

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

第二名

030117

美”力” 泡泡

學校名稱：臺中市立惠文高級中學(附設國中)

作者：  國二 袁苙芸  國二 蕭佩宛  國二 宋品燊	指導老師：  曹佑民  龍世斌
---	-----------------------------

關鍵詞：肥皂泡、表面張力、馬拉高尼效應

# 美『力』泡泡

## 摘要

發現水面上兩個肥皂泡靠近至一定距離時會加速快速互相靠近。這代表了此時肥皂泡必定有受力，才能產生加速度。

經由資料分析及一連串的實驗排除了各種力量因素的影響，如：萬有引力、靜電力、分子間吸引力、凡德瓦力、外側的大氣壓力、白努利原理、...等等。最後找出造成此一現象的成因，就是馬拉高尼效應(Marangoni Effect)產生的馬拉高尼流的帶動，導致兩肥皂泡加速靠近。

## 壹、研究動機

肥皂泡泡這個七彩繽紛夢幻無比的東西，是許多人童年的回憶之一。在小時候洗澡時總會看到很多泡泡漂浮在水面上，當時就有觀察到泡泡在水面上移動，兩顆泡泡快接近的時候，會產生加速靠近的現象。當時僅覺得很好玩，並沒有想過到底是什麼原因造成這樣有趣的現象。因此在國中學習到力的觀念時，知道物體受力會產生加速度，才想到應該有種力量導致了這個泡泡加速靠近的現象。

首先先觀察泡泡靠近的過程，測量此一現象，確認其真實性。再一步一步進行實驗，排除各種不可能的力，尋找及分析是哪一種力造成此一現象。

## 貳、研究目的

- 一、分析並計算出泡泡接近時是一種加速度運動。
- 二、試圖找出造成肥皂泡之間接近時產生加速度的力是哪種力。
- 三、試圖了解肥皂泡接近時的原理。

## 參、研究設備及器材

器材：			
燒杯	攪拌棒	量筒	切割墊
起波槽	滴管	濾網	自製吹泡器
玻璃水缸	筆電	單眼相機	腳架
高速攝影機	塑膠板	尺	粉筆
藥品：			
橄欖油	沙拉脫	洗髮精	蒸餾水
色素			

## 肆、研究過程或方法

### 一、自製吹泡器、製造大小相同且穩定的泡泡

- (一)準備了肥皂絲、甘油、膠水、洗衣粉、洗衣精、市售泡泡水、沙拉脫、洗髮精。
- (二)進行實驗，探討哪種比例，可以讓泡泡更持久、不易破，經過調配及實驗最後選出的配方比例是(市售泡泡水：沙拉脫：洗髮精 = 1 : 1 : 1)，進行日後所有實驗。
- (三)因為考量到要吹出大小相同的泡泡(以利計算)及安全起見(不易吸到泡泡水)所以由自製吹泡器取代吸管。
- (四)利用小型玩具打氣筒，連接上橡皮塞，另一頭接上吸管，製成自製吹泡器。

### 二、發現泡泡互相靠近時具有加速度

- (一)將有刻度方格的切割墊置於起波槽的下方及水缸後方以高速攝影機從上方及側面拍攝。
- (二)高速攝影機以每秒 30 張的拍攝速度紀錄過程，然後計算出泡泡靠近時的間隔距離、求出泡泡接近時的速度。
- (三)以 Excel 程式分析、畫出泡泡接近過程的速度-時間關係圖。

### 三、分析並推測泡泡間的吸引力

- (一)查出和運動相關的力：萬有引力、分子間吸引力、靜電力、凡得瓦力、極性非極性吸引力、內聚力、附著力、白努利定律、大氣壓力、表面張力、毛細現象等等。排除力量太小或需要很近距離才能發揮的力。
- (二)分析高速攝影機所拍攝下來的照片，兩個泡泡內側會變形成橢圓形，推測不是壓力所造成的。
- (三)利用消去法，一一驗證各種力的可能性。

### 四、測試表面張力對泡泡接近的影響(一)

- (一)將肥皂水從上方及側方加到兩個互相靠近的泡泡之間。
- (二)拍攝並觀察記錄兩個泡泡的靠近情形。

### 五、測試表面張力對泡泡接近的影響(二)

- (一)將橄欖油從上方及側方加到兩個互相靠近的泡泡之間。
- (二)拍攝並觀察記錄兩個泡泡的靠近情形。

### 六、分析毛細現象及泡泡的加速現象

- (一)將塑膠板安置成五種不同的角度，和水面的夾角成：25 度、40 度、60 度、75 度、90 度。
- (二)分別拍攝並觀察記錄泡泡的靠近情形。
- (三)計算出泡泡靠近時的間隔距離、求出泡泡接近時的速度及加速度。
- (四)以 Excel 程式分析、畫出泡泡接近過程的速度-時間關係圖。

### 七、同性分子間的吸引力(極性分子與極性分子間；非極性分子與非極性分子間)

- (一)將紅色色素加入肥皂水，再吹出紅色泡泡到水面上。
- (二)從側面拍攝紅色染料擴散的情形。
- (三)將粉筆灰撒入水面，再吹出肥皂泡泡到水面上。
- (四)拍攝粉筆灰在肥皂泡周圍的分布與運動情形。

#### 八、馬拉高尼效應的影響

- (一)將以紅色色素將水槽中的染色，再吹出肥皂泡到水面上。
- (二)從側面拍攝紅色染料擴散的情形。

#### 九、加入酒精對馬拉高尼效應的影響

- (一)將水槽兩側分別放上 10%酒精水溶液水及水，將肥皂泡吹到中央，觀察肥皂泡的移動情況。
- (二)將水槽兩側分別放上染成紅色的 10%酒精水溶液水及不染色的水，將肥皂泡吹到中央，觀察色素流動的情形。

#### 十、觀察 10%酒精水溶液上，泡泡互相靠近的情形

- (一)將有刻度方格的切割墊置於起波槽的下方及裝有 10%酒精水溶液的水缸後方以高速攝影機從上方及側面拍攝。
- (二)高速攝影機以每秒 30 張的拍攝速度紀錄過程，然後計算出泡泡靠近時的間隔距離、求出泡泡接近時的速度。

## 伍、研究結果

### 一、自製吹泡器、製造大小相同且穩定的泡泡

(一)上網搜尋肥皂泡的配方，準備了肥皂絲、甘油、膠水、洗衣粉、洗衣精、市售泡泡水、沙拉脫、洗髮精等等材料。

(二)進行各項配方實驗，探討哪種比例，可以讓泡泡更持久、不易破。經過調配及實驗最後選出的配方比列(市售泡泡水：沙拉脫：洗髮精 = 1 : 1 : 1)所吹出的泡泡最持久，之後以此配方進行所有實驗(如圖 1)。

