

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030211

泡泡面面觀

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國一 李彥霆 國一 林冠豪 國一 陳立珩 | 指導老師： 吳孟哲 呂俊賢 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：泡膜、表面張力、虹彩

摘要

影響泡膜強度因素：1 清潔劑濃度 2 添加物極性 3 添加物 H⁺濃度 4 添加物分子結構
5 添加物礦物質濃度 6 溶液、環境溫度 7 泡泡大小 8 泡膜厚度。

泡泡越大，泡泡內壓越小，泡膜膜壓越小。

相同大小兩泡泡相連，半徑不變，總寬度縮小為 0.8 倍。體積縮小，壓力增加，

大小不同兩泡泡相連時，小泡泡半徑變大，交界面凸向大泡泡，小泡泡內壓大於大泡泡。大泡泡再吹大，小泡泡半徑也變大，交界面半徑變小。小泡泡的半徑為 R₁、大泡泡的半徑為 R₂、交界面半徑 R，其關係式接近 $(1/R)=(1/R_1)-(1/R_2)$ 。

兩相同大小的泡泡合併時，泡泡越大、礦物質濃度高，合併機率高。

泡膜虹彩顏色越鮮豔，膜強度越強，膜越厚，泡泡不易破。

壹、研究動機

用肥皂洗衣服時,可發現大量泡泡聚在一起,它們之間的排列呈現漂亮的幾何形狀,而且當一個泡泡破掉,其他泡泡又會聚在一起,到底泡泡間有什麼值得我們深入探討的原理?我們以泡泡為主題，研究其中的奧秘。

貳、研究目的

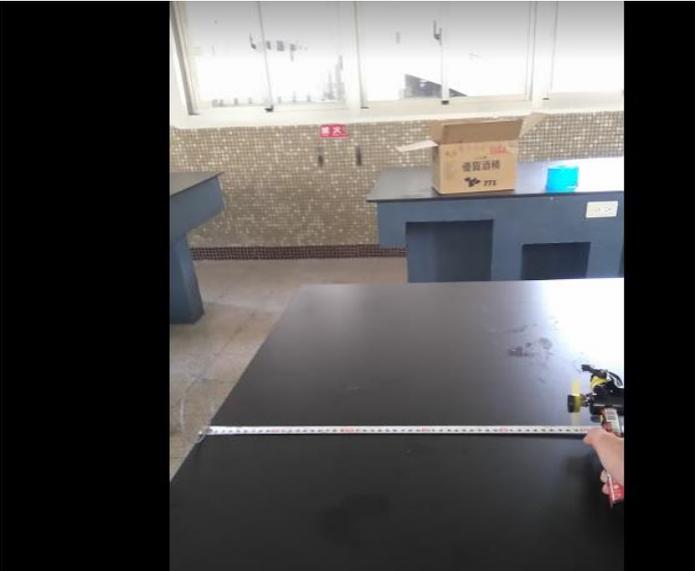
- 一、清潔劑濃度對泡泡膜強度的影響。
- 二、化學物質對泡泡膜強度的影響。
- 三、溫度對泡泡膜強度的影響。
- 四、泡膜厚度的量測。
- 五、兩泡泡相連或合併時的現象觀察。
- 六、泡泡大小對泡泡膜強度的影響。
- 七、泡泡大小對泡泡膜壓力的影響。
- 八、泡泡「虹彩顏色」的觀察。

參、研究設備及器材

| 項次 | 器材 | 項次 | 器材 |
|----|-----|----|-------|
| 1 | 清潔劑 | 2 | 甘油 |
| 3 | 水 | 4 | 電扇 |
| 5 | 電子秤 | 6 | 吸管 |
| 7 | 酒精燈 | 8 | 打火機 |
| 9 | 量杯 | 10 | 陶瓷纖維網 |
| 11 | 支架 | 12 | 乙醇 |
| 13 | 丙醇 | 14 | 丁醇 |
| 15 | 戊醇 | 16 | 甲酸 |
| 17 | 乙酸 | 18 | 硫酸 |
| 19 | 硝酸 | 20 | 氫氧化鈉 |

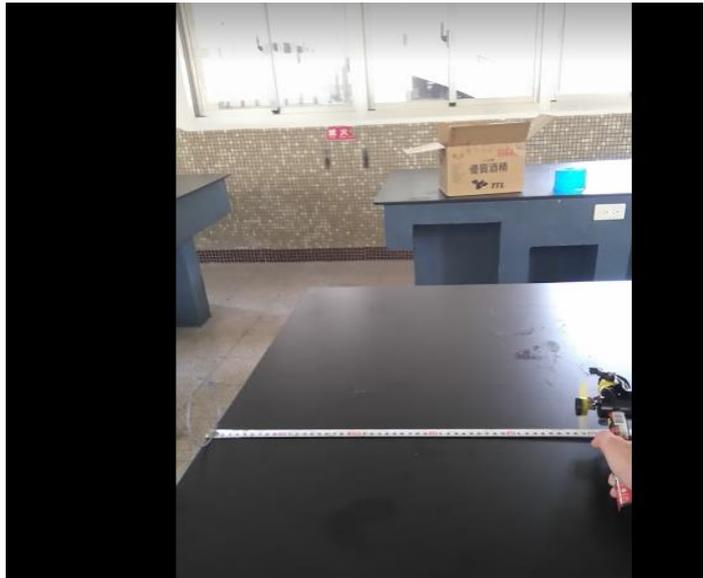
| | | | |
|----|------|----|-------|
| 21 | 氯化鎂 | 22 | 市售泡泡水 |
| 23 | 鐵環 | 24 | 線香 |
| 25 | 焊槍 | 26 | 冰塊 |
| 27 | 三用電表 | | |

肆、研究過程及方法

| | |
|--|---|
| <p>一、實驗一:測量電扇風力大小</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.裝置如右圖所示 2.改變電扇高度(依序為 10、20、30、40、45)，紀錄電子秤讀數。 |  |
| <p>二、實驗二:清潔劑濃度對泡泡膜強度的影響</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.自製泡泡水(水 10ml + 甘油 30ml + 10ml 清潔劑) 2.拉好線尺 3.放入鐵環以形成泡膜 4.打開電扇測量電扇吹破泡膜時，紀錄距離。 5.改變清潔劑濃度(水 10ml + 甘油 30ml，分別加入 10ml、30ml、50ml 洗衣精。) 6.將鐵環拉出泡泡膜，測膜最高距離。 |  |

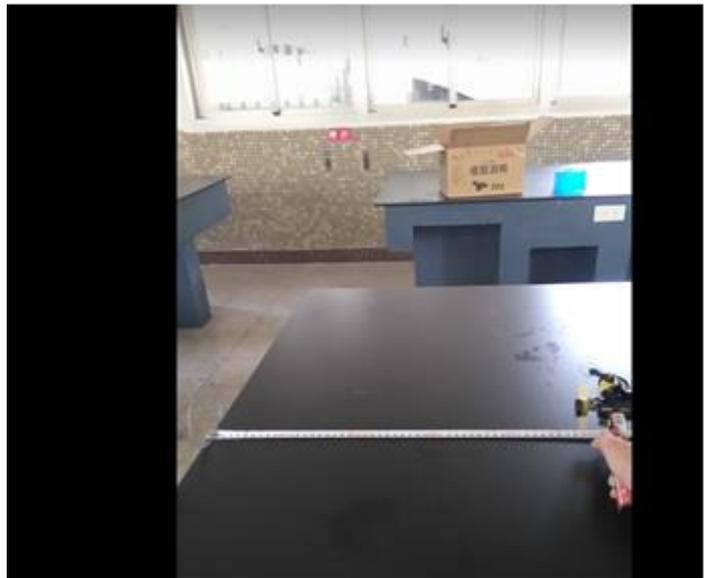
三、實驗三:化學物質對泡泡膜強度的影響。

- 1.準備市售泡泡水，並以鐵環形成膜，以電扇吹破泡膜時，紀錄距離。
- 2.每次添加 0.05mole 乙醇(依序為 0.05mole、0.10mole、0.15mole)，並以鐵環形成膜，以電扇吹破泡膜時，紀錄距離。
- 3.將乙醇改為丙醇、丁醇、戊醇、甲酸、乙酸、硫酸、硝酸，重複步驟 1、2。
- 4.每次添加 1.5mL 1M NaOH，重複步驟 1、2。
5. 每次添加 1 克 氯化鎂，重複步驟 1、2。



四、實驗四:溫度對泡泡膜強度的影響

- 1.操作如同實驗二
- 2.以酒精燈加熱泡泡水溶液
- 3.改變不同溫度(依序為 20°C、50°C、70°C、80°C)。



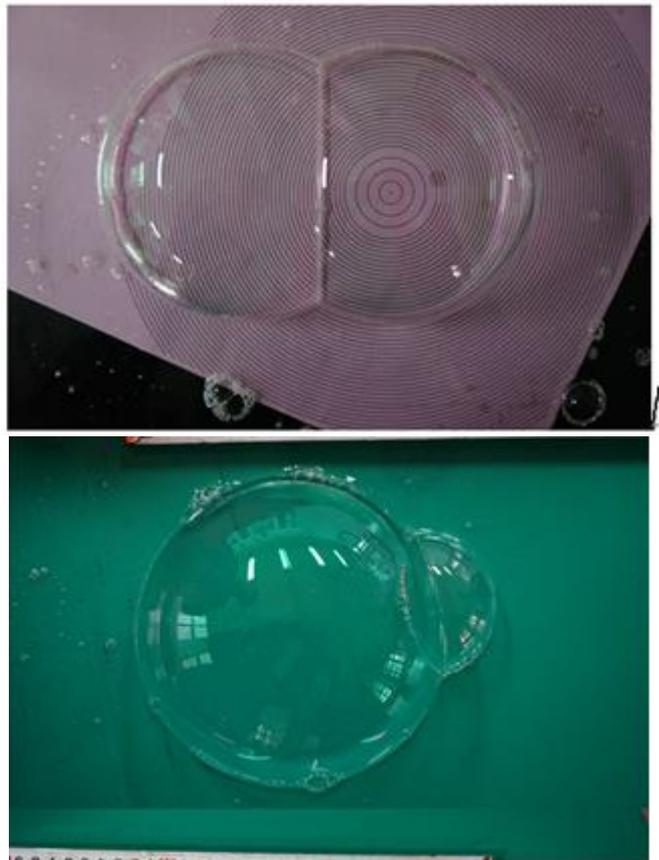
五、實驗五:泡膜厚度的量測。

- 1.在小燒杯倒入 1.5mL 泡泡水，並以尺量測水溶液深度。
- 2.將三用電表兩電極間距固定，量測鈕對準『電阻 2M』。
- 3.將兩電極插入小燒杯水溶液，量測溶液電阻大小。
- 4.再加入 1.5mL 泡泡水於小燒杯中，重複步驟 1。
- 5.以泡泡水吹出泡泡，量測泡泡直徑。
- 6.重複步驟 2、3。
- 7.以吸管將泡泡吹大，重複步驟 2、3。



六、實驗六:兩泡泡相連、合併時的現象

- 1.準備泡泡水(水 10ml + 甘油 30ml + 10ml 清潔劑)。
- 2.以吸管吹出兩個相同大小或不同大小泡泡並使其相連、合併
- 3.觀察各種現象



七、實驗七:泡泡大小對泡膜強度的影響

- 1.準備泡泡水(水 10ml + 甘油 30ml + 10ml 清潔劑)。
- 2.吸管分別吹出直徑 10cm、15cm、20 cm 泡泡。
- 3.以滴管吸油,在泡泡上方垂直滴下。
- 4.以尺量測油珠滴穿泡泡時高度。
- 5.準備市售泡泡水,吹泡泡後量測泡泡大小。
- 6.在泡泡正頂上方,固定 20cm 處以滴管吸取食用油後滴下。
- 7.以吸管家泡泡吹大,量測泡泡大小後,重複步驟 8。



八、實驗八:泡泡大小對泡泡膜壓力的影響。

- 1.準備市售泡泡水,以針筒注入定量空氣形成泡泡後量測泡泡大小。

九、觀察泡泡虹彩

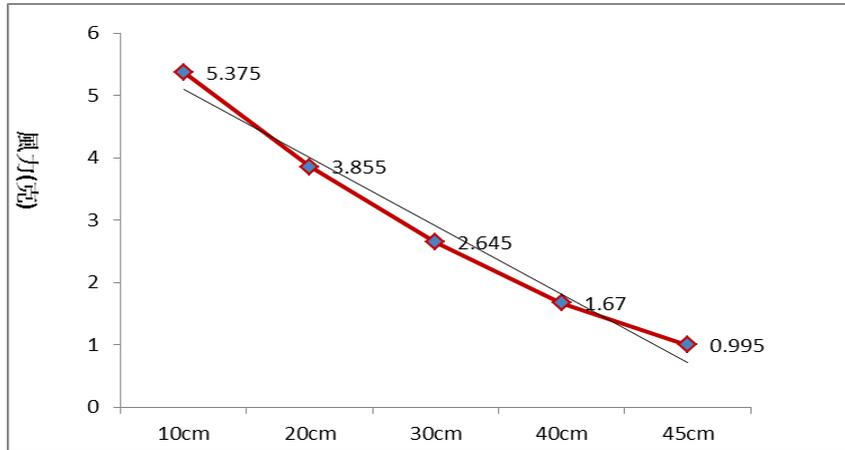
- 1.以吸管對泡泡以不同位置、角度吹氣,觀察虹彩
- 2.改變溫度,以焊槍靠近泡泡,觀察虹彩
- 3.改變溫度,以冰塊靠近泡泡,觀察虹彩



伍、研究結果

實驗一：量測電扇風力大小

| | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|------|-------|
| 電扇距電子秤 | 10cm | 20cm | 30cm | 40cm | 45cm |
| 平均(克) | 5.375 | 3.855 | 2.645 | 1.67 | 0.995 |



