

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

最佳創意獎

030215

「液油」未盡-探討不同濃度液滴在載玻片表面
互動的原因

學校名稱：嘉義市立民生國民中學

作者： 國二 呂閑筠 國二 洪宛瑩 國一 蕭妤珊	指導老師： 吳銘訓 陳正雍
---	-----------------------------

關鍵詞：表面張力、丙二醇水溶液、馬蘭哥尼效應

摘要

我們延續學長的實驗，探討為什麼液滴會在玻片上互動。一開始，我們猜想是否烘烤時有物質會附著在玻片上，但是經過設計不同的實驗驗證後，發現並不是有燃燒不完全的物質附著在玻片表面上，而是玻璃表面足夠乾淨就可以使液滴有產生互動的能力，我們把它稱為活化。實驗發現烘烤時間越久，玻片溫度越高，造成玻璃表面活化的現象越明顯，但玻璃表面的活化現象只能維持 2~3 天。

我們探討了幾種可溶於水的有機物，當它們溶於水後，在不同濃度時會有不同的表面張力，當在活化的玻璃表面上滴上兩液滴，如果兩液滴的表面張力相差 10mN/m 以上，低表面張力液滴會推擠高表面張力液滴而產生同方向的移動，如果兩液滴的表面張力太接近，兩液滴就不會推擠，會直接互溶。

壹、研究動機

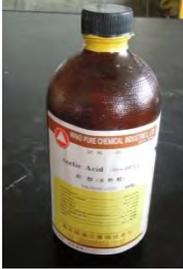
我們這次選定這個主題，主要是來自上一屆學長的啟發。因為去年上一屆的學長在報告他們科展的研究時，我們在台下聆聽，聽著聽著，當學長報告完後，我們的好奇心便開始作怪，於是問了學長一些關於報告的問題，然而，在我們快要弄懂一切之際，其中一位同學，便詢問一個最關鍵的問題——為甚麼，小水滴能在玻片上追逐，奔跑，推擠？

學長感覺有點愧疚，有點說不出話來，而在學長不知所措的背後，也引發了我們的更好奇。當我們這次再度面臨選題目的困擾時，我們便決定，為時間不足而找不出原因的學長以及好奇心過盛的我們，找出一個所以然，給一個正確的交代。

貳、研究目的

- 一、探討不同火源對兩液滴互動的影響。
- 二、探討烘烤時間對兩液滴互動的影響。
- 三、探討玻片正反面對兩液滴互動的影響。
- 四、探討烘烤完放置時間對兩液滴互動的影響。
- 五、探討玻片重複使用率對兩液滴互動的影響。
- 六、探討液滴接觸時液體對流情況。
- 七、驗證玻片活化的因素。
- 八、探討甲酸、乙酸、丙酸對兩液滴互動的影響。
- 九、探討甲醇、乙醇、異丙醇對兩液滴互動的影響。
- 十、探討異丙醇、丙二醇、丙三醇對兩液滴互動的影響。
- 十一、文獻探討與理論驗證

參、研究設備及器材

				
量筒	食用色素	自製微分頭針筒	電子式溫濕度計	OHP 膠片投影機
				
鐵夾子	紅外線溫度計	載玻片		
				
酒精燈	噴燈	電晶爐	本生燈	蠟燭
				
甲醇	乙醇	異丙醇	丙二醇	甘油(丙三醇)
				
甲酸	醋酸	丙酸	乙二醇	電子天平
				
濾油網	廚房過濾網	塑膠製廚房過濾網		

肆、研究過程、結果及討論

一開始我們先依照學長的方法配製丙二醇溶液，分別為體積百分濃度 1% 和 25%，並在 1% 的溶液中，加入 3 滴的紅色色素，25% 的溶液中，加入 3 滴的藍色色素，以便觀察。

接下來，將新的玻片加熱，並靜置玻片，等待玻片溫度降回室溫。等待的同時，我們用微分頭針筒吸取丙二醇溶液，確認針筒內無氣泡，再裝上針頭。並且架設 OHP 投影機，以及拍攝的相機。