(三)因為考量到要吹出大小相同的泡泡(以利計算)及安全起見(不易吸到泡泡水)所以由自製吹泡器取代吸管。

(四)利用小型打氣筒，連接上橡皮塞，另一頭接上吸管，製成自製吹泡器(如圖 2)。



圖 1：各種泡泡配方



圖 2：自製吹泡器

## 二、發現泡泡互相靠近時具有加速度

(一)將有刻度方格的切割墊置於起波槽的下方以高速攝影機拍攝(如圖 3)。再將有刻度方格的切割墊及標準尺置於透明水缸的前後方以高速攝影機拍攝(如圖 4)。

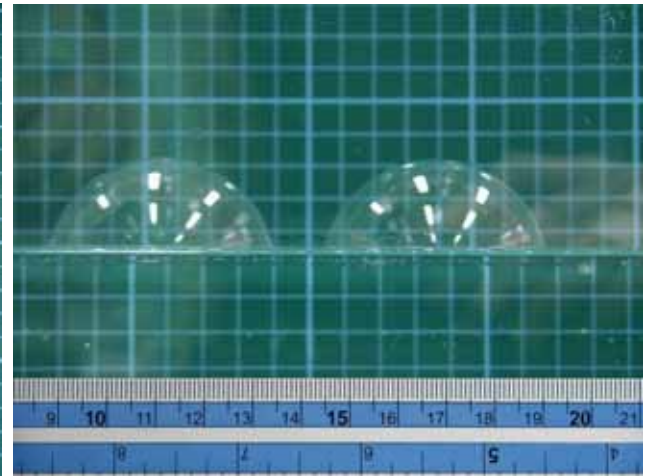
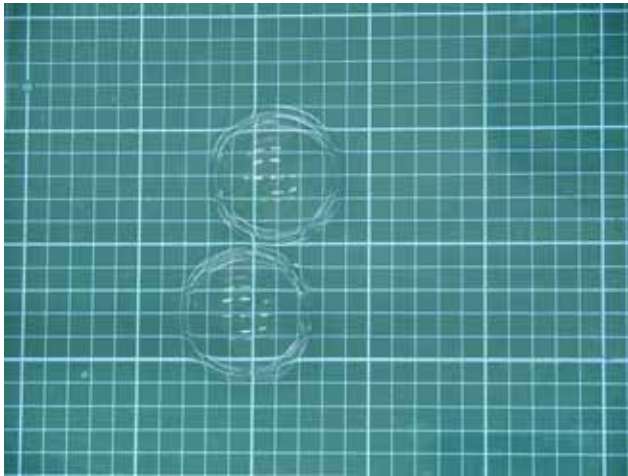


圖 3：從上方拍攝泡泡接近的過程

圖 4：從側面拍攝泡泡接近的過程

(二)高速攝影機以每秒 30 張的拍攝速度紀錄下泡泡靠近的過程，然後計算出泡泡靠近時的速度。

(三)將計算出來的數值以 Excel 程式分析、畫出泡泡接近過程的速度-時間關係圖。

(四)可發現接觸前(如圖 5)，泡泡靠近時會速度會增加，可知此時肥皂泡必定有受力，才會產生加速度。

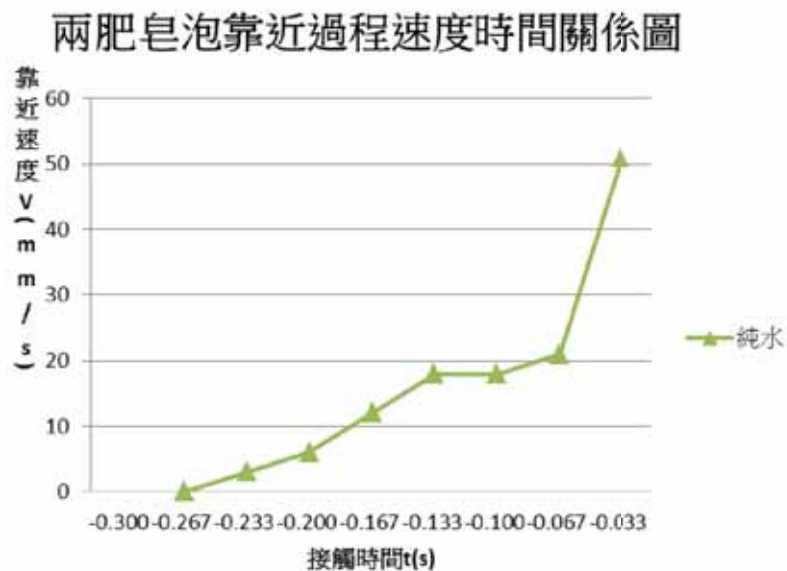


圖 5：接觸前兩肥皂泡速度時間關係圖

### 三、分析並推測泡泡間的吸引力

(一)為了知道造成這兩個泡泡間的力到底是什麼力，起初我們利用電腦查出了以下幾種力：萬有引力、分子間吸引力、靜電力、凡得瓦力、同性分子間吸引力、內聚力、附著力、白努利定律、大氣壓力、表面張力、毛細現象等等。但是，因為有些力量太小，所以經由老師解釋後排除到只剩下：內聚力、附著力、白努利定律、大氣壓力、同性分子吸引力、表面張力、毛細現象這幾種。

(二)然而分析了高速攝影機所拍攝下來的照片，發現當兩個泡泡快要接觸時，兩個泡泡內側會變形成橢圓形，而外側還是保留圓形。會造成這樣的結果應該是兩個泡泡間有吸引力，並非是由外側往內推所造成的(如圖 6、圖 7)。

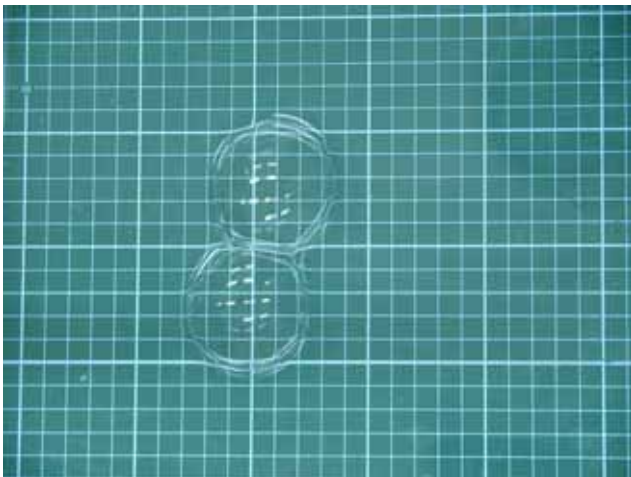


圖 6：從上方觀察泡泡變形的過程

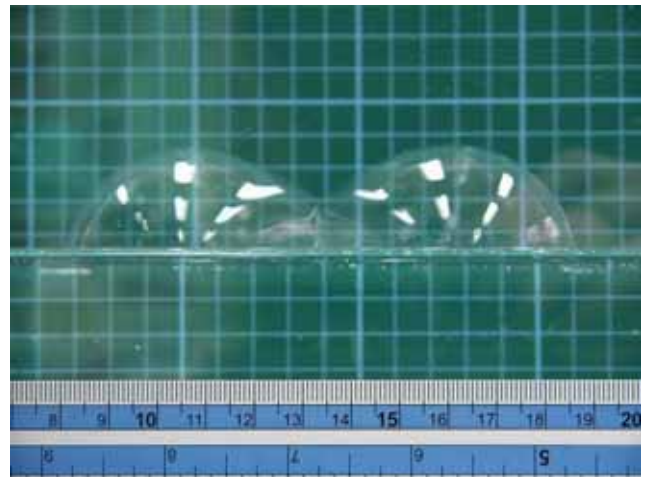


圖 7：從側面觀察泡泡變形的過程

(三)因此應該可以排除大氣壓力及白努利定律的關係，因為這些力是從外面往中間推。應該是會造成(如圖 8)的變形，而我們觀察到的變形是(如圖 9)的變形應該是來自拉力、非推力。

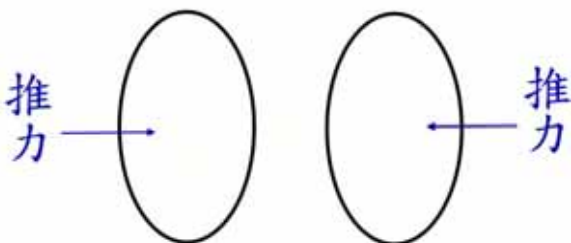


圖 8：外側推力造成的變形

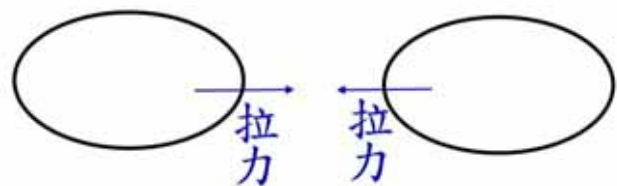


圖 9：中間吸引力造成的變形



#### 四、測試表面張力對泡泡接近的影響(一)

(一)國小曾做過表面張力的實驗，在一個很輕的紙船後面夾上一小塊肥皂，小船便會自行前進，原理是因為肥皂會破壞水的表面張力。所以我們想到在泡泡接近時如果滴入肥皂水在中間，不知道會有什麼變化？