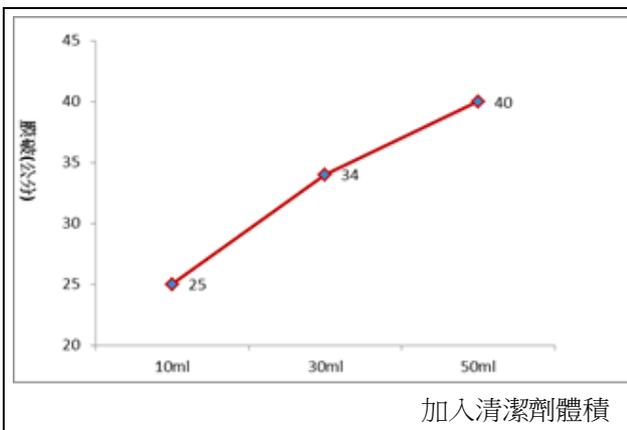
實驗二：清潔劑濃度對泡泡膜強度的影響

(一)以水 10ml + 甘油 30ml，分別加入 10ml、30ml、50ml 清潔劑，自製泡泡水，以電扇測泡膜強度。

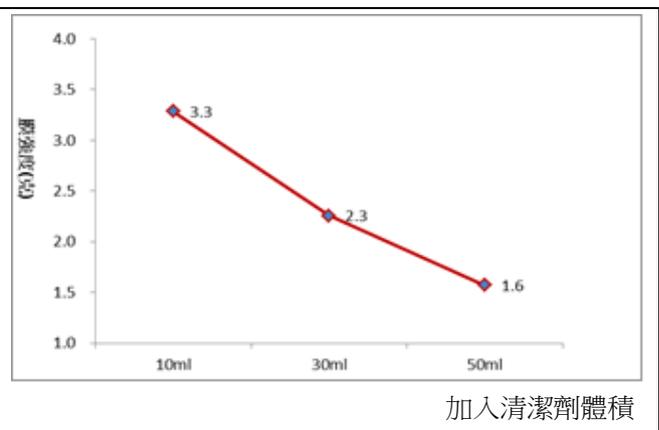
(二) 以水 10ml + 甘油 30ml，分別加入 10ml、30ml、50ml 洗衣精，自製泡泡水，以鐵環拉膜，測量泡泡在不同濃度下的最大高度。。

(三) 以水 10ml + 甘油 30ml，分別加入 10ml、30ml、50ml 洗衣精，自製泡泡水，以吸管吹泡泡，測量泡泡在不同濃度下的最大直徑。

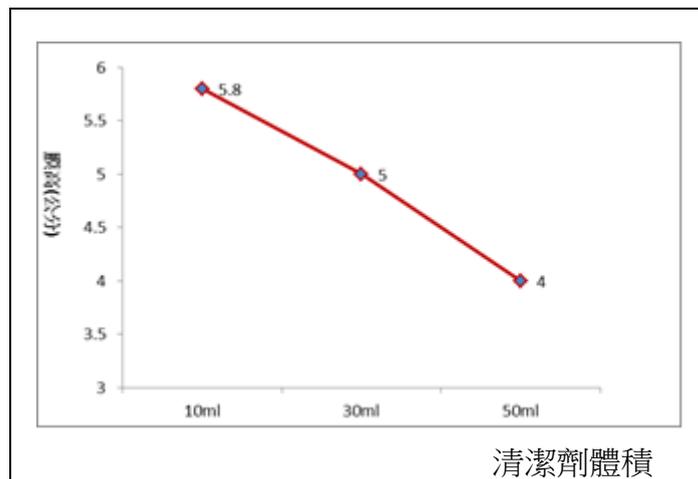
| 清潔劑 | 10ml | 30ml | 50ml |
|--------|------|------|------|
| 膜破 cm | 25 | 34 | 40 |
| 膜強度 gw | 3.3 | 2.3 | 1.6 |
| 膜高 cm | 5.8 | 5 | 4 |



加入清潔劑體積



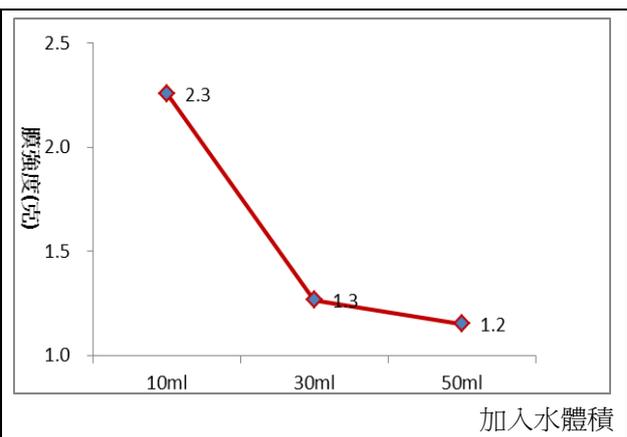
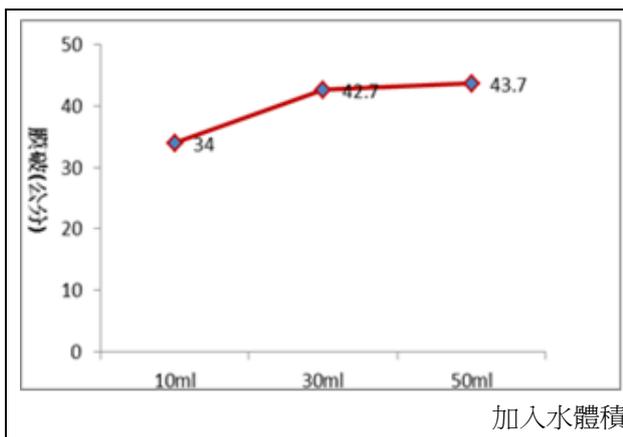
加入清潔劑體積



(四) 水多寡對泡泡膜強度的影響

以清潔劑 30ml + 甘油 30ml，分別加入 10ml、30ml、50ml 水，自製泡泡水，測泡膜強度。

| 水 | 10ml | 30ml | 50ml |
|--------|------|------|------|
| 膜破 cm | 34 | 42.7 | 43.7 |
| 膜強度 gw | 2.3 | 1.3 | 1.2 |

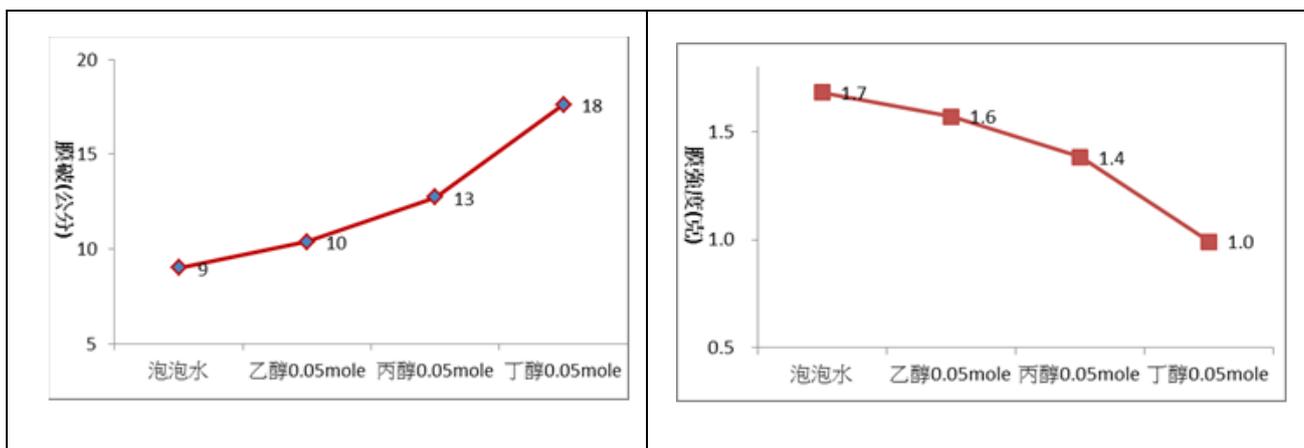


實驗三：化學物質對泡膜強度的影響

(一) 不同碳鏈數的比較

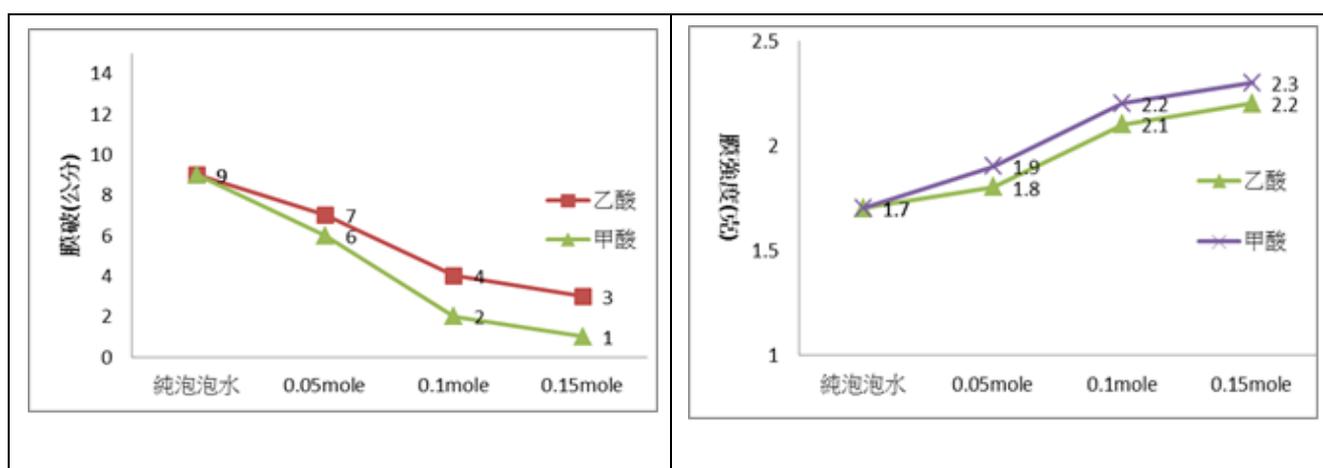
1. 以泡泡水分別加乙醇、丙醇、丁醇、戊醇，測泡膜強度。

| 溶劑 | 泡泡水 | 乙醇 0.05mole | 丙醇 0.05mole | 丁醇 0.05mole | 戊醇 0.05mole |
|--------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 膜破 cm | 9 | 10 | 13 | 18 | 不成膜 |
| 膜強度 gw | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.0 | 0 |



2. 以泡泡水分別加入甲酸、乙酸，測泡膜強度。

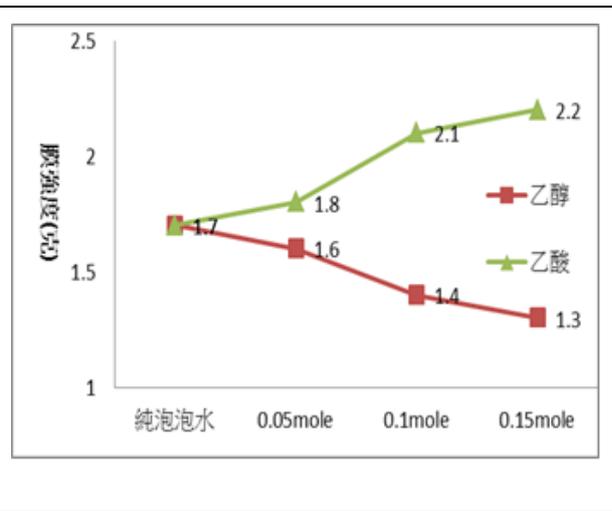
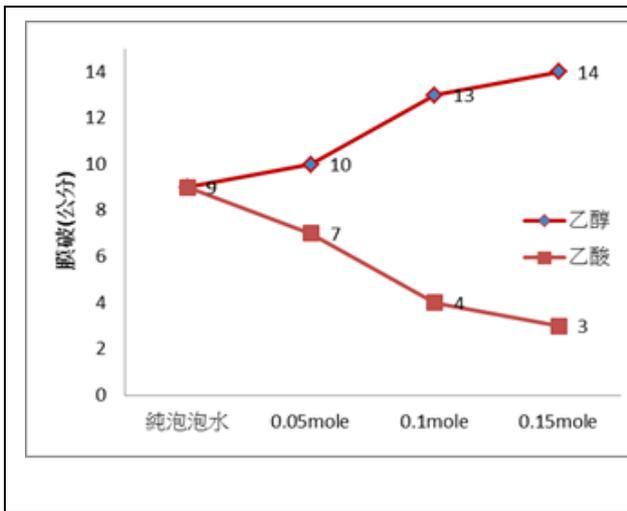
| | 膜破 cm | | 膜強度 gw | |
|----------|-------|----|--------|-----|
| | 乙酸 | 甲酸 | 乙酸 | 甲酸 |
| 純泡泡水 | 9 | 9 | 1.7 | 1.7 |
| 0.05mole | 7 | 6 | 1.8 | 1.9 |
| 0.1mole | 4 | 2 | 2.1 | 2.2 |
| 0.15mole | 3 | 1 | 2.2 | 2.3 |



(二) 不同官能基的比較

1. 以泡泡水分別加乙醇、乙酸，測泡膜強度。

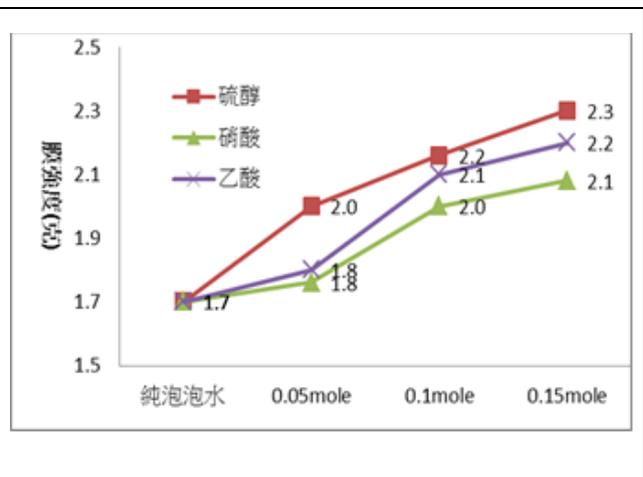
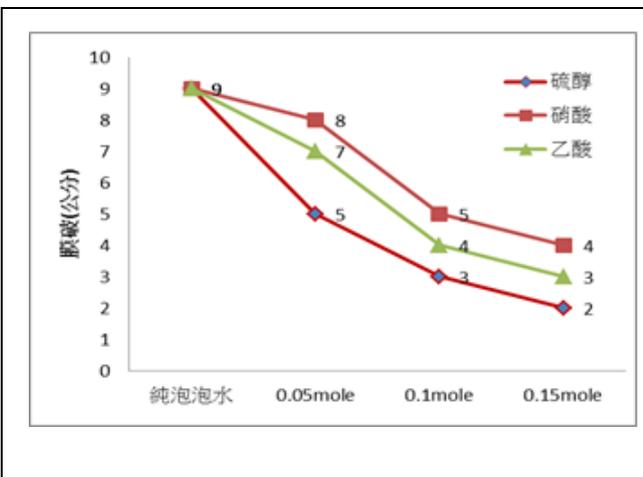
| | 膜破 cm | | 膜強度 gw | |
|----------|-------|----|--------|-----|
| | 乙醇 | 乙酸 | 乙醇 | 乙酸 |
| 純泡泡水 | 9 | 9 | 1.7 | 1.7 |
| 0.05mole | 10 | 7 | 1.6 | 1.8 |
| 0.1mole | 13 | 4 | 1.4 | 2.1 |
| 0.15mole | 14 | 3 | 1.3 | 2.2 |



