.38
第三種	23.60	2.138	2.57

由上表可以發現，當表面張力愈小，要產生子泡所要花的時間也要愈久，所以產生的子泡愈大。

這個結果與之前猜測子泡形成的原因吻合，因為子泡的形成，主要是由形成過程中的中間段決定的，當表面張力愈大，就會造成兩個斷裂點的曲率半徑變化愈快，所以中間段的空氣量就會變少，因此所形成的子泡也愈小。

肆、結論

- 一、由實驗一可以得知，當拉動支撐架的速度愈大，所形成的子泡泡愈大。
- 二、由實驗二可以得知，當支撐架愈小，形成的子泡泡會愈大。
- 三、由實驗三可以得知，當母泡泡愈大，形成的子泡泡會愈大。
- 四、由實驗四可以得知，當支撐架在不同形狀的支撐架下，所形成的子泡泡大小差不多，但圓形支撐架最容易穩定形成子泡泡。
- 五、由高速攝影分析，母泡泡與子泡泡受到表面張力與拉力的作用下，中間段在適當的曲率半徑時，會與母泡泡分離而形成子泡泡。當分離的母泡泡愈大，則子泡泡愈小。
- 六、由高速攝影分析，當母泡泡分離速度愈快，拉力容易將子泡泡分離母泡泡，而形成較大的子泡泡。
- 七、由高速攝影分析，愈小的支撐架，分離後的母泡泡體積也較小，因此產生的子泡泡會比較大。
- 八、由實驗六可以得知，當泡泡水溶液的表面張力愈大，所形成的泡泡愈小；配合高速攝影，可以發現，表面張力愈大，中間段的曲率變化愈快，所累積的空氣量愈少，因此子泡也較小。

伍、參考文獻

- 一. 郭重吉等編著(民國 110 年)，自然與生活科技二上 2-2 水溶液，南一出版。
- 二. 郭重吉等編著(民國 110 年)，自然與生活科技三上第二章-牛頓運動，南一出版。
- 三. 呂玉雯、張榮格。泡泡界的養生秘方-甘油濃度與泡泡壽命的探討。第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四. 卓靜哲等(1996)，物理化學，第九章界面化學，三民出版社。
- 五. 表面張力, 維基百科, 2022/2/17 取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%A0%E5%8A%9B>

【評語】 030110

泡泡成型的實驗一直研究的熱門題目。本作品研究泡膜拉身後形成小泡泡的原因，算是泡泡成型的另一種研究。由於二次成形的過程更難研究，因此使用了一些科學方法將實驗能定量化是相當值得鼓勵的。

作品簡報

謎之泡 – 探討母泡產生子泡的機制

國中組
物理科

關鍵詞：表面張力、曲率半徑、壓力

前言-研究動機

想研究為什麼將附著在手上的泡泡往旁邊拉時會產生更小的泡泡，分析文獻後，發現都沒有解釋原因的相關研究，決定深入探討。



圖一 實驗結果：謎樣-子泡泡

名詞定義



1. **原始母泡泡**：一開始吹出來的大泡泡稱為原始母泡泡。
2. **子泡泡**：拉開大泡泡後，在中間處所產生的小泡泡稱為子泡泡。
3. **分離母泡泡**：形成子泡泡後殘留在支撐架的母泡泡。
4. **中間段**：形成子泡泡前在兩個母泡泡中間的空氣柱。