(二)因此在泡泡接近的瞬間，從上方及側方滴入肥皂水。結果(如圖 10、11)所示，兩個泡泡靠近不受影響。

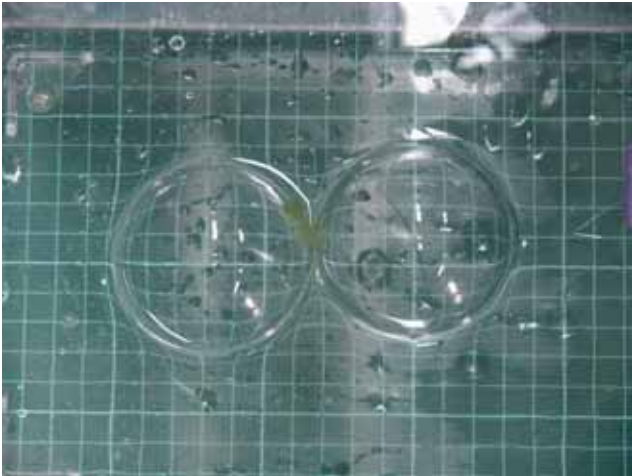


圖 10：從上方滴入肥皂水，泡泡靠近不受影響 圖 11：從側方滴入肥皂水，泡泡靠近不受影響

(三)泡泡靠近還是以加速度前進，而且肥皂水還稍稍被排開。而且當肥皂水從上方滴下去時激起水波也不影響泡泡的靠近，最後泡泡還是黏合在一起。

(四)因此得到初步的結果顯示，泡泡間的吸引現象並非是單純的表面張力所造成的。並非國小時所學的，肥皂船前進是因為肥皂破壞了表面張力，而由表面張力不同所引起的加速度運動。

## 五、測試表面張力對泡泡接近的影響(二)

(一)雖然前一個實驗滴肥皂水之後泡泡還是會靠近，讓我們初步排除了表面張力因素所導致的，但是老師認為還是要再次確認，因此我們再次以油滴來實驗，在泡泡接近時如果滴入橄欖油在中間，不知道會有什麼變化？

(二)因此在泡泡接近的瞬間，從上方及側方滴入橄欖油。結果(如圖 12、13)所示，兩個泡泡加速靠近還是不受影響。

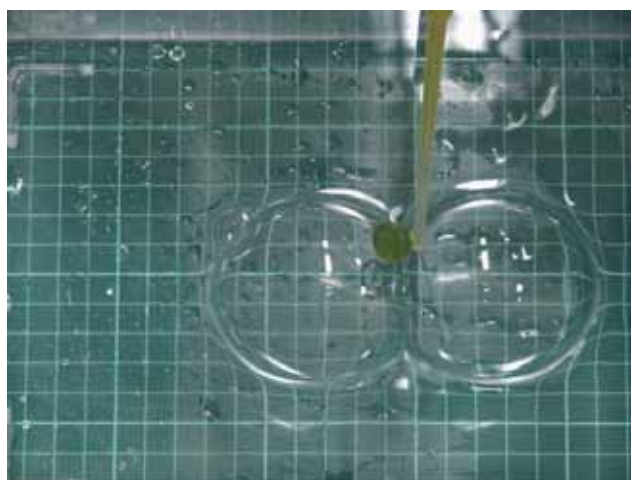
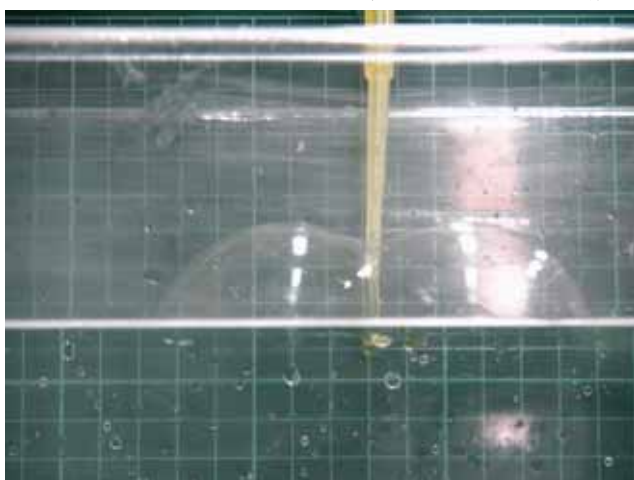


圖 12：從上方滴入橄欖油泡泡還是不受影響      圖 13：從側方滴入橄欖油，泡泡還是不受影響

(三)觀察實驗結果發現橄欖油會融合在一起，進到泡泡的下面，而泡泡靠近還是以加速度前進。顯示即使水面分布了橄欖油影響表面張力後，仍不影響泡泡靠近的吸引力。

(四)因此再次證實：泡泡間的吸引現象並非是由肥皂在水中的表面張力所引起的。

## 六、分析毛細現象及泡泡的加速現象

(一)我們將肥皂泡泡的照片放大後，可觀察到肥皂泡泡在水面上接觸點是向外翻的弧面。在二年級上學期的自然與生活科技課程中學到：水對玻璃的附著力大於內聚力，所以當水裝於量筒中，兩邊會吸附上去。玻璃管越細，上升的高度就越高。我們猜測在兩泡泡接近至一定距離時，兩肥皂泡泡間很類似毛細現象的細管，此時兩泡泡間的水會被向上拉升，體積固定的水高度增加，底面積減少，此時就會使得兩泡泡加速靠近(如圖 14)。因此接下來要分析泡泡的加速運動是否和毛細現象有關

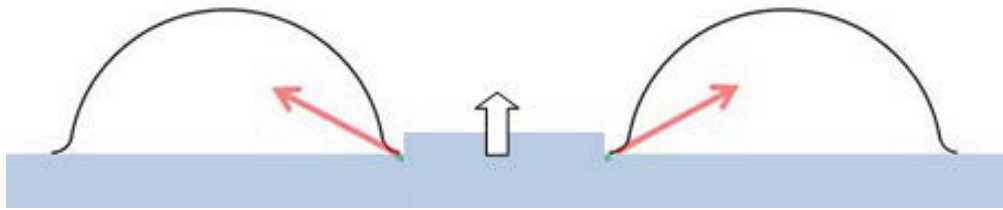


圖 14：想像毛細現象造成兩泡泡加速靠近示意圖

(二)首先請老師教導毛細現象的相關知識，知道毛細現象和接觸面的角度有關，接觸面的角度越大，吸引力越大。因此我們設計了五種不同角度的接觸面，分別是：25、40、60、75、90 度，分別測出泡泡接觸過程的的加速度現象(如圖 15)。