(三)有機酸、無機酸的比較

1. 以泡泡水分別加入硫酸、硝酸、乙酸，測泡膜強度。

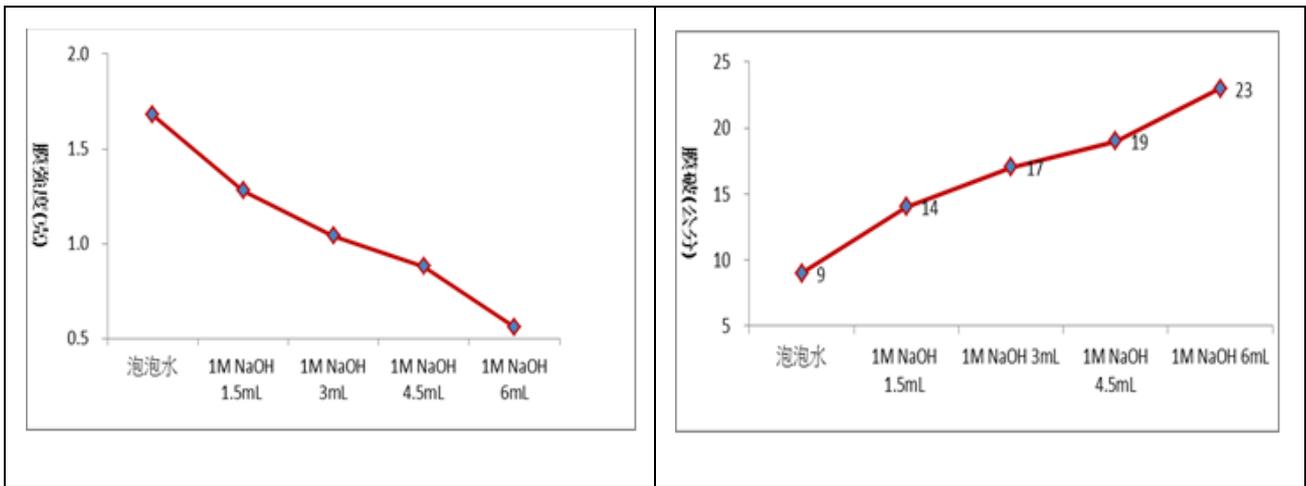
| | 膜破 cm | | | 膜強度 gw | | |
|----------|-------|----|----|--------|-----|-----|
| | 硫酸 | 硝酸 | 乙酸 | 硫酸 | 硝酸 | 乙酸 |
| 純泡泡水 | 9 | 9 | 9 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| 0.05mole | 5 | 8 | 7 | 2.0 | 1.8 | 1.8 |
| 0.1mole | 3 | 5 | 4 | 2.2 | 2.0 | 2.1 |
| 0.15mole | 2 | 4 | 3 | 2.3 | 2.1 | 2.2 |



(四)鹼性物質的影響

1. 泡泡水、1M 氫氧化鈉，測泡膜強度。

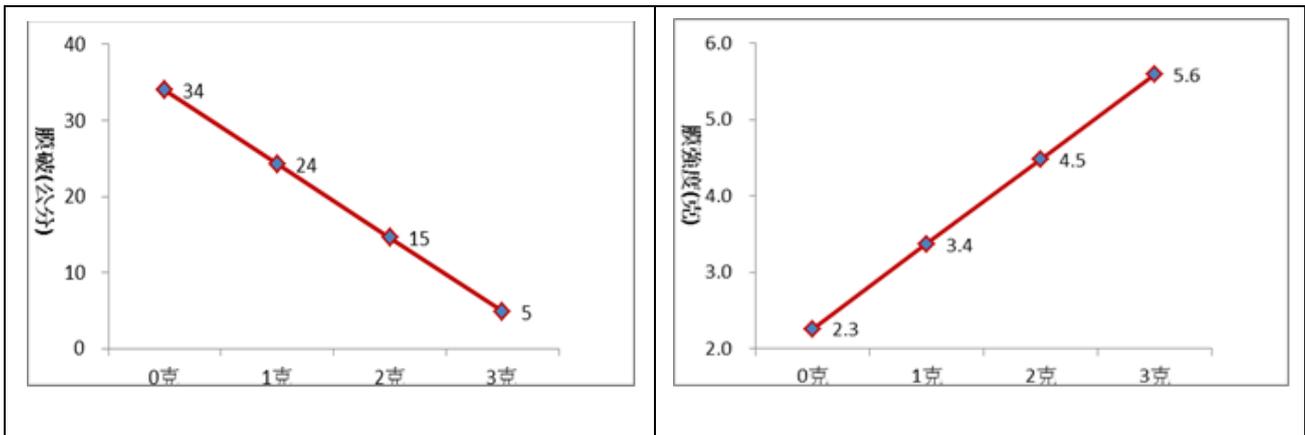
| | 水 10ml | 1M NaOH 1.5mL | 1M NaOH 3mL | 1M NaOH 4.5mL | 1M NaOH 6mL |
|-------|--------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| 膜破 cm | 9 | 14 | 17 | 19 | 23 |
| 膜強度 g | 1.7 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 0.6 |



(五)礦物質對泡泡膜強度的影響

1. 以 10ml 水 + 清潔劑 30ml + 甘油 30ml，自製泡泡水，分別加入 1g、2g、3g 氯化鎂，測泡泡膜強度。

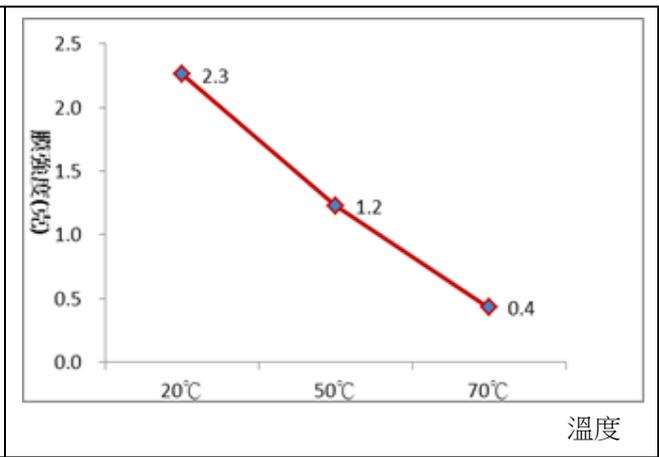
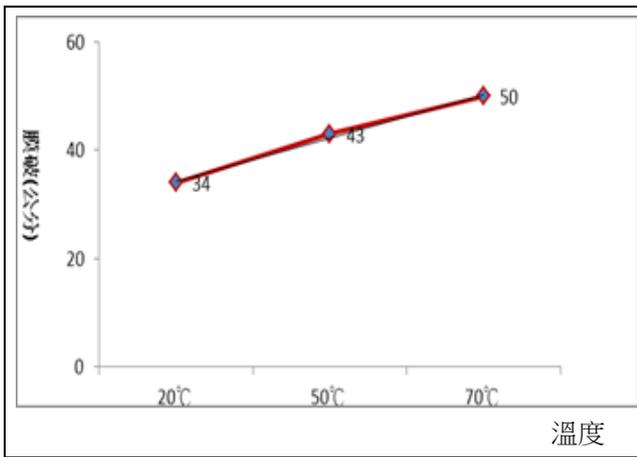
| | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 氯化鎂 | 0 克 | 1 克 | 2 克 | 3 克 |
| 膜破 cm | 34 | 24 | 15 | 5 |
| 膜強度 gw | 2.3 | 3.4 | 4.5 | 5.6 |



實驗四：溫度對泡泡膜強度的影響

以 10ml 水 + 清潔劑 30ml + 甘油 30ml，分別加熱至 20°C、50°C、70°C、80°C，測泡泡膜強度。

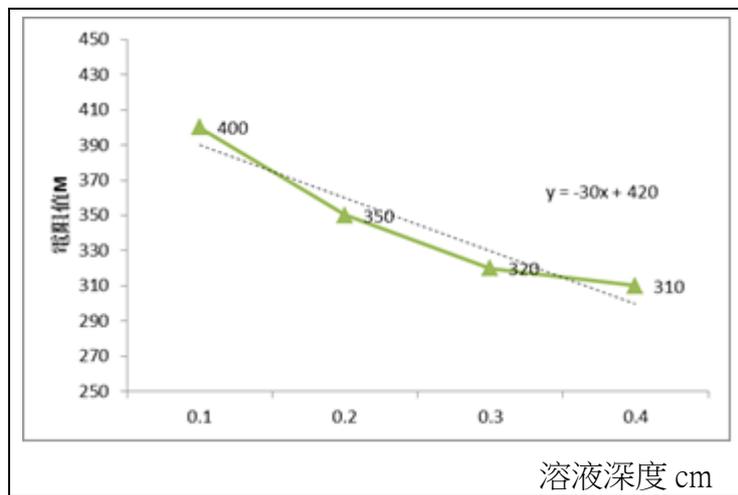
| | | | | |
|-------|------|------|------|------|
| 溫度 | 20°C | 50°C | 70°C | 80°C |
| 膜破 cm | 34 | 43 | 50 | 不成膜 |
| 膜強度 g | 2.3 | 1.2 | 0.4 | --- |



實驗五：泡膜厚度的量測

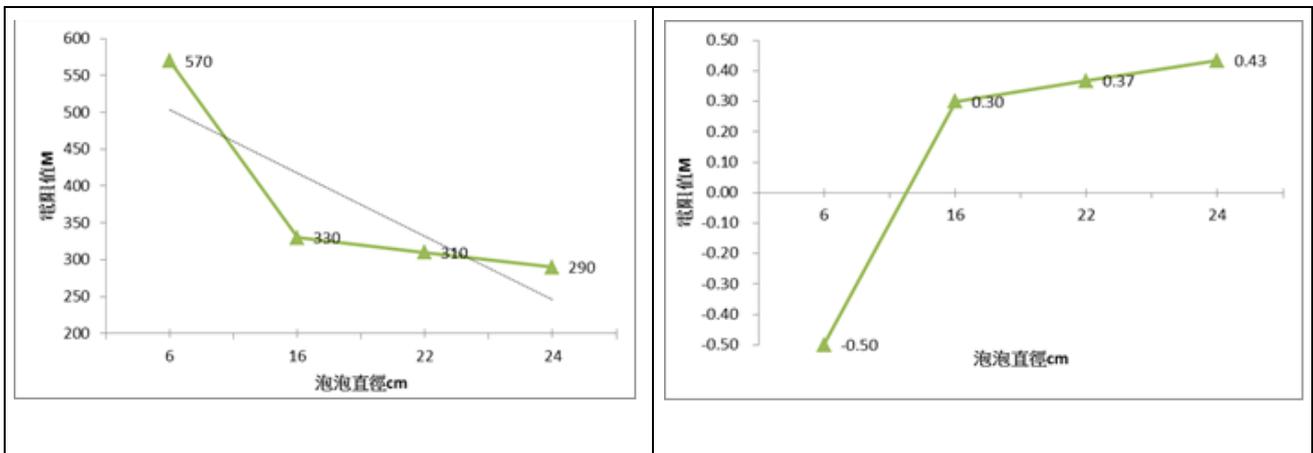
(一)以市售泡泡水做水溶液深度與電阻大小關係

| | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| 溶液深度 cm | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| 電阻值 M(Ω) | 400 | 350 | 320 | 310 |



(二) 以市售泡泡水做水溶液深度與電阻大小關係

| | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| 泡泡直徑 cm | 6 | 16 | 22 | 24 |
| 電阻值 M(Ω) | 570 | 330 | 310 | 290 |