圖二 名詞定義：原始母泡泡、子泡泡、分離母泡泡、中間段

研究目的

謎之泡 - 探討母泡產生子泡的機制

不同移動速度的母泡泡

發現：
拉力愈大，
子泡泡直
徑愈大

不同大小的支撐架

發現：
支撐架越
小，子泡
泡越大

不同大小的母泡泡

發現：
母泡泡越
大，子泡
泡越大

不同形狀的母泡泡

發現：
越接近圓形的形狀
越容易形成子泡泡，
但形成的子泡泡大
小差不多

利用高速攝影 探討母泡泡產生子泡的機制

拉力大，曲率
變化慢，中間
段累積的空氣
量較多，形成
的子泡泡較大

支撐架小，帶
走的空氣量少，
剩餘的空氣量
多，子泡泡就
越大

不同表面張力的母泡泡 + 高速攝影機探討子泡形成機制

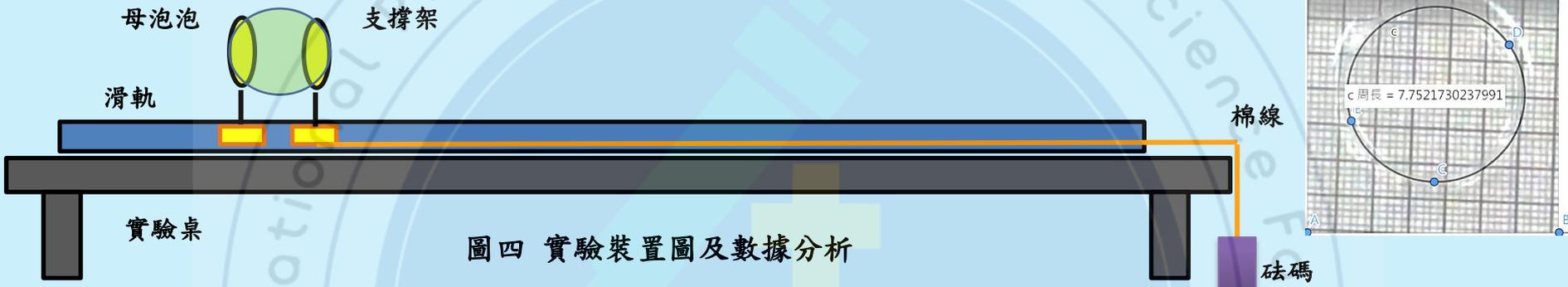
表面張力越大，曲率變化較快，中間段累積的空氣量較少，形成的子泡也愈小



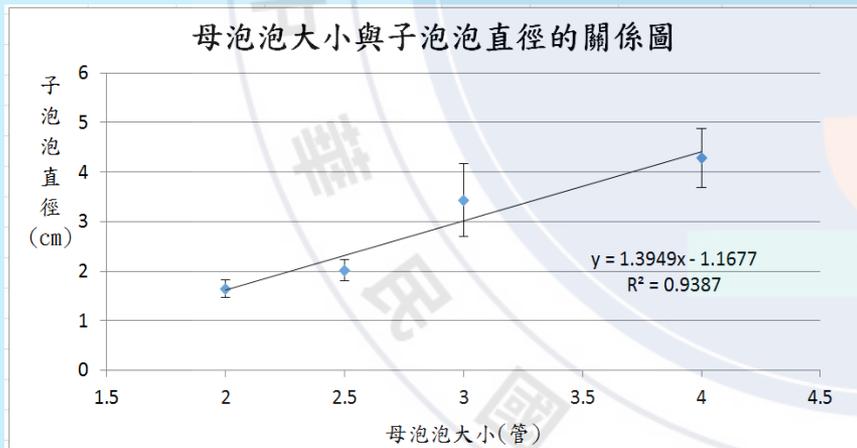
圖三 手拉泡泡分離

實驗設置說明及數據分析

1. 支撐架：利用壓克力切割成圓環，用來模擬雙手
2. 軌道系統：支撐架放在軌道上，綁著砝碼控制拉力。