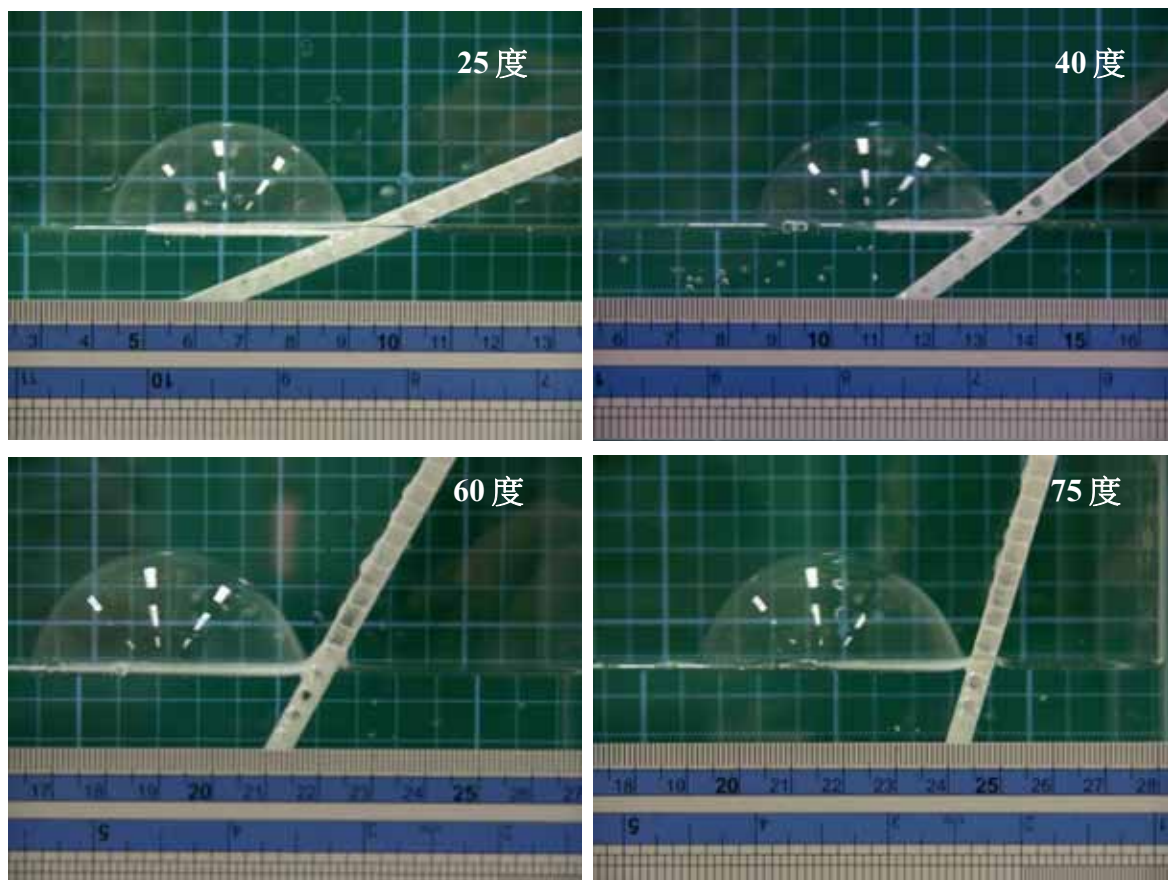


圖 15：不同角度接觸面實驗

(三)若是兩泡泡靠近會有加速現象是因為毛細現象，角度越大，那理論上兩泡泡間的水被向上拉升越高，底面積減少愈明顯，此時加速現象會越早開始，且速度增加越明顯。但從結果(如圖 16)我們可以得知在接觸到斜面前，泡泡加速現象與角度的關係並非我們預期的角度越大加速度越大，反而是角度小，較早加速，而角度大的則在兩肥皂泡泡距離較近時，才開始明顯的加速。但可觀察到角度大者，雖然晚加速，但速度增加較為劇烈。

(四)根據上述結果，可知與我們理論假設不符，因此使兩肥皂泡泡加速靠近的因素，可將毛細現象排除。

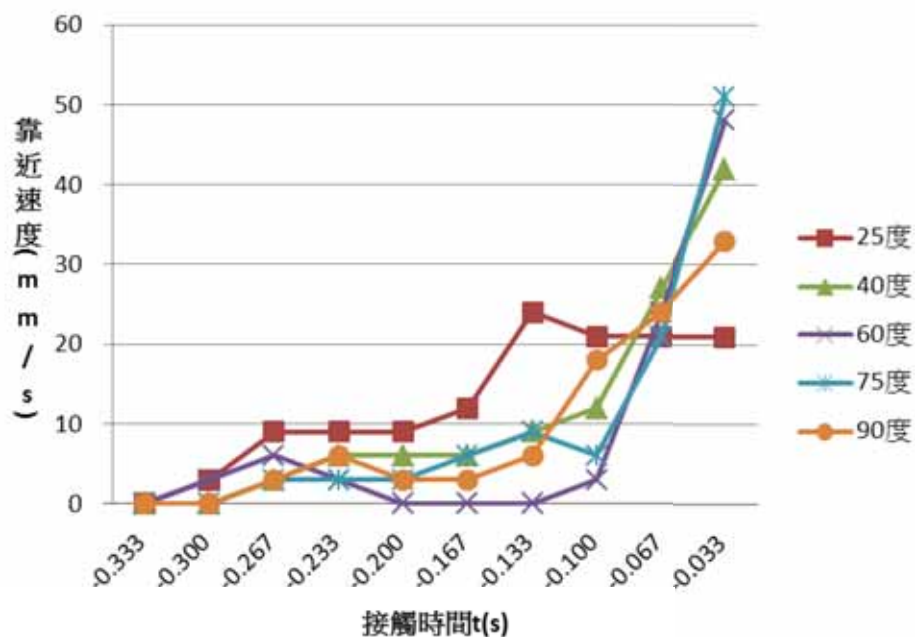


圖 16：接觸前不同角度速度時間關係圖

## 七、同性分子間的吸引力(極性分子與極性分子間；非極性分子與非極性分子間)

(一)當從側面拍攝吹出泡泡的過程中觀察到其實淡黃色的肥皂水隱約可見，而且會慢慢擴散並沉到底部。且肥皂泡泡在水面上接觸點是向外翻的弧面，因此猜測會不會是因為肥皂分子會向外側擴散，當兩個肥皂泡泡向外側擴散的部分接觸時，同性分子間的吸引力，使兩個泡泡加速靠近。(如圖 17~20)

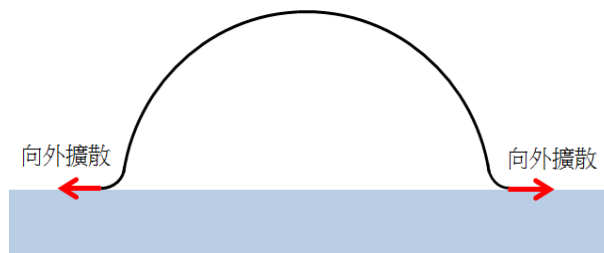


圖 17：水面上的肥皂泡中，肥皂分子分布示意圖 1

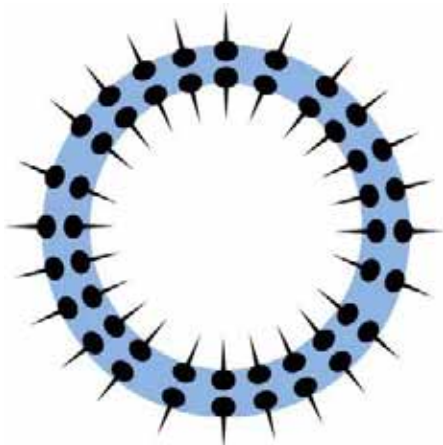


圖 18：空氣裡的肥皂泡中，  
肥皂分子分布示意圖 1

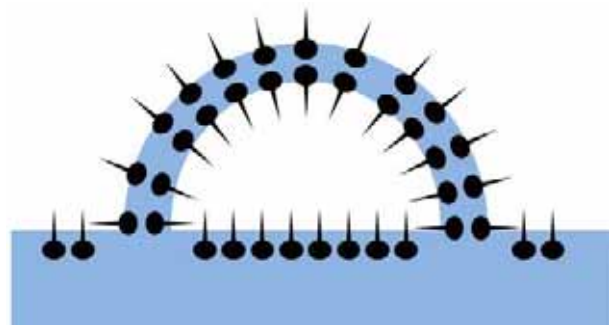


圖 19：水面上的肥皂泡中，  
肥皂分子分布示意圖 2

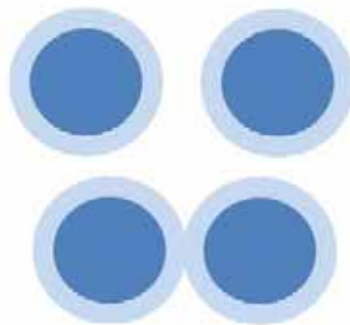


圖 20：肥皂分子擴散部分接觸示意圖。

(二)所以為了便於觀察此一現象，我們以紅色染料將肥皂水染色，再吹出肥皂泡到水面上。如果泡泡是因為同性分子間的吸引力造成加速現象，那麼應該可以觀察到兩泡泡紅色的部分會先互相融合在一起，再產生泡泡加速靠近的現象。從側面拍攝泡泡顏色變化的情形(如圖 21)。在兩肥皂泡泡加速靠近的過程中，紅色染料顏色極淡，且紅色染料為水溶性染料，似乎並不會隨著肥皂分子移動。因此無法有效觀察到色素擴散接觸的現象。