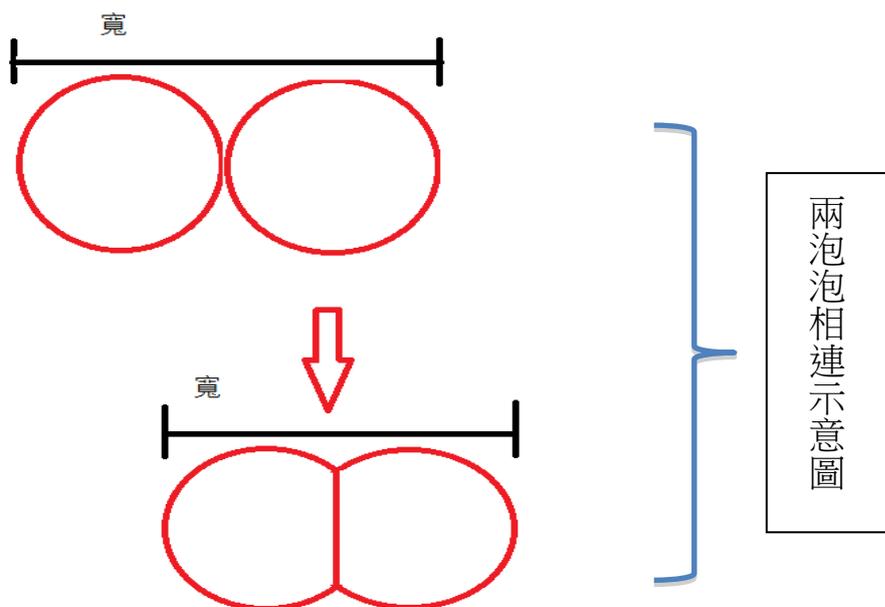


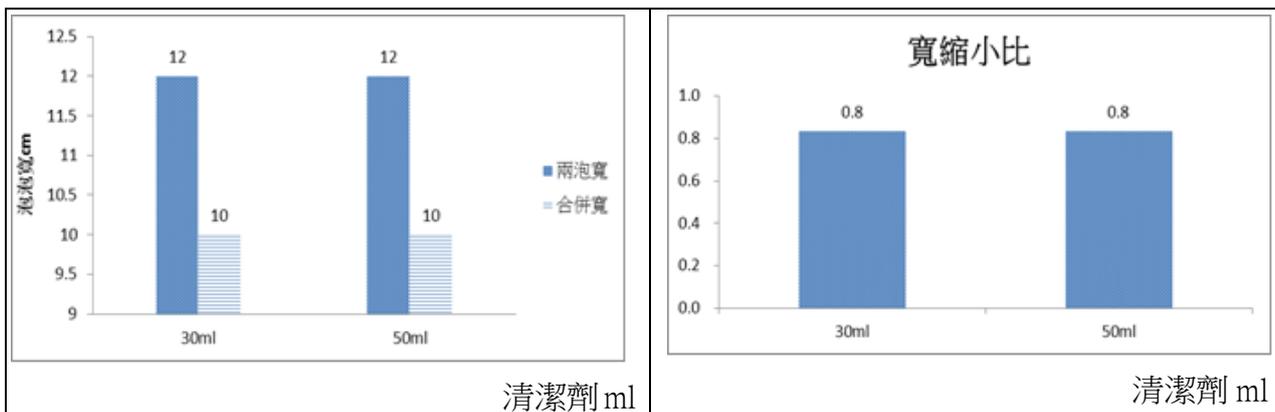
實驗六：兩泡泡相連、合併時的現象

(一) 不同濃度清潔劑，相同大小泡泡相連，測量寬度變化

1. 以水 10ml + 甘油 30ml，分別加入 30ml、50ml 洗衣精，自製泡泡水，吹出兩相同大小泡泡後，測其相連之後的寬度。

| 清潔劑 | 30ml | 50ml |
|--------|------|------|
| 兩泡寬 cm | 12 | 12 |
| 合併寬 cm | 10 | 10 |
| 寬縮小比 | 0.8 | 0.8 |

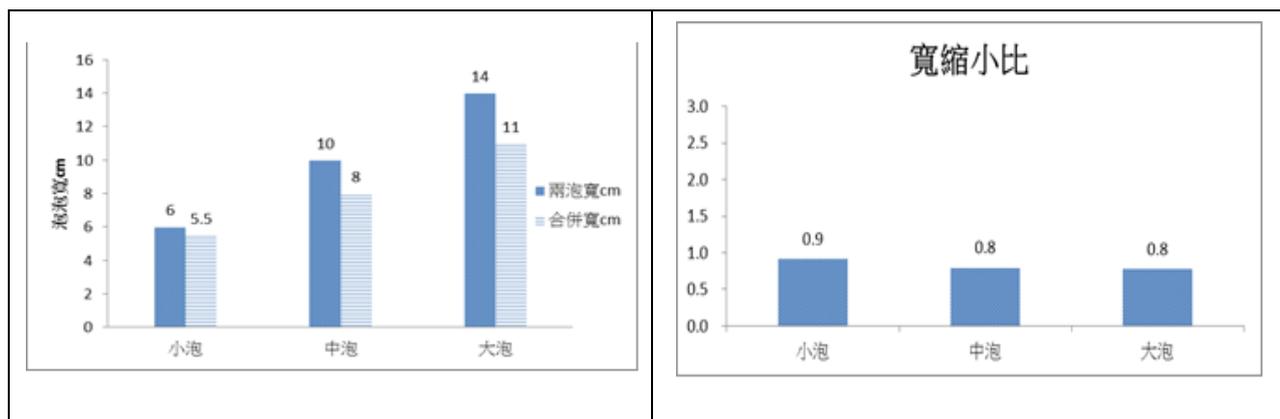




(二) 同濃度清潔劑，不同大小兩泡泡相連，測量寬度變化

以水 10ml + 甘油 30ml + 30ml 洗衣精，吹出小、中、大，兩相同大小泡泡三組後，分別測其相連後寬。

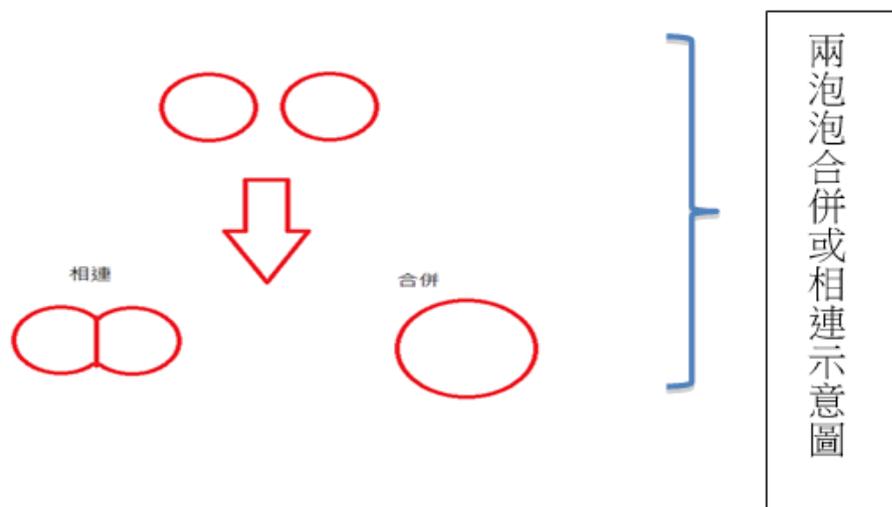
| 泡泡大小 | 小泡 | 中泡 | 大泡 |
|--------|-----|-----|-----|
| 兩泡寬 cm | 6 | 10 | 14 |
| 相連寬 cm | 5.5 | 8 | 11 |
| 寬縮小比 | 0.9 | 0.8 | 0.8 |



(三) 不同濃度清潔劑，相同大小泡泡相連，測合併機率

以水 10ml + 甘油 30ml，分別加入 10ml、30ml 洗衣精，吹出兩相同大小泡泡五組後，測其合併機率。

| 清潔劑 | 10ml | 30ml |
|----------|------|------|
| 五組中有幾組合併 | 0 | 0 |
| 合併機率 | 0 | 0 |



(四) 同濃度清潔劑，不同大小泡泡相連，測合併機率

1. 以水 10ml + 甘油 30ml + 洗衣精 10ml，吹出大、中、小，兩相同大小泡泡五組後，測其合併機率。

| 泡泡直徑 | 6cm | 10cm | 14cm |
|----------|-----|------|------|
| 五組中有幾組合併 | 0 | 0 | 2 |
| 合併機率 | 0 | 0 | 40% |

(五) 礦物質對泡泡合併的影響

1. 以水 10ml + 甘油 30ml + 洗衣精 10ml，加入氯化鎂 3g，吹出直徑 14cm 泡泡五組後，測其合併機率。

| 氯化鎂 | 0 克 | 3 克 |
|----------|-----|-----|
| 五組中有幾組合併 | 2 | 4 |
| 合併機率 | 40% | 80% |

(六) 大小不同泡泡，相連時交界面的變化

1. 以水 10ml + 甘油 30ml + 洗衣精 30ml，自製泡泡水，吹出半徑 2cm 的小泡泡，再分別吹出 4.5、6.6、9.6 的大泡泡，使其相連，如圖 6-1 所示。

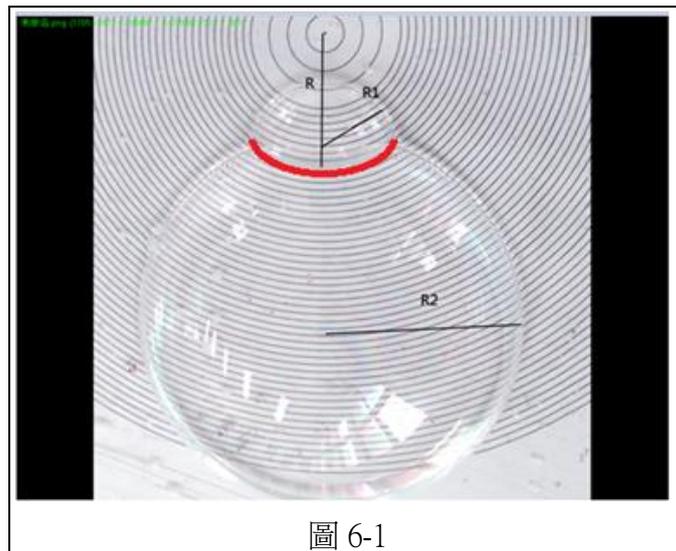
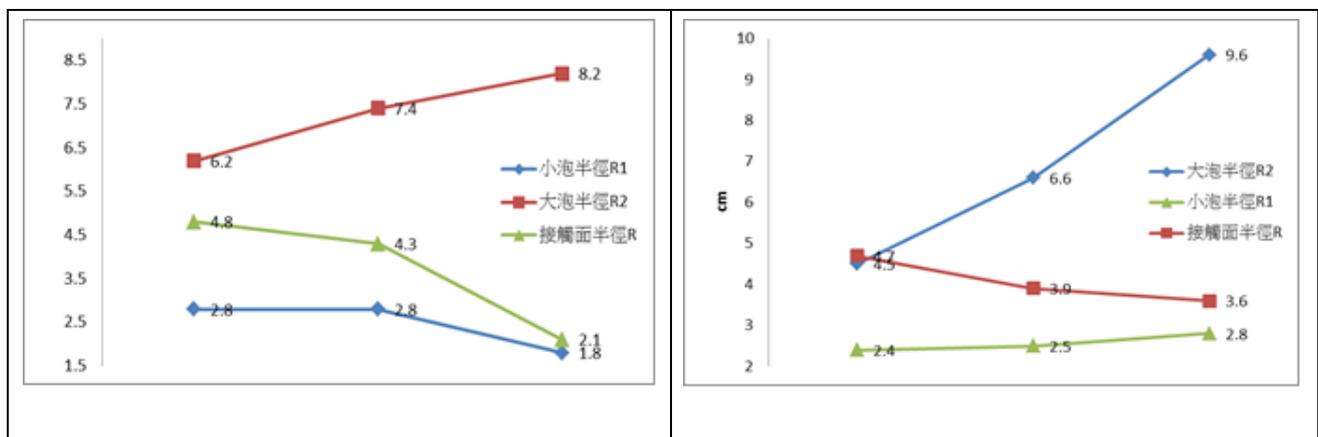


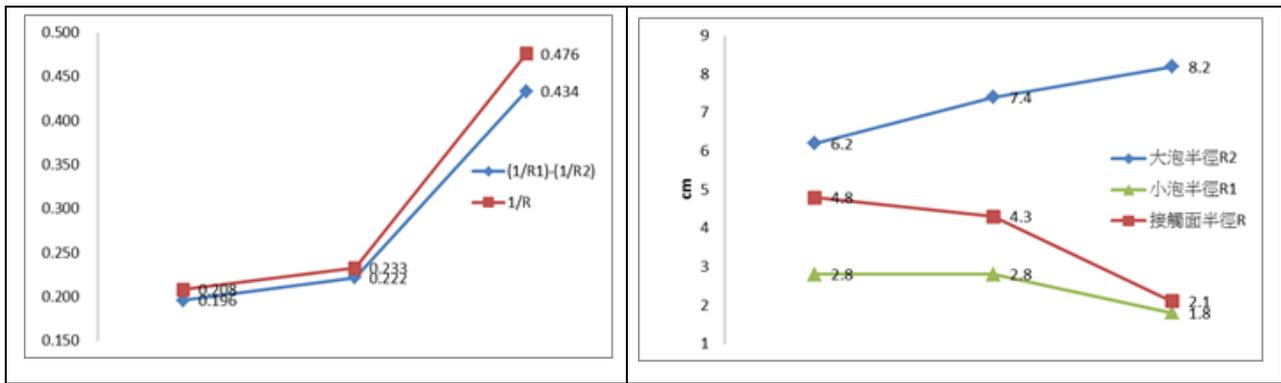
圖 6-1

| | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 小泡半徑 R1 | 2.4 | 2.5 | 2.8 |
| 大泡半徑 R2 | 4.5 | 6.6 | 9.6 |
| 接觸面半徑 R | 4.7 | 3.9 | 3.6 |
| $1/R1$ | 0.417 | 0.400 | 0.357 |
| $1/R2$ | 0.222 | 0.152 | 0.104 |
| $(1/R1)-(1/R2)$ | 0.194 | 0.248 | 0.253 |
| $1/R$ | 0.213 | 0.256 | 0.278 |



2.以水 10ml + 甘油 30ml + 洗衣精 40ml，自製泡泡水，吹出小泡泡，再分別吹出 6.2、7.4、8.2 的大泡泡，使其相連

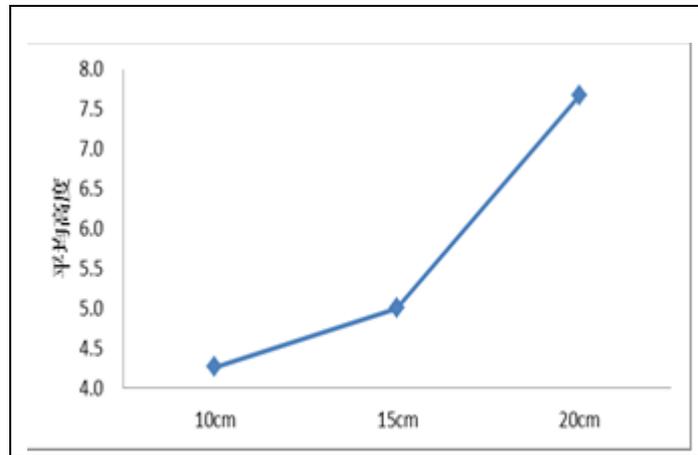
| | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 小泡半徑 R1(cm) | 2.8 | 2.8 | 1.8 |
| 大泡半徑 R2(cm) | 6.2 | 7.4 | 8.2 |
| 接觸面半徑 R(cm) | 4.8 | 4.3 | 2.1 |
| $1/R1$ | 0.357 | 0.357 | 0.556 |
| $1/R2$ | 0.161 | 0.135 | 0.122 |
| $(1/R1)-(1/R2)$ | 0.196 | 0.222 | 0.434 |
| $1/R$ | 0.208 | 0.233 | 0.476 |