探討不同大小/形狀的母泡泡對子泡泡大小的影響



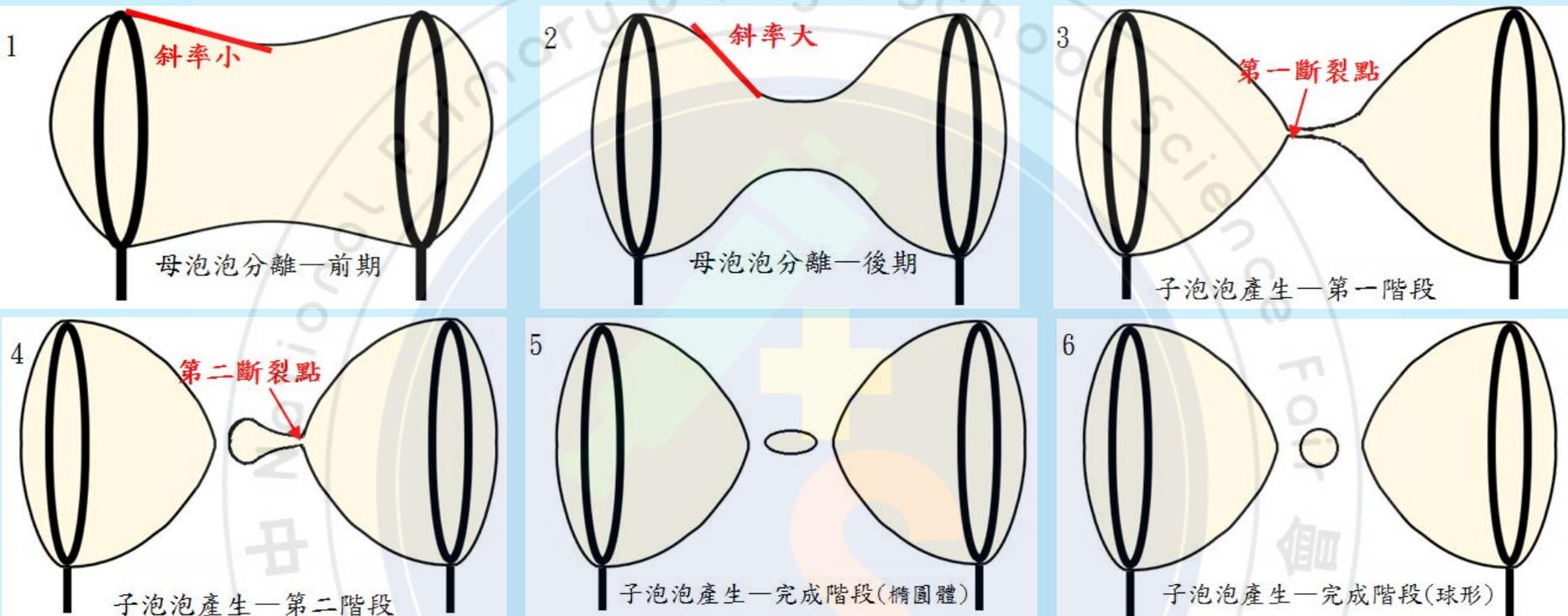
圖五 不同大小母泡泡對子泡泡直徑的影響



圖六 不同形狀支撐架對子泡泡直徑的影響

1. 原始母泡泡愈大，所產生的子泡泡也愈大
2. 不同形狀的支撐架時，子泡泡的直徑變化不大

實驗觀察1：母泡泡產生子泡泡六階段示意圖



圖七 母泡泡產生子泡泡六階段示意圖

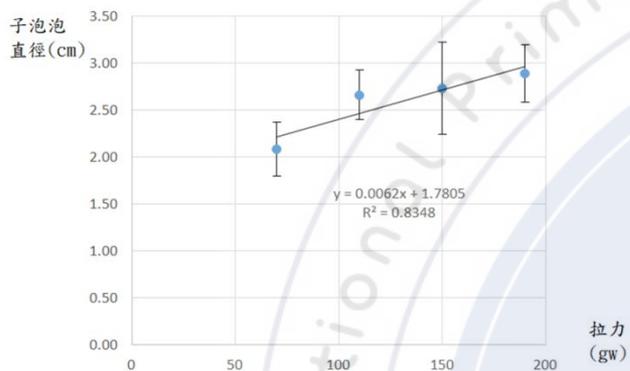
實驗觀察2：母泡泡分離時曲率半徑變化



圖八 母泡泡分離時曲率半徑變化

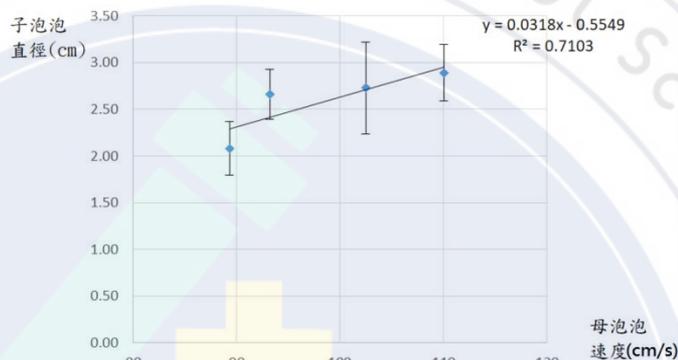
探討不同移動速度的母泡泡對子泡泡大小的影響

不同拉力與子泡泡直徑的關係圖



圖九 不同拉力與子泡泡直徑關係

不同母泡泡速度對子泡泡直徑的關係圖



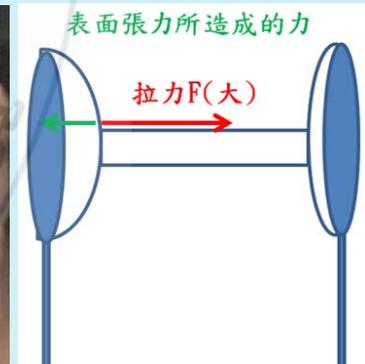
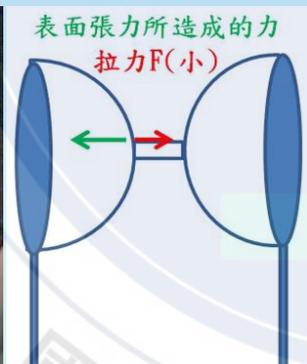
圖十 不同母泡泡分離速度與子泡泡直徑關係