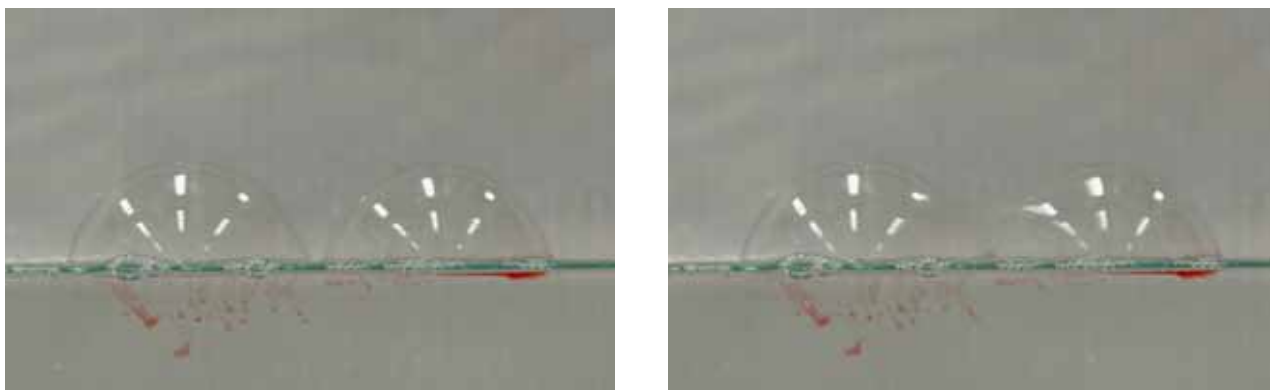


圖 21：泡泡未接觸前(左圖)及接觸後(右圖)，紅色染料的分布情形並無變化

(三)因採紅色染料觀察無效，因此我們改在水面上灑上粉筆灰的方式，想看看在肥皂泡周圍粉筆灰的分布情形，想藉此觀察是否能夠證實肥皂泡邊緣有肥皂分子的擴散現象。此時我們發現兩個現象：

1.若粉筆灰是漂浮在水面上時，靠近肥皂泡時，不太容易靠近肥皂泡，會在其邊緣形成一圈無法靠近的範圍(如圖 22)。但這可能是因肥皂泡泡在水面上接觸點是向外翻的弧面，類似一斜面，導致粉筆灰無法爬高不易靠近，無法明確證實到底有沒有肥皂分子擴散現象。



圖 22：肥皂泡邊緣形成一圈粉筆灰無法靠近的範圍

2.少量粉筆灰進入水中，居然會快速向肥皂泡靠近後，進入肥皂膜內向上爬升(如圖 23)。此一現象令人驚訝!這證明了有一股力量將水從肥皂泡泡外吸引向肥皂泡泡內。當兩肥皂泡靠近時，同時間吸引兩者中央的水時，就會導致兩肥皂泡泡靠近。

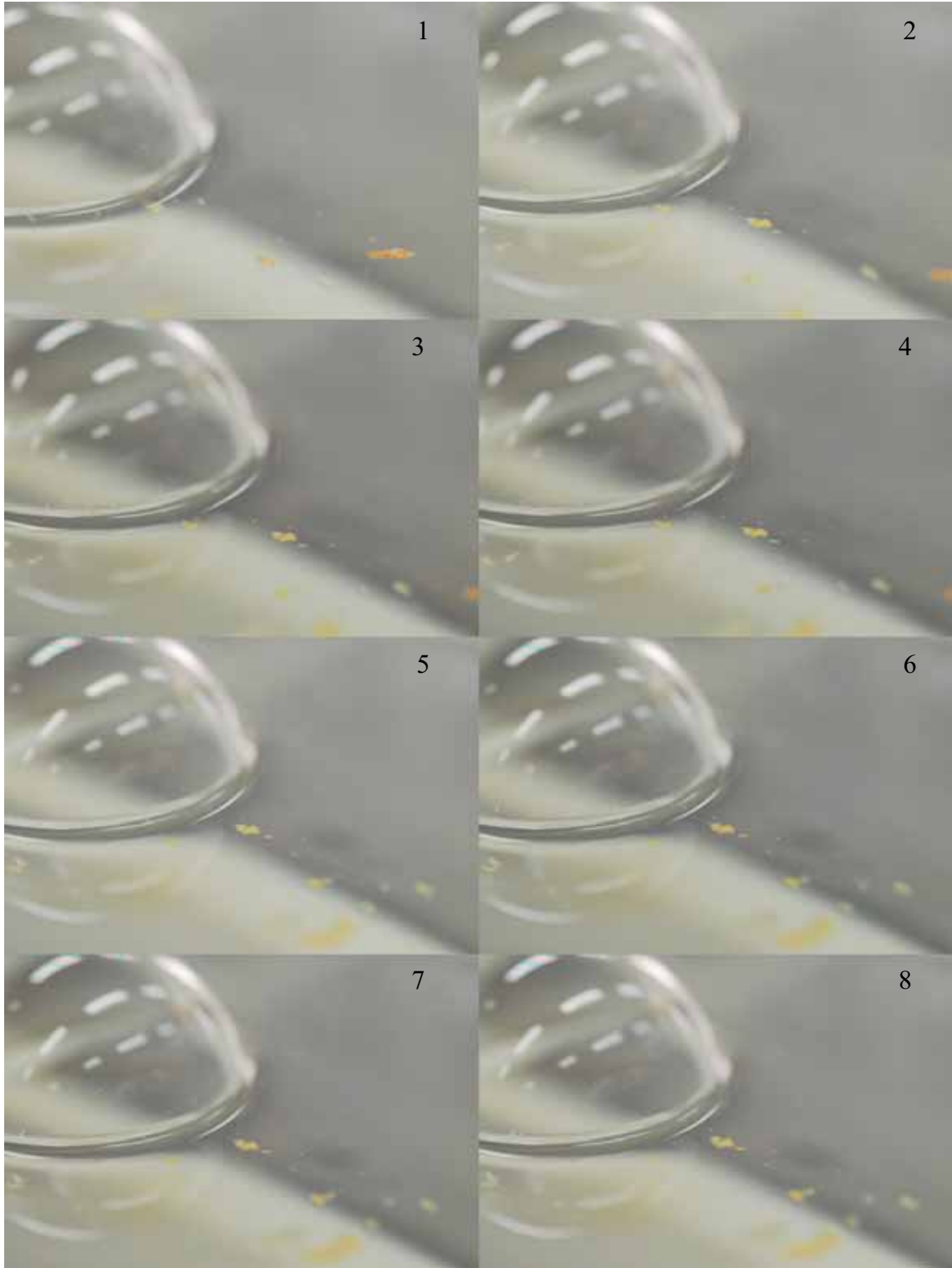


圖 23：粉筆灰被吸入肥皂膜內，向上爬升

## 八、馬拉高尼效應(Marangoni Effect)

(一)根據撒粉筆灰的實驗結果，可知肥皂泡周圍會產生一股水流，由外流向肥皂泡膜內部。因此我們去查詢資料，發現肥皂泡中有一個很有趣的現象就是馬拉高尼效應(Marangoni Effect)，當肥皂膜變薄時，該處肥皂分子濃度下降，表面張力變大，而一旁肥皂膜較厚、肥皂分子濃度較高的區塊，表面張力較小，進而導致液體從肥皂膜厚的區域流向肥皂膜薄的區域，此一流動結果稱為馬拉高尼流。這可視為肥皂泡的自體修復能力，快破裂的薄區獲得厚區流來的液體補充，因此才不會破裂。