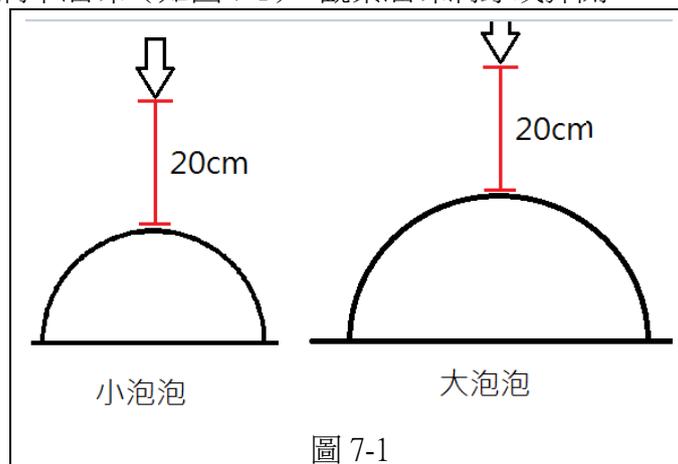
實驗七：泡泡大小對泡膜強度的影響

(一) 以水 10ml + 甘油 30ml + 10ml 洗衣精，以吸管分別吹出直徑 10cm、15cm、20 泡泡，再以吸管在泡泡頂端(90°)滴下油珠，以尺量多高能滴穿泡膜，操作數組後求平均值。

| 泡泡直徑 | 10cm | 15cm | 20cm |
|------------|------|------|------|
| 平均低穿高度(cm) | 4.3 | 5.0 | 7.7 |



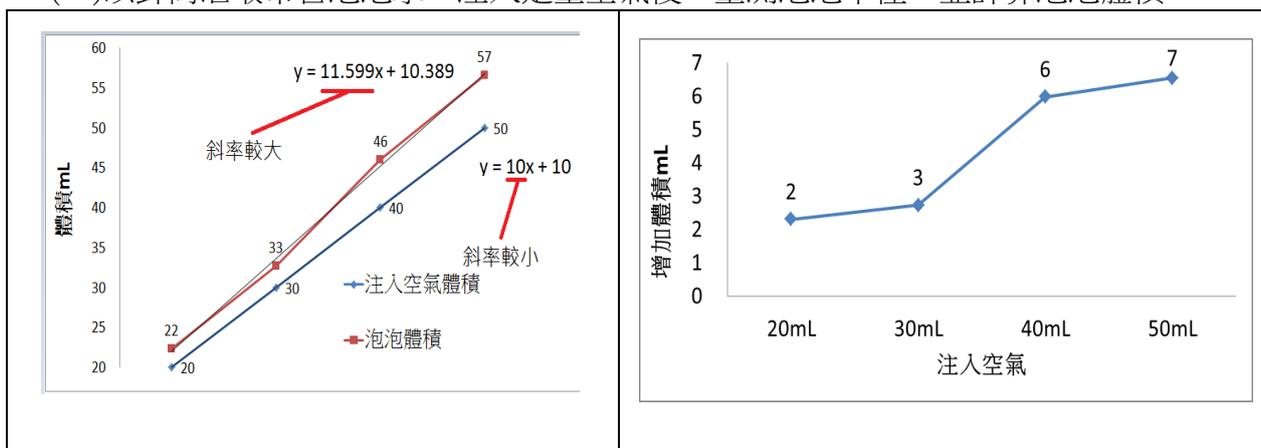
(二)以泡泡水吹出泡泡後用吸管緩慢吹大，再以滴管吸取食用油，在泡泡頂端(90°)，固定高度 20cm 處滴下油珠（如圖 7-1），觀察油珠滴穿或彈開。



| 直徑 cm | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 結果 | 滴穿 | 滴穿 | 滴穿 | 滴穿 | 彈開 | 滴穿 | 滴穿 | 滴穿 | 滴穿 |

實驗八、泡泡大小對泡泡膜壓力的影響。

(一)以針筒沾取市售泡泡水，注入定量空氣後，量測泡泡半徑，並計算泡泡體積。



實驗九、觀察泡泡虹彩顏色

(一) 當泡泡剛形成時，造成膜表面的虹彩雜亂無章，如 A 圖，在擾動的過程中常常看到漩渦狀的虹彩，無視地心引力的上下打轉、流動，如 B 圖。最後虹彩穩定時，會從上至下一圈一圈均勻分佈，如 C 圖。



圖 A

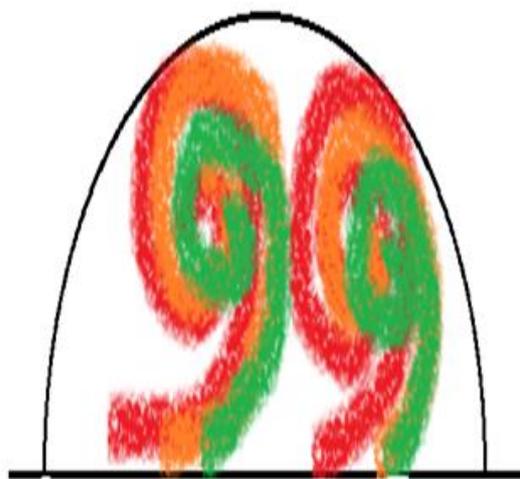


圖 B



圖 C

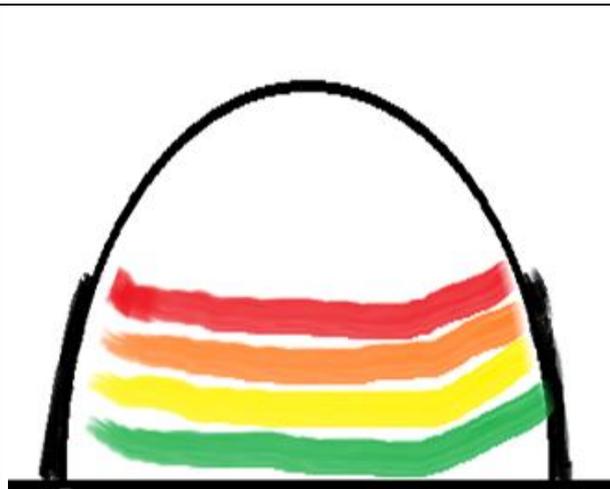


圖 D

(二) 當泡泡處於 C 圖的狀況時，泡泡不易破，但如果穩定分佈的虹彩突然又產生擾動如 A、B 圖，泡泡一下就破了。

泡泡剛形成時，如果虹彩很鮮豔，泡泡就不易破，能維持很久。反之，若虹彩很淡甚至看不到，則泡泡一下子就破裂。

(三) 穩定均勻分佈的虹彩，過了一陣子頂端的紅彩會往下掉，形成上層無虹彩，下層虹彩變窄，變密實，如 D 圖。這樣的泡泡，易破。

(四) 當虹彩呈漩渦狀流動時，有時順時針，有時逆時針流動。以點燃的線香靠近均勻分佈的虹彩時，發現虹彩會開始擾動如 E 圖，而且流動的流向和線香的煙流動方向一致。



圖 E

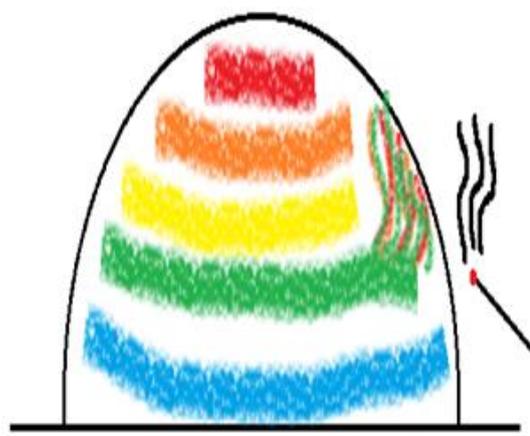
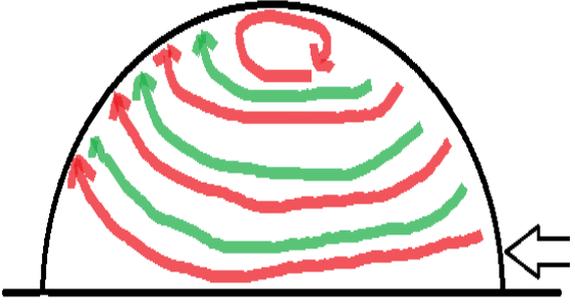
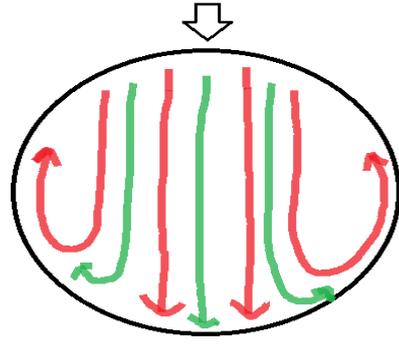
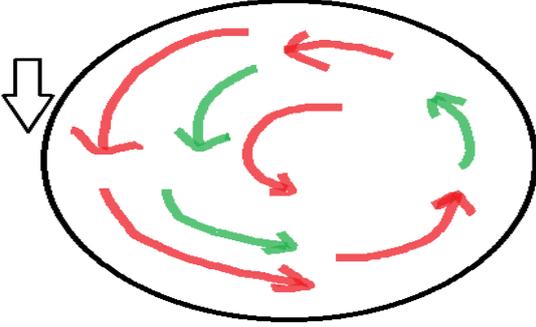
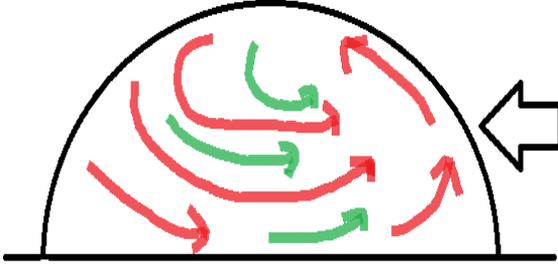
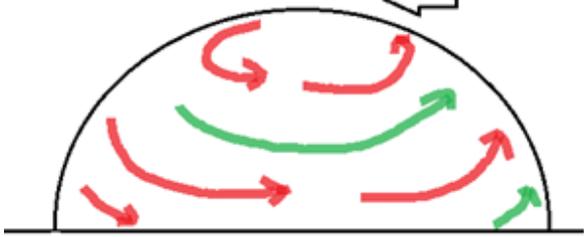
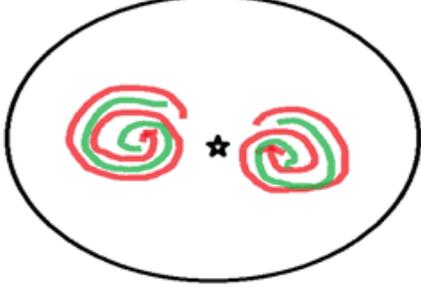


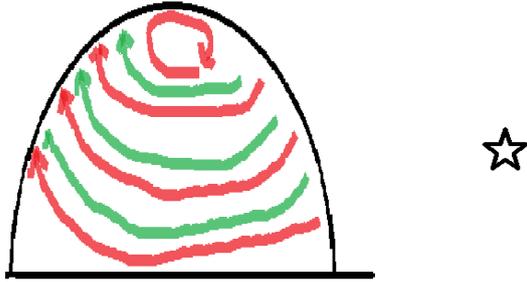
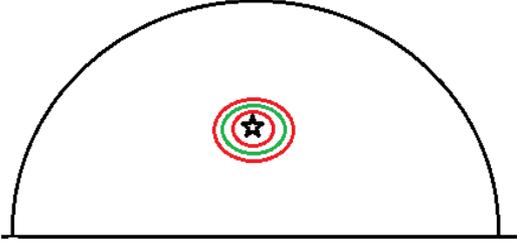
圖 E

(五)以不同位置、角度用吸管對泡泡吹氣，觀察虹彩流動，本實驗整理如下表。

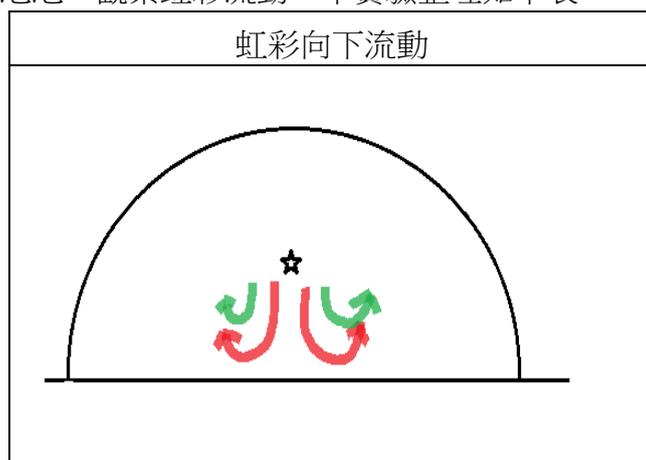
| | |
|---|--|
| 泡泡低點、側邊、平行吹 | 泡泡低點、中間、平行吹 |
|  |  |
| 泡泡中間高度、側邊、平行吹 | 泡泡中間高度、中間、平行吹 |
|  |  |
| 泡泡頂端、中間、平行吹 | 泡泡頂端、中間、垂直吹 |
|  |  |

(六) 改變周遭溫度，觀察虹彩流動。

1. 以焊槍靠近泡泡，觀察虹彩流動，本實驗整理如下表。

| | |
|---|--|
| 焊槍離泡泡遠 | 焊槍離泡泡近 |
|  |  |

2. 以冰塊靠近泡泡，觀察虹彩流動，本實驗整理如下表。



(七) 當泡泡虹彩均勻分佈且穩定時，再加入水或清潔劑均會使虹彩變淡，泡泡易破。但加入甘油則無影響。

(八) 當兩個泡泡相連時，會形成三個泡膜，分別是上下兩個泡泡膜及中間的交界面膜，如 E 圖。如果在上泡泡旁邊吹氣，則上泡泡膜虹彩繪開始擾動，但下泡泡及交界面膜虹彩沒有擾動。