當母泡泡分離
速度變大時

→ 中間段變長

→ 子泡泡變大

不同移動速度的高速攝影及模擬示意圖



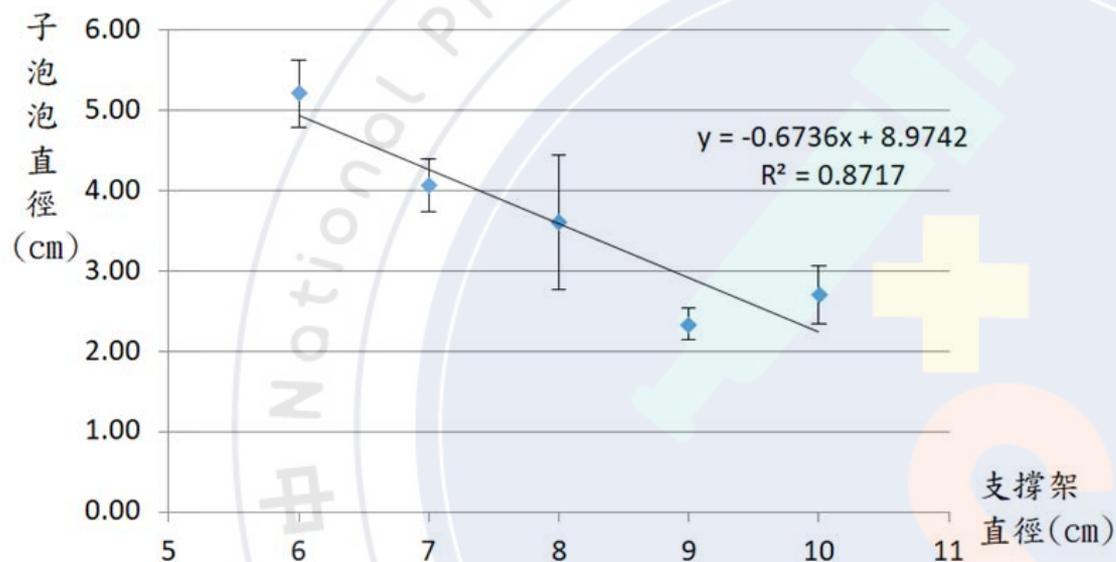
圖十一 拉力小時的子泡泡

圖十二 拉力大時的子泡泡

拉力大的時候，中間段容易被拉動，達到適當的曲率半徑，中間段才分離，形成子泡泡，所以中間段較大，產生的子泡泡也比較大。

探討不同大小的支撐架對子泡泡大小的影響

支撐架直徑與子泡泡直徑的關係圖



圖十三 不同支撐架大小與子泡泡直徑的關係

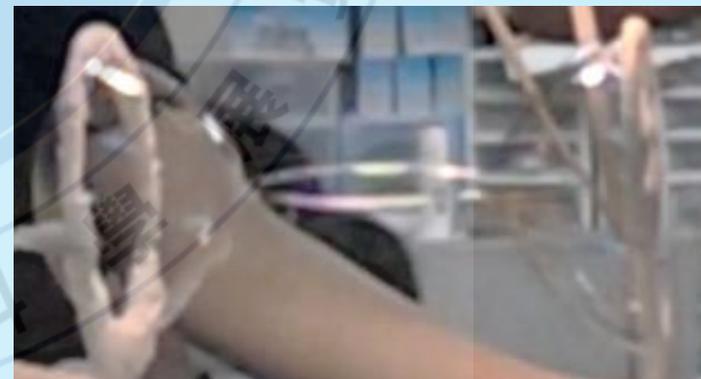
當支撐架大時

→ 分離母泡泡較大

→ 子泡泡較小



圖十四 小支撐架產生大的子泡泡

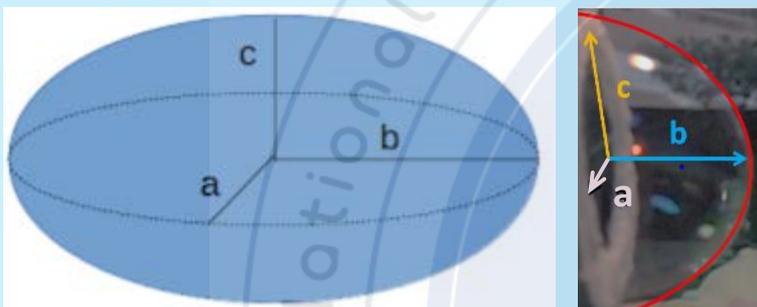


圖十五 大支撐架產生小的子泡泡