(二)而肥皂泡因受重力影響，會導致上方肥皂膜較薄、肥皂分子少、表面張力大，而下方與水接觸的地方肥皂膜較厚、肥皂分子多、表面張力小，此時就會產生馬拉高尼效應(Marangoni Effect)所造成的馬拉高尼流(如圖 24)。因此只要肥皂泡進入了馬拉高尼流的範圍，就會帶動相互靠近。

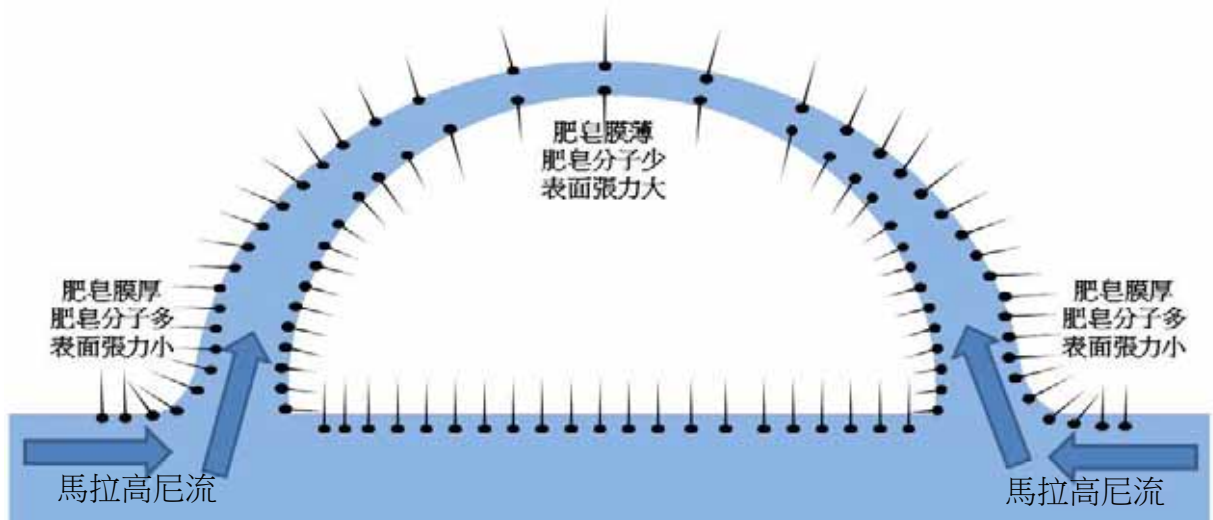


圖 24：水面上肥皂泡中，馬拉高尼效應示意圖

(三)為了確認馬拉高尼效應在肥皂泡中確實存在，我們將水槽中的水以紅色染料染紅，再將肥皂泡吹於水面，此時可觀察到水槽中的紅色染料，由底部迅速上升至頂部(如圖 25)。這可以證明確實在肥皂泡中，有馬拉高尼流的存在。



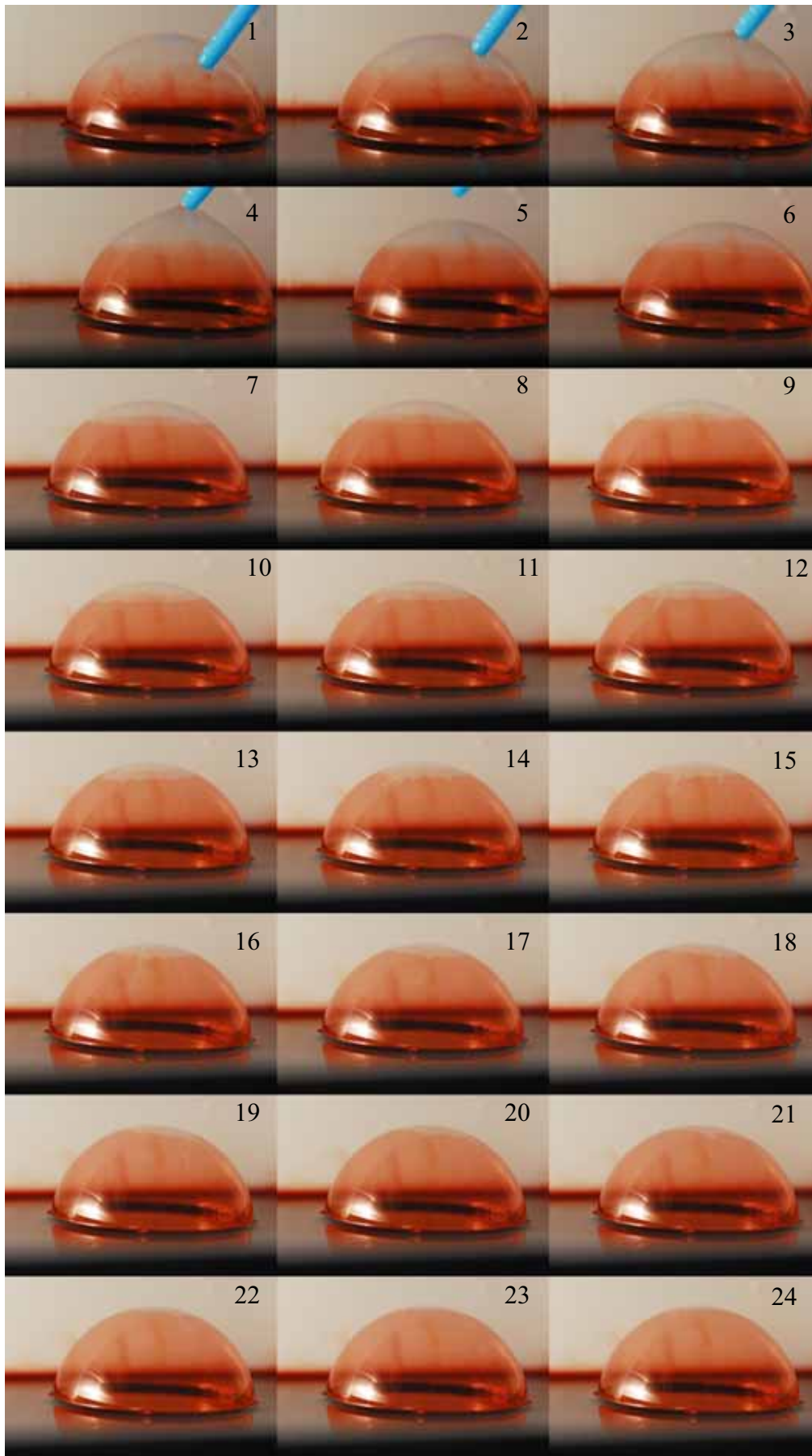


圖 25：水槽中的紅色染料，由肥皂泡底部迅速上升至頂部的現象

(四)根據以上的實驗結果及理論上馬拉高尼流的成因，如果我們改變水槽中水的表面張力，就可改變馬拉高尼流的大小，進而影響兩肥皂泡泡相吸的情況。如果我們能夠觀察到馬拉高尼流變大，兩肥皂泡泡相吸變明顯，那就可以證明肥皂泡相吸必然是因為馬拉高尼流造成的。我們查詢資料後，知道了：

酒精的表面張力比水小，推測馬拉高尼流是因為：肥皂泡膜上下張力差造成的液體流動。酒精水溶液的張力比水更小，導致上下張力差更大，馬拉高尼流更大。因此我們想了解：

- (1) 10%酒精水溶液馬拉高尼流是否比水大。因此設計了實驗九-加入酒精對馬拉高尼效應的影響
- (2) 在 10%酒精水溶液上，兩肥皂泡是否會越早或越快接近。因此設計了實驗十-觀察 10%酒精水溶液上，泡泡互相靠近的情形