(九) 兩泡泡在相連時，溶液會沿著交界面外的圓弧向上爬升，如 F 圖。



圖 E

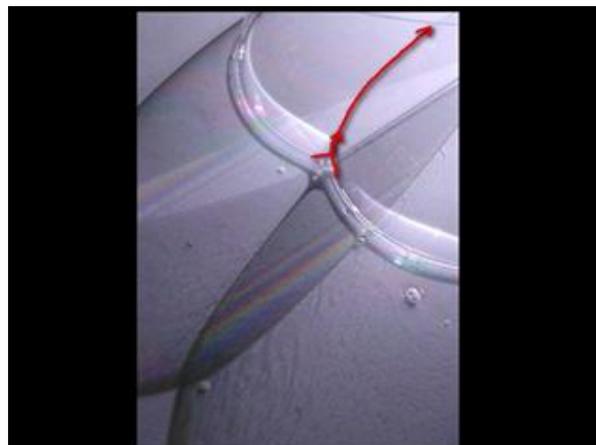


圖 F

陸、討論

由文獻中提到水中添加清潔劑(界面活性劑)能形成泡泡，是因為清潔劑會降低水的表面張力，清潔劑越多，水的表面張力越小。因此我們從這個基礎上開始分析實驗數據。

一、清潔劑濃度對泡泡膜強度、延展度的影響

不同濃度清潔劑對泡泡表面張力有何影響，這樣的研究在網路非常多。我們著眼點在於找出影響泡膜強度的因素，並無意於尋找最佳參數。當水、甘油體積固定時，清潔劑越少，泡泡膜越難用電扇吹破，代表膜強度越強，膜也可以拉越長，代表延展性越好。我們推論泡泡膜強度和水表面張力成正比，表面張力越大，膜強度越強，延展性也好。

二、化學物質對泡泡膜強度的影響。

(一)不同碳鏈數的比較

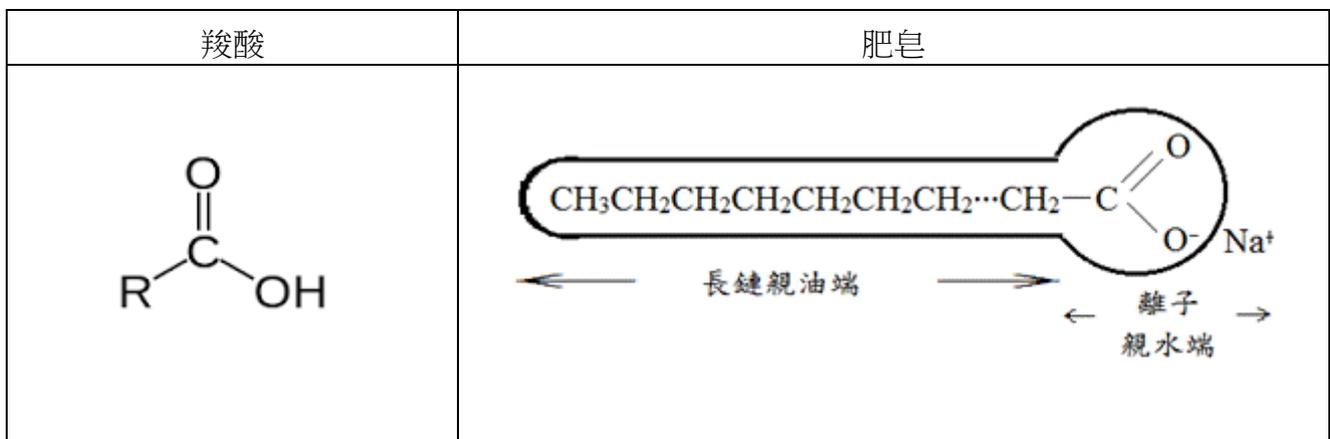
我們好奇分子極性是否會引響泡膜強度？翻閱資料得知碳鏈數越多極性會減弱，所以我們在市售泡泡水中分別加入等 mole 數的乙醇、丙醇、丁醇、戊醇做一組比較，又加入等 mole 數的甲酸、乙酸做一組比較。發現極性大小和泡膜強度成正相關，也就是泡膜強度依序為：乙醇>丙醇>丁醇>戊醇，甲酸>乙酸。

(二) 不同官能基的比較

根據實驗結果，當加入的 mole 數相同時，乙酸(羧酸)泡膜強度>無添加泡膜強度>乙醇(醇類) 泡膜強度。但根據資料顯示，水分子極性>羧酸分子極性>醇類分子極性。那為何羧酸、醇類極性都小於水，加乙酸後泡膜強度增強，加乙醇後泡膜強度減弱？因此我們認為除了極性會影響泡膜強度外，H⁺離子可能會增強水表面張力、增強泡膜強度。

(三)有機酸、無機酸的比較

當加入的 mole 數相同時，酸性大小和泡膜強度成正相關，由文獻顯示酸性大小依序為：硫酸>硝酸>>乙酸。但實驗結果卻顯示硫酸與硝酸的泡膜強度卻不比乙酸強多少。羧酸的分子結構和清潔劑類似，也和清潔劑分子一樣有類似的親水、親油端。那加入乙酸應該要跟加入清潔劑一樣溶液表面張力變小→泡膜強度變小，為何反而變大呢？



我們推論，乙酸的結構雖然也能減少水的表面張力，但效果不及清潔劑。泡泡水原本是清潔劑與水結合，加入乙酸後，乙酸排掉擠清潔劑後與水結和，使得表面張力只有微幅減少。硫酸、硝酸泡膜強度只有微幅勝過乙酸的原因，我們推論，應該是兩因素消長的結果，本研究整理如下表所示。

| 硫酸、硝酸 | | 乙酸 | |
|-------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| 因素 | 影響 | 因素 | 影響 |
| 可解離大量 H ⁺ 離子 | 水表面張力大幅增強 | 可解離少量 H ⁺ 離子 | 水表面張力增強 |
| 水與清潔劑結合 | 水表面張力減弱較多 | 部分水與清潔劑結合 + 部分水與 RCOOH 結合 | 水表面張力減弱較少 |
| 結果:水表面張力增強，泡膜強度增強 | | 結果:水表面張力增強，泡膜強度增強稍少 | |

(四)鹼性物質的影響

如果酸性物質會增強水的表面張力，增加泡膜強度，那鹼性物質 OH⁻就會減少水的表面張力，降低泡膜強度。實驗結果也是如此。

(五)礦物質對泡泡膜強度的影響。

礦物質(氯化鎂)對膜強度的影響很明顯，礦物質(氯化鎂)越多，泡泡膜越難用電扇吹破，代表泡膜強度越強，也就是加入(氯化鎂)會增強水的表面張力。

三、溫度對泡泡膜強度的影響。

(一) 水溶液溫度越高，所形成的泡泡越容易用電扇吹破，泡泡膜強度變弱。也就是溫度會減少水的表面張力。

(二) 在實驗中我們發現，當天氣越熱，泡泡越難吹出、也越難維持。反之，寒流來時的泡泡很好吹，也能維持很久。

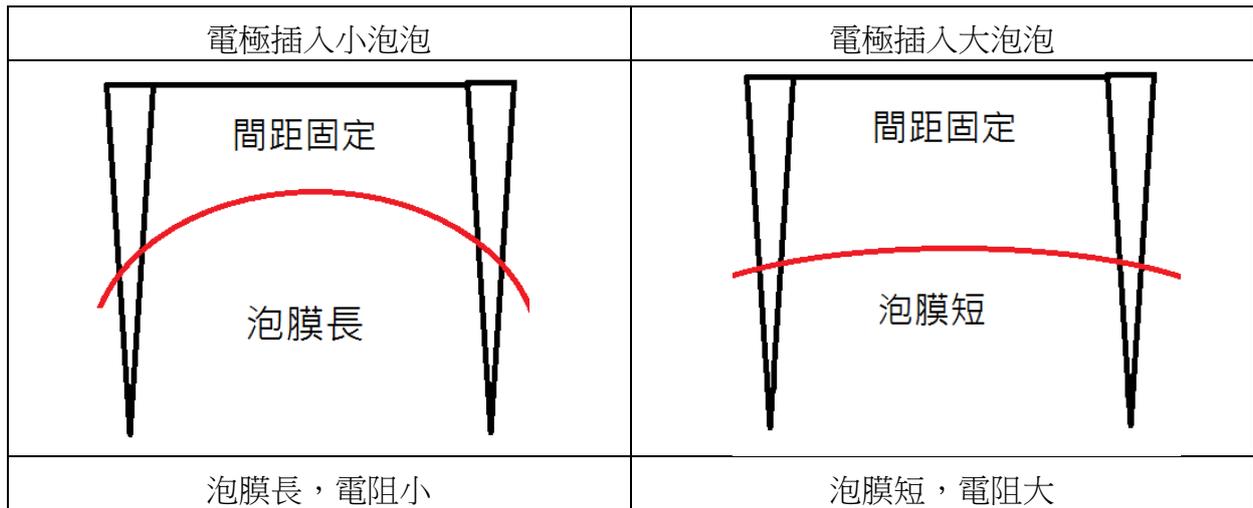
(三)泡膜結構是主要成分是水分子，天氣熱水分子易蒸發，膜不停變薄，泡泡易破、難維持。

四、泡膜厚度的量測

(一)對泡泡厚度的量測，我們蒐集到的文獻，大多集中在光學、薄膜干涉，但理論太深，於是我們想是否能用國中實驗室的儀器來做泡膜厚度的『粗略』量測。跟老師討論後決定用三用電表來量測，理論上兩電極間距固定，泡膜越厚電阻越小，反之越大。

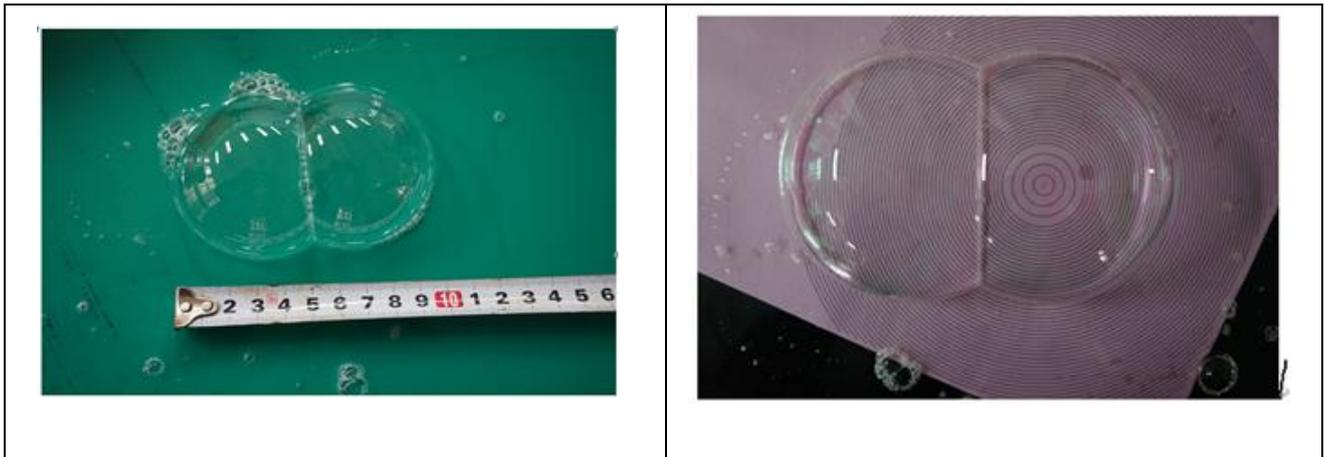
(二)我們預期同一泡泡越吹越大時，其厚度應該越薄，電阻越大，然而實驗的結果卻顯示:泡泡越大→電阻越小→泡膜越厚。

(三)對於這樣違反常識的結果，我們認為是電極間距造成的。在實驗時我們將兩電極固定綁死，以為如此兩電極間距就固定了，沒料到兩極間泡膜長度會隨泡泡變大(曲率變小)而變短。

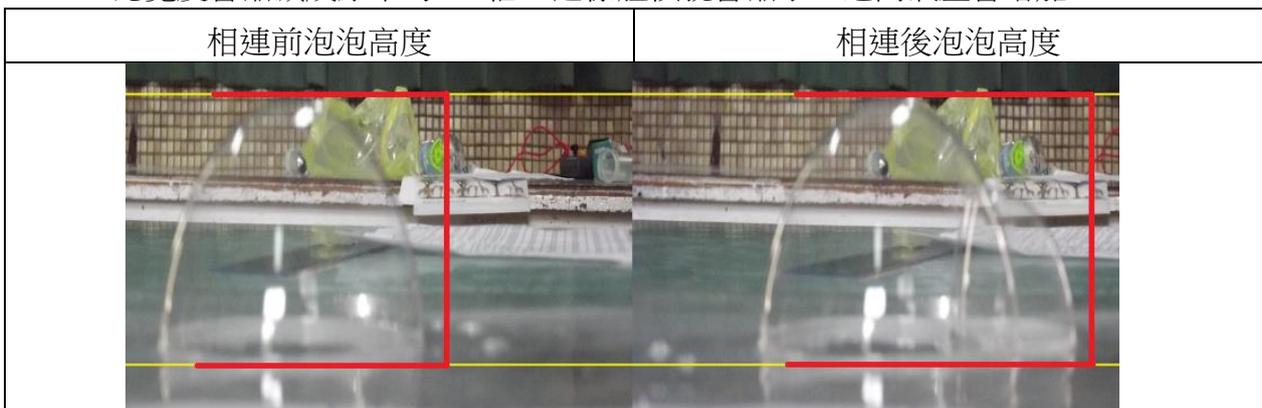


五、兩泡泡相連時的現象。

原先我們在實驗桌上擺放直尺,以肉眼觀察泡泡的半徑及交界面。但誤差太大,而且也難量測接觸線的情形,經由老師指導後我們在透明壓力板下放置同心圓紙張,利用移動同心圓紙張的方式去對比泡泡的半徑。