不同支撐架大小影響子泡泡體積的原因探討

子泡泡的體積 = 一開始的母泡泡體積 - 分離後的兩個母泡泡體積

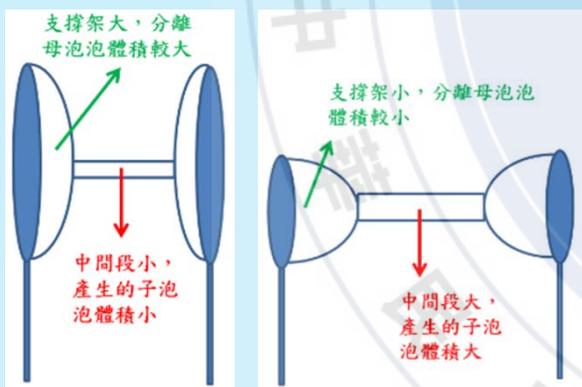
橢圓體的公式如下 $V = \frac{4\pi abc}{3}$ (其中 a、b、c 為分別沿 X、Y、Z 軸的半徑)



圖十六 橢圓體的示意圖及分離後橢圓體的母泡泡

表一 分離後的母泡泡b軸長及體積關係

支撐架直徑(cm)	b 軸長(cm)	橢圓體體積(cm ³)
6	5.05	190.4
7	5.25	269.4
8	5.35	358.6
10	5.85	612.6



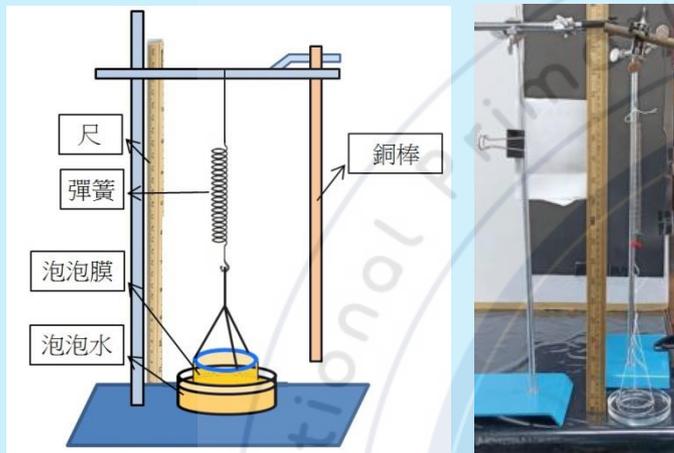
圖十七 不同大小支撐架時，分離母泡泡與中間段的示意圖



圖十八 分析母泡泡橢圓體的b軸長(由左至右為：6cm、7cm、8cm、10cm)