### 九、加入酒精對馬拉高尼效應的影響

(一)將水槽兩側分別放上 10%酒精水溶液及水，將肥皂泡吹到中央，觀察肥皂泡的移動情況。可發現肥皂泡由水向 10%酒精水溶液方向移動(如圖 26)。

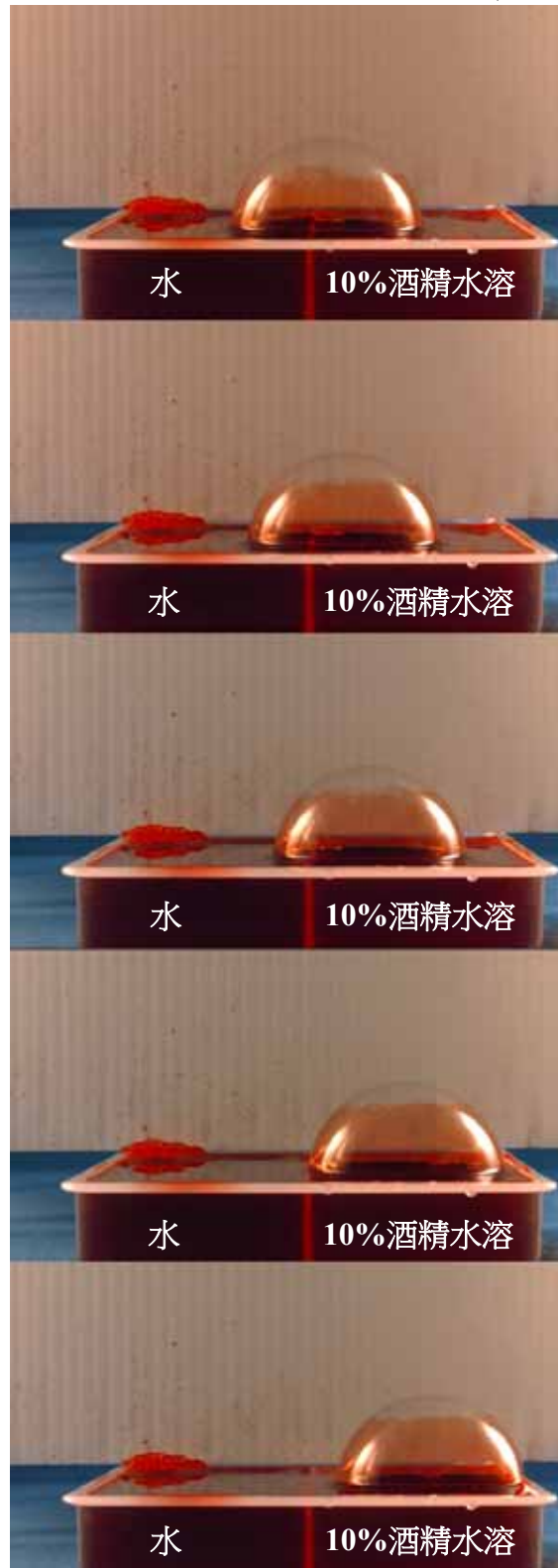


圖 26：兩側分別放上 10%酒精水溶液及水，可發現肥皂泡由水向 10%酒精水溶液方向移動。

(二)將水槽兩側分別放上染成紅色的 10%酒精水溶液及不染色的水，將肥皂泡吹到中央，觀察色素流動的情形。可發現肥皂泡移動至 10%酒精水溶液端後，紅色色素會藉由肥皂泡膜，逐漸進入純水端(如圖 27)。如此可知肥皂泡在 10%酒精水溶液中的馬拉高尼流較強大。

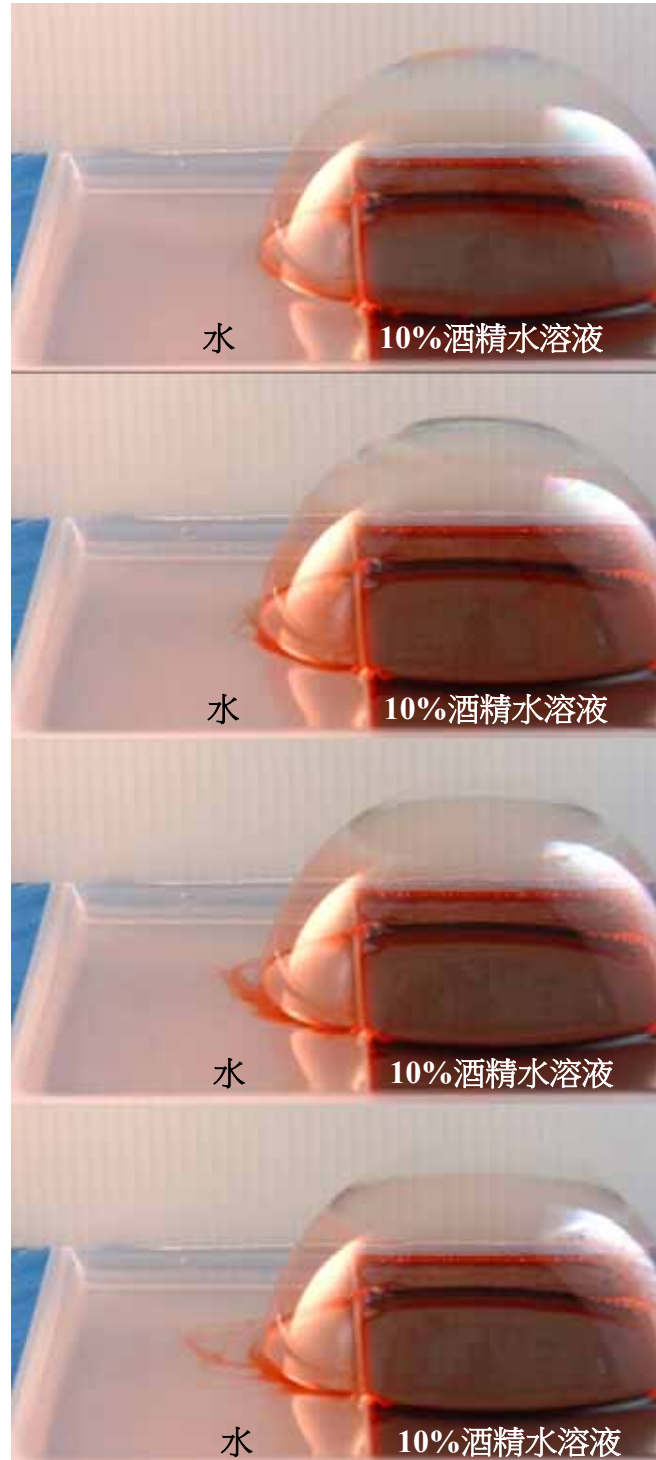


圖 27：肥皂泡移動至 10%酒精水溶液端後，紅色色素會藉由肥皂泡膜，逐漸進入純水端。

(三)實驗的結果符合我們的推測：馬拉高尼流是因為，肥皂泡膜上下張力差造成的液體流動。10%酒精水溶液的張力更小，導致上下張力差更大，馬拉高尼流更大。

## 十、觀察 10%酒精水溶液上，泡泡互相靠近的情形

- (一)將有刻度方格的切割墊置於起波槽的下方以高速攝影機拍攝。再將有刻度方格的切割墊及標準尺置於透明水缸的前後方以高速攝影機拍攝。
- (二)高速攝影機以每秒 30 張的拍攝速度紀錄下在 10%酒精水溶液中及純水中泡泡靠近的過程，然後計算出泡泡靠近時的速度。
- (三)將計算出來的數值以 Excel 程式分析、畫出泡泡接近過程的速度-時間關係圖(圖 28)。