(一)不同濃度清潔劑，相同大小兩泡泡相連，總寬度會變成原本的 0.8 倍。如果是同濃度清潔劑，不同大小兩泡泡相連，總寬度也是會變成原本的 0.8 倍，而且泡泡相連前後高度不變。也就是說，不管清潔劑濃度為何，泡泡大小為何，兩相同泡泡相連，總寬度會縮減成原本的 0.8 倍。這樣體積就會縮小，泡內氣壓會增加。



(二)為何泡泡在相連時，會體積縮小、壓力增大，而不是半徑變大、體積不變、壓力不變？到底之間有何關係是我們需進一步探討的地方，目前我們認為與整個泡泡的表面積與能量間有關係。

(三)清潔劑濃度不影響兩泡泡合併機率，但不同大小的泡泡比較之下，大泡泡合併的機率較高，若是加入礦物質(氯化鎂)合併機率就更高了。

我們的推論是：

1.加入礦物質(氯化鎂)能增合併機率 → 而礦物質能增加水的表面張力 → 泡泡膜表面張力越大，泡泡越容易合併。

2.表面張力越大，泡泡越容易合併 → 大泡泡合併的機率較高 → 大泡泡的泡膜表面張力較大。

(四)同濃度清潔劑，不同大小泡泡相連時，交界面的變化

1. 我們發現當一個小泡泡和大泡泡相連的瞬間，小泡泡半徑會增大，而交界面會凸向大泡泡那邊，這代表小泡泡的內壓會大於大泡泡的內壓。此時若將大泡泡繼續吹大，則小泡泡的半徑也會跟著變大，而交界面半徑會變小，更凸向大泡泡那邊。這也顯示出將一個泡泡越吹越大，其泡泡內壓是越來越小。

2. 因為泡泡的半徑小,其壓力大,因此我們推測若小泡泡的半徑分別為 R_1 、大泡泡的半徑為 R_2 、交界面半徑 R ，則 R 會不會是 $R_1 \pm R_2$ ，或 $R^2 = R_1^2 \pm R_2^2 \dots$ 形式。我們改看成是否有 $(1/R) = (1/R_1) + (1/R_2)$ 或 $(1/R) = (1/R_1) - (1/R_2) \dots$ 等形式，將實驗資料代入上式發現最接近 $(1/R) = (1/R_1) - (1/R_2)$ 結果,而且不同濃度的肥皂泡泡所得出的結論均相同,代表此關係式與濃度無關。

3. 之前我們發現兩相同大小泡泡相連時，相連前半徑和相連後半徑並無顯著改變。但是小泡泡和大泡泡相連時，小泡泡的半徑會增大，大泡泡越大，小泡泡的半徑也會越大。至於為何相同大小泡泡相連，半徑不變，不同大小泡泡相連，半徑變大，這樣的現象還需要探討。

六、泡泡大小對泡泡膜強度的影響

(一) 從油滴滴穿泡膜的高度來看膜強度

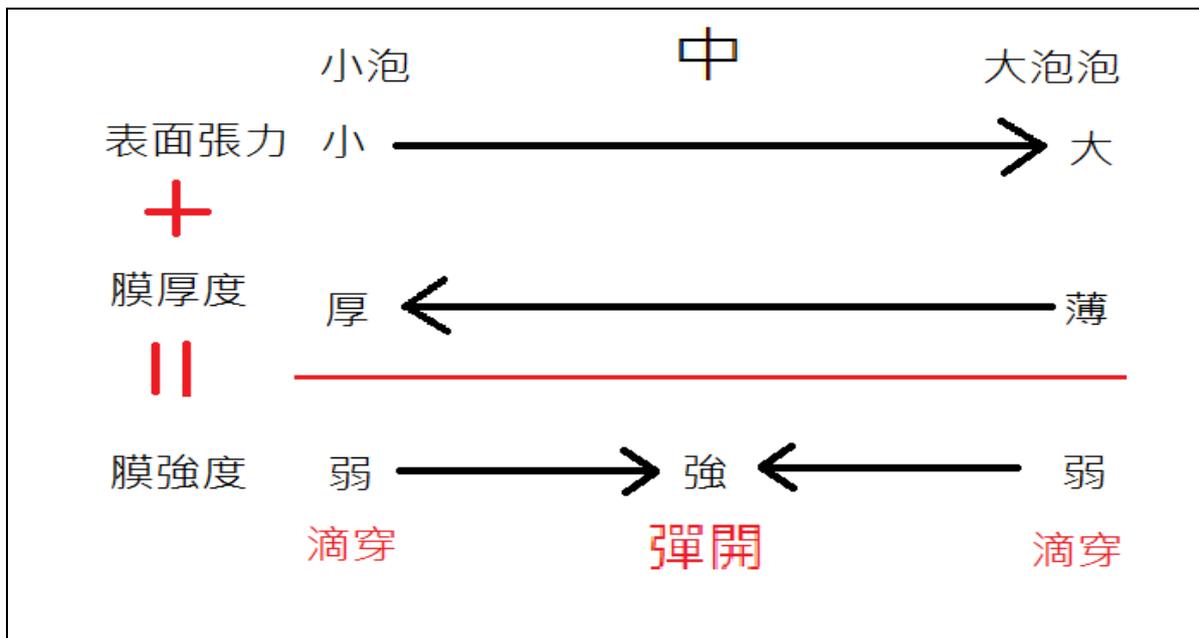
1. 在實驗觀察中發現，油珠在較低點落下時，碰到泡泡膜會彈開，在較高點落下時油珠會穿過泡膜，落入泡泡內，而且泡泡並不會因被油珠滴穿而破掉。

2. 從實驗結果可看出，泡泡越大，油珠要越高才能滴穿。物體從越高處落下，衝擊的力道會越大，因此我們推論，泡泡越大，膜強度越大，表面張力越大，越能抵擋油珠落下時的衝擊力。

3. 然而這樣的推論有個明顯漏洞，如果泡泡越大，膜強越大，那泡泡為何會吹破？我們認為影響膜強度除了表面張力外，還有厚度。

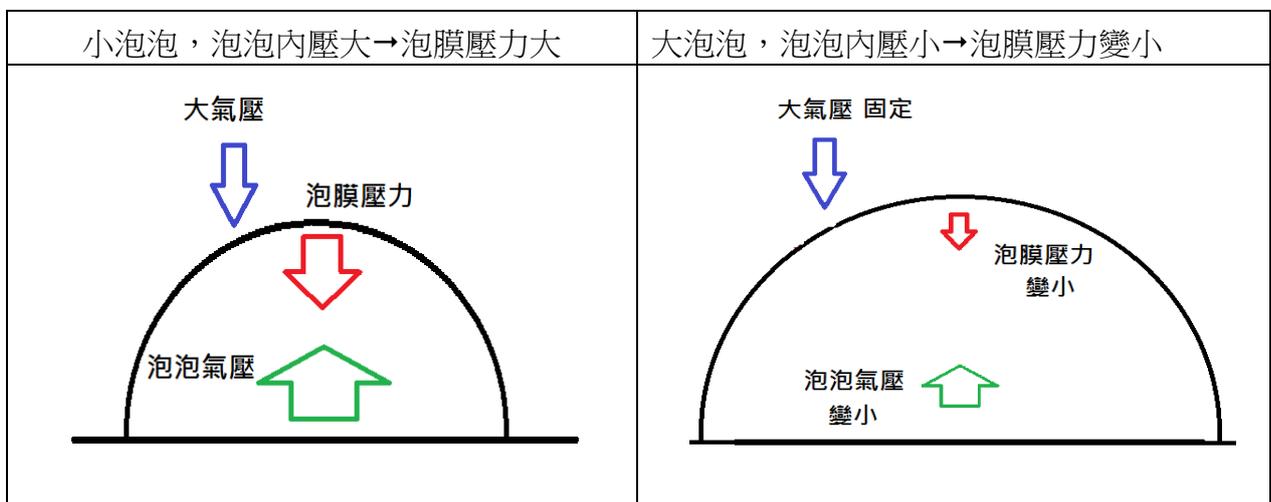
(二)油滴固定高度落在泡泡頂端來看膜強度

從實驗結果，膜的強弱受到表面張力與膜厚度的影響，其關係本實驗整理如下圖所示。



七、泡泡大小對泡泡膜壓的影響

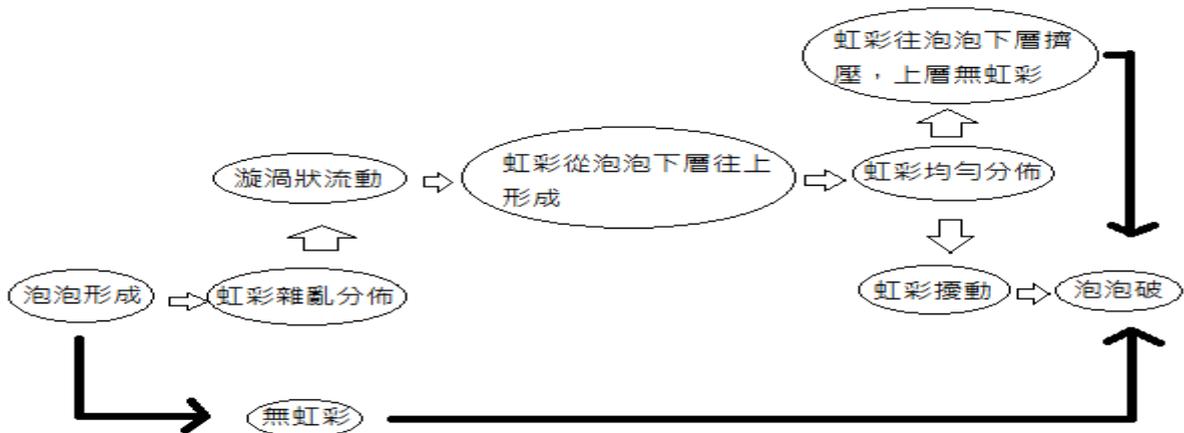
1. 從實驗中，我們發現泡泡的體積比注入氣體的體積還大，而且是氣體越多，泡泡體積增加的幅度就越大。因為氣體體積和壓力成反比，所以泡泡越大，泡泡內壓力越小。
2. 泡泡內壓 = 泡泡膜壓 + 大氣壓力(固定值)，所以隨著泡泡越大，內壓越小，泡泡膜壓力越大。



討論六提到泡泡越大，表面張力越大。我們在本次實驗更進一步發現泡泡膜壓會變小，我們認為表面張力單位是 dyne/cm ，而壓力單位是 N/cm^2 ，也許是小泡泡和大泡泡間，『曲率』、『長度』、『面積』三者的轉換所造成的。