1. 支撐架愈大，分離母泡泡的橢圓體體積愈大。
2. 小的支撐架帶走較少空氣，其餘空氣留在子泡泡，使子泡泡更大。

自製泡泡膜表面張力儀器及表面張力計算公式

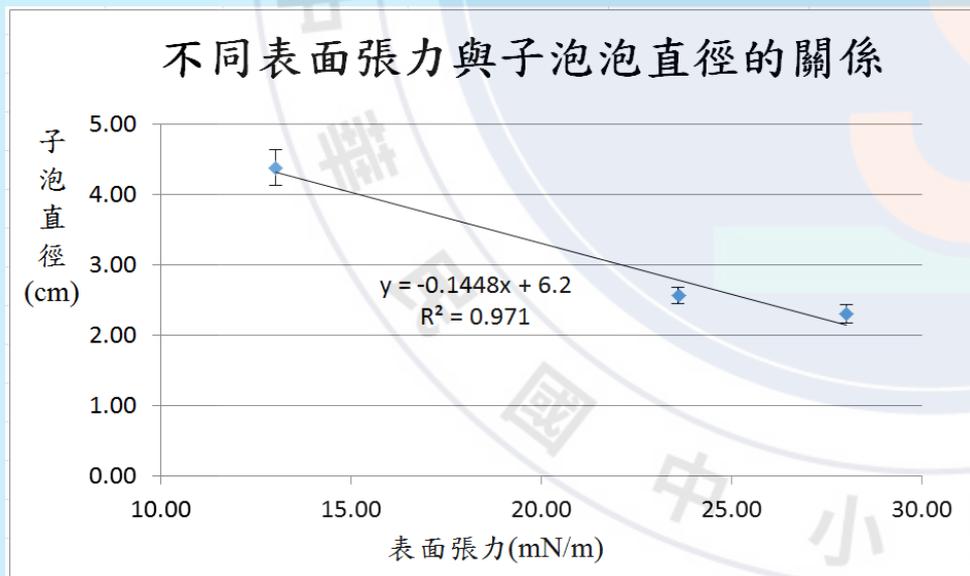


圖十九 自製表面張力測量儀器

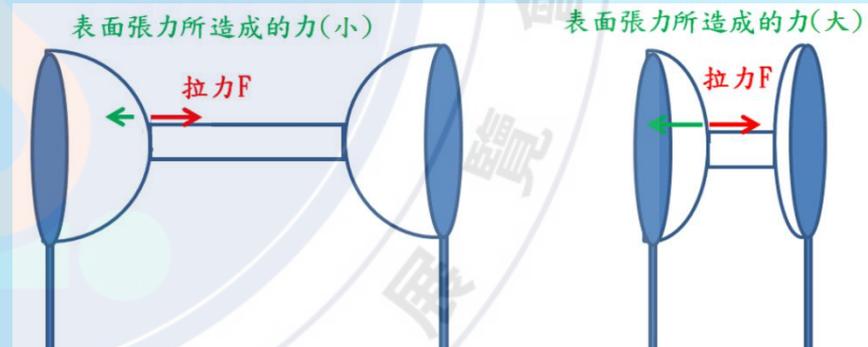
$$(2\pi R_1 + 2\pi R_2)T = k(L - L_0)$$

- T : 泡泡膜表面張力 K : 彈簧彈力常數
 R_1 : 鋼圈內徑 R_2 : 鋼圈外徑
 L_0 : 只掛鋼圈彈簧長度
 L : 彈簧受鋼圈重量及泡泡膜向下拉時的長度