圖 28：兩肥皂泡靠近過程速度時間關係圖。

由圖中可看出兩肥皂泡泡於 10%酒精中較早開始加速，且加速現象較為明顯。

- (四)由拍照結果對應兩肥皂泡靠近過程的速度-時間關係圖，可發現 10%酒精水溶液中，兩泡泡於相距 5.3mm 開始加速。而純水中兩泡泡相距 4.3mm 才開始加速。
- (五)綜合上述兩個結果，我們確定了馬拉高尼流越大，距離越遠就開始加速，且加速現象越顯著。此結果與我們的假設完全相符，可明確說明，兩肥皂泡泡間加速靠近，就是因為馬拉高尼效應導致的結果。

## 陸、討論

- 一、本實驗我們採用高速攝影機( $f=30$  張/秒)，連續拍照，並在肥皂泡下方墊上方格，觀察其在方格紙上的移動狀態。兩肥皂泡在接近至大約 1cm 左右會極快的加速接近，但我們使用的直尺最小刻度為 mm，而在 1/30 秒內肥皂泡移動不足 1mm，因此導致判讀上我們採取將拍攝到的照片放大至全螢幕，在估計位置至 0.1mm 的單位，此時人為的判讀上，會產生較大的誤差。但還是可以看出在接近過程中速度增加，產生加速度的現象。若能以更小刻度的尺去測量，必定可以有更精準的測量結果。
- 二、在「六、分析毛細現象及泡泡的加速現象」的實驗中，改變斜面角度，可發現角度較小時，較遠較早都會產生加速現象。我們猜測這可能是因為因夾角越小，肥皂泡與斜面的間所容納的水越少，當馬拉高尼流將水一抽走後，液面下降的較快，導致肥皂泡流向低處，因此向斜面加速較明顯。
- 三、可惜的是我們在「七、同性分子間的吸引力」實驗，並沒有辦法有效的觀察到肥皂分子的擴散現象，僅觀察到在肥皂泡邊緣形成一個粉筆灰無法進入的範圍，若有直接觀察肥皂分子的觀測方式(如將直接染色於肥皂分子上...等)，就可以確實釐清是否有這一項力量的影響，導致肥皂泡間加速靠近。
- 四、將粉筆灰撒於水面上後，再吹泡泡於水面上，可觀察到少量進入水中的粉筆灰，會被馬拉高尼流帶入肥皂膜中，逆流而上，並達到一定高度後，就會轉向。這有兩種可能  
1. 應該是粉筆灰上升至肥皂膜厚小於顆粒大小處，因此被擋下。  
2. 從「八、馬拉高尼效應」中，我們可觀察到紅色染料再上升的過程中，並非一路上衝，而會產生轉向的現象，並持續上升。有可能上升至一定高度後，馬拉高尼流轉向，導致粉筆灰一同轉向。

## 柒、結論

- 一、利用市售玩具打氣筒改裝成吹泡泡工具，每次將打氣筒壓到底便可以很穩定的吹出直徑大小六公分的泡泡，而且以市售泡泡水：洗髮精：沙拉脫=1：1：1的比例混合可以吹出很穩定的泡泡，可以撐到秒鐘才破裂。相同大小、長時間穩定的泡泡有利我們拍攝、分析、計算。
- 二、以每秒30張的高速攝影機拍攝記錄下泡泡靠近的過程，統計及平均幾次的實驗結果，發現泡泡靠近時會產生加速度互相靠近，這代表此時兩肥皂泡間，必定有受力。
- 三、分析了高速攝影機所拍攝下來的照片，發現當兩個泡泡快要接觸時，兩個泡泡內側會因為互相拉扯變形成橢圓形，而外側還是保留圓形。這應該是兩個泡泡間的吸引力所造成的，而且越靠近、它們之間的吸引力越大，所以加速度也越來越快。這現象排除了從外側推的力量因素，所以和外側的大氣壓力、白努利原理等比較沒有關係。
- 四、以前學到『水的表面有表面張力的拉力存在，當船尾的肥皂溶水水後表面張力會變小，船頭的拉力大於船尾，因此船會向前進』。但是將肥皂水及橄欖油滴到正在靠近的兩個泡泡之間，都不會影響它們的靠近。所以它們之間的吸引力並不是以前學到的單純的表面張力現象所造成的。
- 五、觀察照片，發現兩個泡泡接觸時，接觸點的泡泡壁上揚：水對玻璃的附著力大於內聚力，所以當水裝於量筒中，兩邊會吸附上去。若是兩泡泡靠近會有加速現象是因為毛細現象，角度越大，那理論上應該加速現象會越明顯。但實驗結果卻是角度小時，肥皂泡泡較早、較遠就產生加速現象，因此可以排除毛細現象。
- 六、在討論探是否是「因為肥皂分子會向外側擴散時，當兩個肥皂泡泡向外側擴散的部分接觸時，同性分子間的吸引力，使兩個泡泡加速靠近」的問題時。將粉筆灰撒於水面，可觀察到若粉筆灰是漂浮在水面上時，靠近肥皂泡時，不太容易靠近肥皂泡，會在其邊緣形成一圈無法靠近的範圍，這也許可以說明此一範圍有肥皂分子，導致粉筆灰不易靠近。但這可能是因肥皂泡泡在水面上接觸點是向外翻的弧面，類似一斜面，導致粉筆灰無法爬高不易靠近，無法明確證實有沒有肥皂分子擴散現象。因此「同性分子間的吸引力」這一項力量，我們並無法完全排出它導致肥皂泡加速靠近的可能性。
- 七、將粉筆灰撒於水面上後，可發現少量沒入水中的粉筆灰，會快速向肥皂泡靠近後，進入肥皂膜內向上爬升。這可證明有一股力量，將粉筆灰加速帶向肥皂泡膜中。查詢資料，發現肥皂泡中有一個很有趣的現象就是馬拉高尼效應(Marangoni Effect)，會致液體從肥皂膜厚的區域流向肥皂膜薄的區域，此一流動結果稱為馬拉高尼流。我們將水

槽中的水染成紅色後，再將肥皂泡吹於水面，水槽中的紅色染料，由底部迅速上升至頂部。這可以證明確實在肥皂泡中，有馬拉高尼流的存在。這個因素應該就是導致兩肥皂泡在接近時能夠加速靠近的主因。

八、經由「九、加入酒精對馬拉高尼效應的影響」，驗證了肥皂泡在 10%酒精水溶液中馬拉高尼流較純水中大，並經由「十、觀察 10%酒精水溶液上，泡泡互相靠近的情形」，可知兩肥皂泡在 10%酒精水溶液中，距離較純水中遠就開始加速，且加速現象比純水更明顯。經由以上的實驗可以證實，兩肥皂泡之間的加速靠近現象，就是由馬拉高尼效應造成的。



## 捌、參考資料及其他

一、 高中物理學科中心

<http://physical.tcfsh.tc.edu.tw/physical/index.html>

二、 高瞻自然科學教學資源平台—毛細現象

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1522>

三、 維基百科—毛細現象

<http://h.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%9B%E7%BB%86%E7%8E%B0%E8%B1%A1>

四、 科學月刊—從日常生活看分子間的作用力

<http://210.60.226.25/science/content/1986/00050197/0011.htm>

五、 英文版 維基百科—馬拉高尼效應 Marangoni effect

[http://en.wikipedia.org/wiki/Marangoni\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Marangoni_effect)

六、 英文版 維基百科—表面張力 Surface tension

[http://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_tension](http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension)

七、 褚德三教授主編，『物質科學物理篇(下)』、龍騰出版社，2006年8月。

八、 邵國志，『肥皂船-表面張力的探討』，屏東教育大學科學教育 2011，33，17-26。

九、 傅宗政、陳正平，『冒泡的美』，科學發展月刊，29卷，第11期，788。

## 【評語】 030117

1. 本作品觀察泡膜作用，以錄影並配合數位影像分析，系統化從事實驗設計探討相關機制物理成因。
2. 本實驗以適當物理模型理論，並配合實驗系統化觀察，支持解釋觀察到現象。
3. 建議進一步搜尋相關研究文獻，整理相關物理理論，並從事模擬及實驗分析，獲得定量分析結果。