七、泡泡虹彩的研究

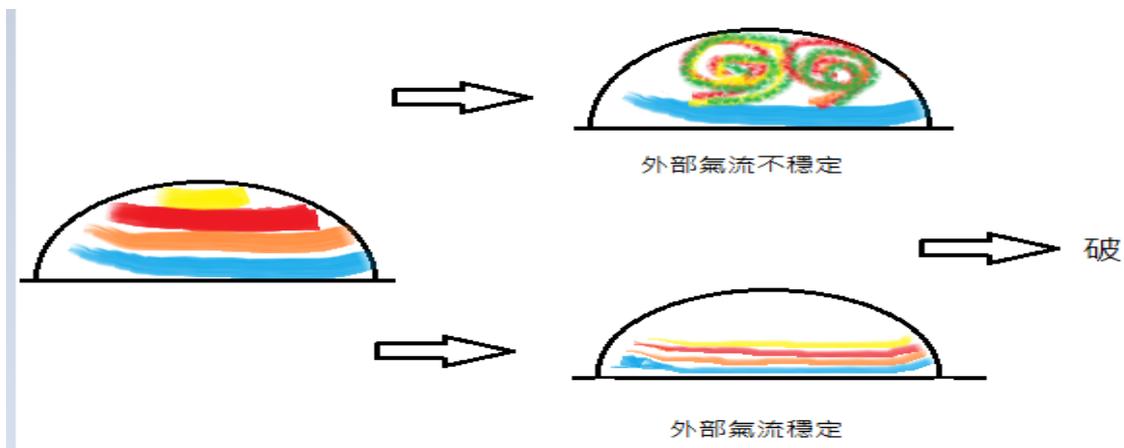
(一) 泡泡形成到破掉，虹彩會有幾個階段：



(二) 泡泡虹彩與泡泡維持時間的關係

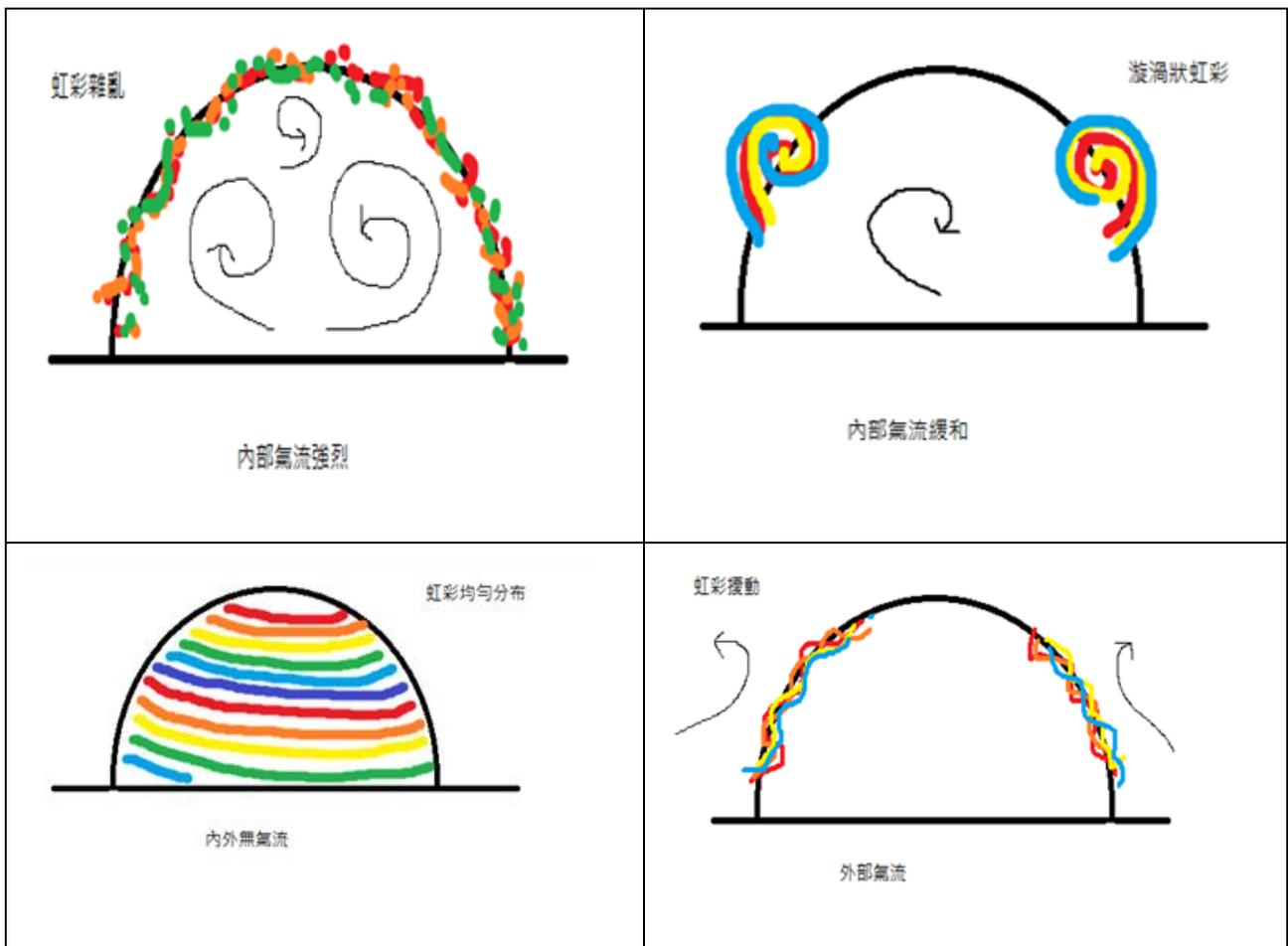
若是形成初期就觀察不到虹彩，這樣的泡泡一下子就破掉，反之若虹彩越鮮艷，或是整顆泡泡由上到下一圈一圈均勻分佈，這樣的泡泡不易破。

均勻分佈的虹彩，如果受到外部空氣的干擾會產生擾動，這時候泡泡很容易破。還有一種情況是外部空氣很穩定，沒有干擾到泡泡，虹彩一直均勻分佈，但一層層的虹彩會往下壓，虹彩寬度變窄，泡泡上半部無虹彩，這時泡泡也容易破。

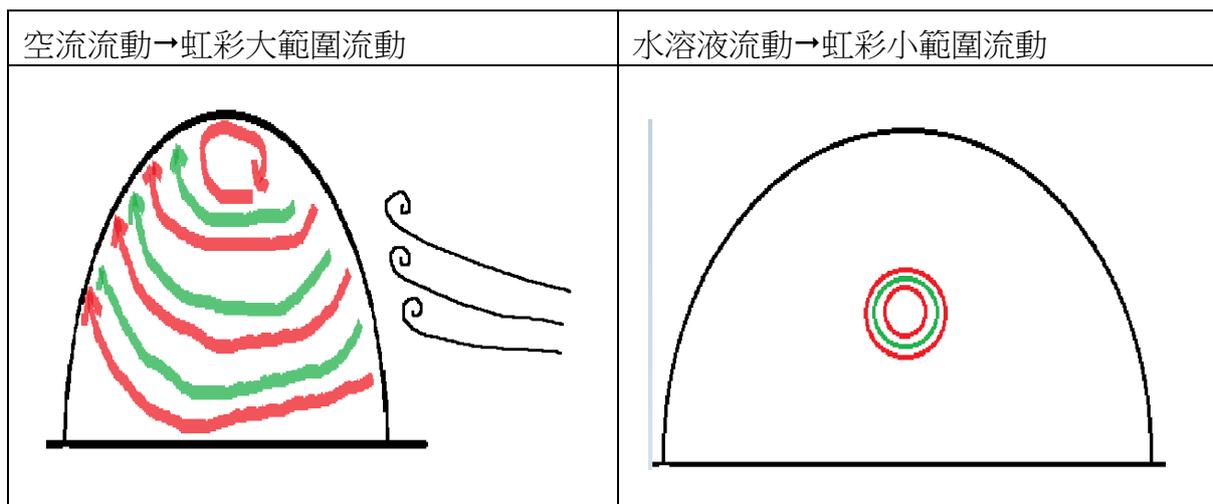


(三) 虹彩擾動原因的探究

虹彩擾動來自泡膜表面水溶液的流動，那麼流動的原因水溶液自己本身?還是氣流影響?我們觀察到虹彩會無視地心引力往上做漩渦狀流動，那如果流動原因是水溶液本身，會不會跟排水口一樣漩渦有固定方向?觀察發現虹彩漩渦沒有固定逆時針或順時針。接著我們將點燃的線香靠近泡泡，發現虹彩和線香的煙流動方向一致。於是我們做出推論，泡泡剛形成時泡泡內部氣流流動迅速，帶動泡膜水溶液流動激烈，反映出來的虹彩就雜亂。當內部氣流趨緩時，水溶液流動也較緩和，此時虹彩成漩渦狀。當內部氣流穩定時，虹彩會一圈圈均勻分佈。之後若泡泡外部氣流流動，虹彩會再次擾動。



另外，以不同位置、角度對泡泡吹氣時，氣流帶動溶液形成虹彩的流動，這時的流動是遍及整個泡泡。在離泡泡較遠處使用焊槍，高溫使空氣流動，造成的效果和以吸管吹氣相同，但在近處使用焊槍，高溫使水溶液流動，虹彩只會小範圍變化。

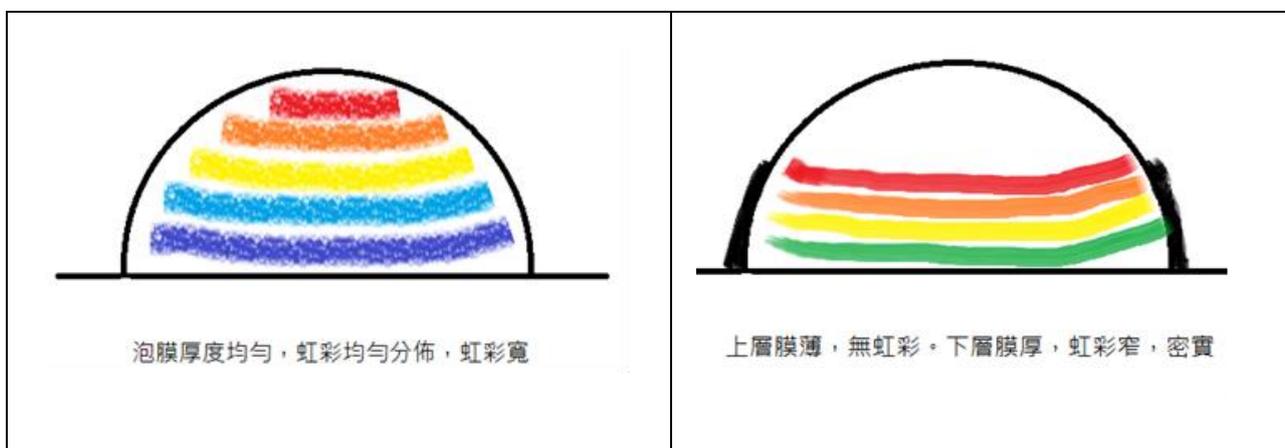


(四)虹彩與泡泡厚度的關係

在實驗中我們觀察到，虹彩越明顯，泡泡越不易破。也觀察到原本均勻分布的虹彩往下掉，形成上層無虹彩，下層虹彩便密集，這樣的泡泡也容易破。我們便思考為什麼虹彩會往下掉?為何泡泡無虹彩易破? 後來在搜尋網路資料時發現，研究指出虹彩的

顏色跟泡膜的厚薄有關，**泡膜越厚**，**顏色越多**，反之則越少，甚至沒有顏色。如此一來，所有的現象都合理了，**虹彩鮮豔的泡泡**，**泡膜厚**，**不易破**，反之，易破。泡泡維持一段時間後，地心引力會將泡膜水溶液往下拉，造成泡泡上層膜薄，無虹彩，下層膜厚，虹彩密實，接著泡泡就從膜薄、無虹彩的上層破裂。

這也讓我們得出一個結論，以泡泡本身而言，**容不容易破跟泡膜厚薄有很大關係**。



(五)虹彩與清潔劑濃度的關係

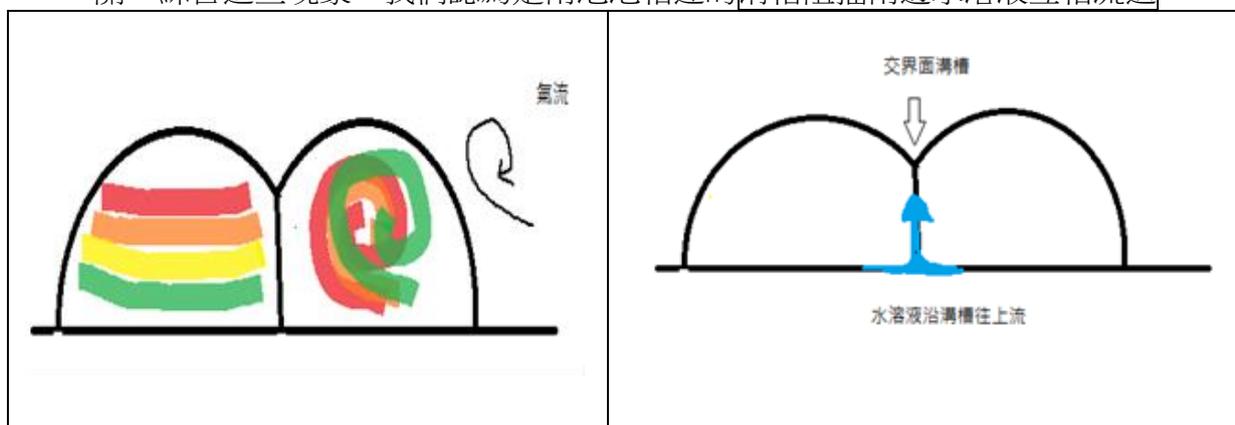
當泡泡虹彩鮮豔且穩定時加再入水或者清潔劑，均會使虹彩變淡，泡泡容易破，加甘油則無變化。這樣的結果顯示，在已形成的泡泡**加水或加清潔劑會使泡膜變薄**，如果是跟之前的推論連結，可得出水溶液**表面張力大**，**泡膜強度強**，形成的**泡膜厚**，**虹彩鮮豔**，**不易破**。

這引出了一個問題：為何在泡泡上加水，泡膜厚度會變薄？

(六)泡泡相連時的虹彩現象

甲乙兩泡泡相連時會形成三個泡膜，分別是甲泡膜、乙泡膜、交界面膜。實驗顯示當氣流吹動甲膜時，使甲膜虹彩擾動時，另外兩膜無反應。這顯示甲乙**兩泡泡縱然相連**，形成泡膜的**水溶液並不互相流動**，是各自獨立的系統。

另外觀察到水溶液會沿著兩泡泡相連的溝槽往上流動，我們推測這跟水的**毛細現象**有關。綜合這些現象，我們認為是兩泡泡相連的**溝槽阻擋兩邊水溶液互相流通**。



這引出了一個問題：泡泡相連時，水溶液為何不能跨過交界面相互流通？

柒、結論

- 一、清潔劑越少，膜強度越強，延展性越好。
- 二、泡泡膜強度與表面張力、膜厚度有關。
- 三、添加物影響泡膜強度的因素有：
 - (一) 極性大小
 - (二) H^+ 濃度
 - (三) 分子結構
 - (四) 礦物質濃度
- 四、水溶液溫度升高，泡泡膜強度變弱。環境溫度越高，越不容易吹出泡泡，泡泡也越難維持。
- 五、不論清潔劑濃度為何，泡泡大小為何，相同大小兩泡泡相連時，半徑不變，總寬度縮小為原本的 0.8 倍，體積縮小，壓力增加。
- 六、不論清潔劑濃度為何，泡泡大小為何，大小不同的兩泡泡相連時：
 - (一) 小泡泡半徑變大，交界面凸向大泡泡，小泡泡內壓大於大泡泡。
 - (二) 大泡泡繼續吹大時，小泡泡半徑也變大，交界面半徑變小。
 - (三) 小泡泡的半徑為 R_1 、大泡泡的半徑為 R_2 、交界面半徑 R ，其關係式接近
$$(1/R)=(1/R_1)-(1/R_2)$$
。
 - (四) 兩泡泡相連時，水溶液不互相流通。
- 七、泡泡越大，泡泡內壓會越小，泡泡膜壓也會變小。
- 八、兩相同大小的泡泡合併時：
 - (一) 清潔劑濃度與合併機率無關。
 - (二) 泡泡越大，合併機率越高。
 - (三) 礦物質(氯化鎂)濃度高，合併機率高。
- 九、虹彩鮮豔→泡膜厚度厚→膜強度強→泡泡不易破。
- 八、氣流造成泡膜溶液流動。

捌、未來研究

- 一、油滴與泡泡膜接觸瞬間的機制
- 二、泡泡膜厚度的檢測
- 三、相連兩泡泡的交界面

玖、參考文獻

- 一、康軒版/國中自然與生活科技
- 二、南一版/國中自然與生活科技
- 三、John Suchocki(2008)。觀念化學叢書。台北: 天下文化出版社。
- 四、蔡坤憲譯(2008)。觀念物理叢書。台北: 天下文化出版社。
- 五、为什么虎跑泉的泉水表面张力大于纯水？、
<http://zhidao.baidu.com/question/42142387.html>
- 六、有沒有不破的泡沫 <http://pansci.asia/archives/34085>
- 七、表面張力的問題與小遊戲
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=16053>

【評語】 030211

本研究係探討各種影響泡膜強度的因素，包含添加物種類，濃度，泡膜厚度等，泡膜強度利用電扇吹破泡膜紀錄電子秤讀數測量，有創意且探討完整，但電扇所吹的氣體，有旋轉風建議如用鋼瓶氣體用一管子直吹，可能得到較良好比較結果。