探討不同表面張力的泡泡水對子泡泡大小的影響



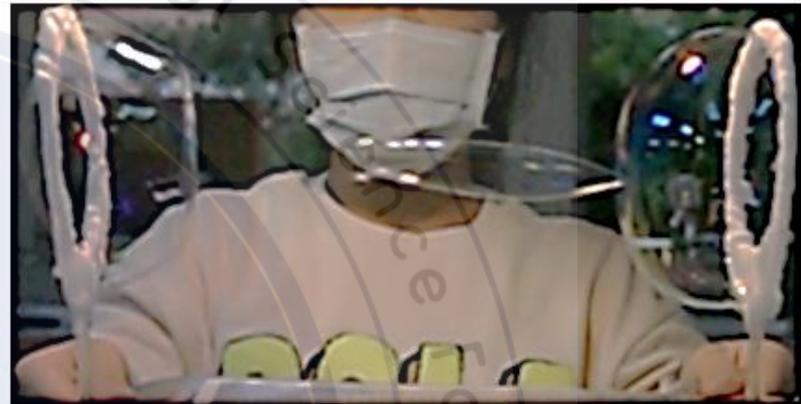
圖二十 不同表面張力的泡泡水對子泡泡大小的的關係圖



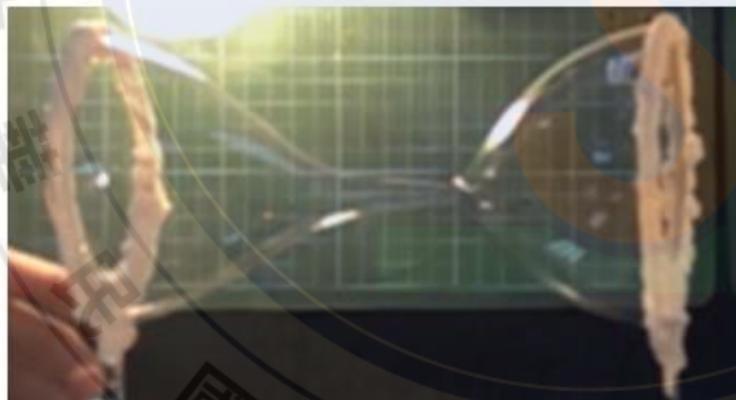
圖二十一 不同表面張力對中間斷影響示意圖

泡泡水的表面張力愈大
 → 子泡泡越小

表面張力對中間段與子泡泡的影響



(第二種泡泡水：表面張力=13.02 mN/m，子泡泡直徑=4.38 cm)



(第三種泡泡水：表面張力=23.60 mN/m，子泡泡直徑=2.57 cm)

圖二十二 表面張力對中間段與子泡泡的影響

表面張力對中間段與子泡泡的影響

表二 比較表面張力、產生子泡時間及子泡直徑的關係

泡泡水種類	表面張力 T(mN/m)	產生子泡所花時間(秒)	子泡平均直徑(cm)
第二種	13.02	3.801	4.38
第三種	23.60	2.138	2.57

子泡泡的形成，主要是由形成過程中的中間段決定的，當表面張力愈大，就會造成兩個斷裂點的曲率半徑變化愈快，所以中間段的空氣量就會變少，因此所形成的子泡也愈小。

結論

- 一. 由實驗一可得知，當拉動支撐架的速度愈大，所形成的子泡泡愈大。
- 二. 由實驗二可得知，當支撐架愈小，形成的子泡泡會愈大。
- 三. 由實驗三可得知，當母泡泡愈大，形成的子泡泡會愈大。
- 四. 由實驗四可得知，當支撐架在不同形狀的支撐架下，所形成的子泡泡大小差不多，但圓形支撐架最容易穩定形成子泡泡。
- 五. 由高速攝影分析，母泡泡與子泡泡受到表面張力與拉力的作用下，中間段在適當的曲率半徑時，會與母泡泡分離而形成子泡泡。當分離的母泡泡愈大，則子泡泡愈小。

結論

- 六. 由高速攝影分析，當母泡泡分離速度愈快，中間段較長而形成較大的子泡泡。
- 七. 由高速攝影分析，愈小的支撐架，分離後的母泡泡體積也較小，因此產生的子泡泡會比較大。
- 八. 由實驗六可以得知，當泡泡水溶液的表面張力愈大，所形成的泡泡愈小；配合高速攝影，可以發現，表面張力愈大，中間段的曲率變化愈快，所累積的空氣量愈少，因此子泡泡也較小。

參考文獻

- 一. 郭重吉等編著(民國 110 年)，自然與生活科技二上2-2水溶液，南一出版。
- 二. 郭重吉等編著(民國 110 年)，自然與生活科技三上第二章-牛頓運動，南一出版
- 三. 呂玉雯、張榮格。泡泡界的養生秘方-甘油濃度與泡泡壽命的探討。第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四. 卓靜哲等(1996)，物理化學，第九章界面化學，三民出版社。
- 五. 表面張力,維基百科, 2022/2/17取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%A0%E5%8A%9B>