等到玻片降回室溫時，再將玻片放置 OHP 投影機上，並確認能夠清楚記錄下實驗的過程，最後，使用微分頭針筒以 3 格刻度，將液滴滴在玻片上。

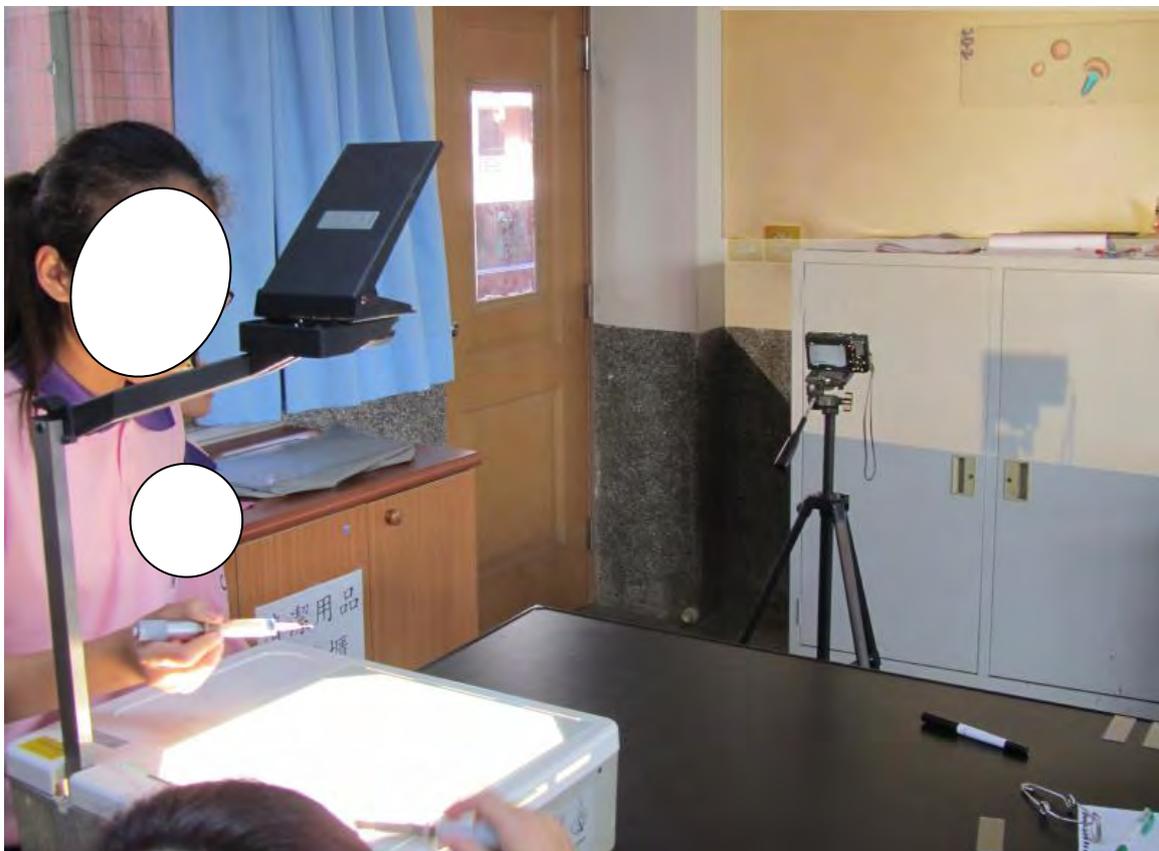
首先，先確認液滴在玻片上的形狀為攤開的圓形，邊緣無鋸齒狀。接下來，開始觀察兩液滴的互動。



圖一、配置溶液



圖二、吸取溶液

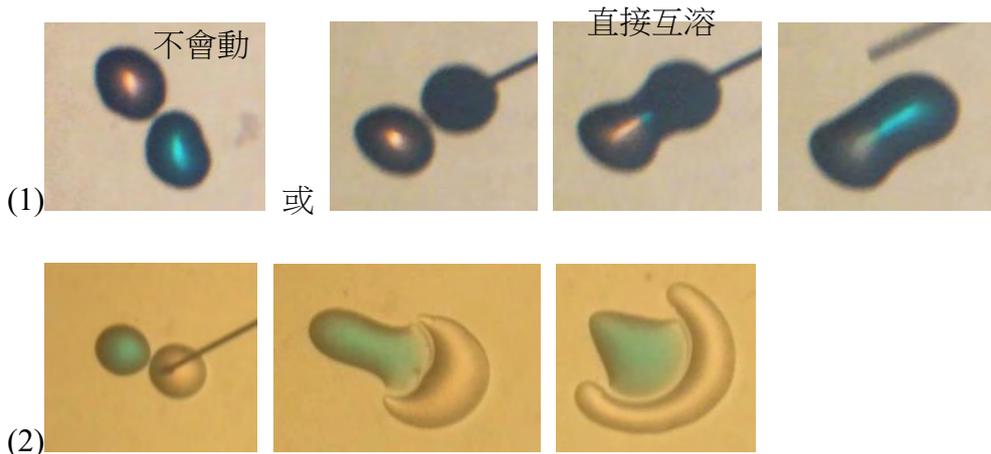


圖三、實驗裝置

一、實驗一：探討不同火源對兩液滴互動的影響

(一) 實驗過程：

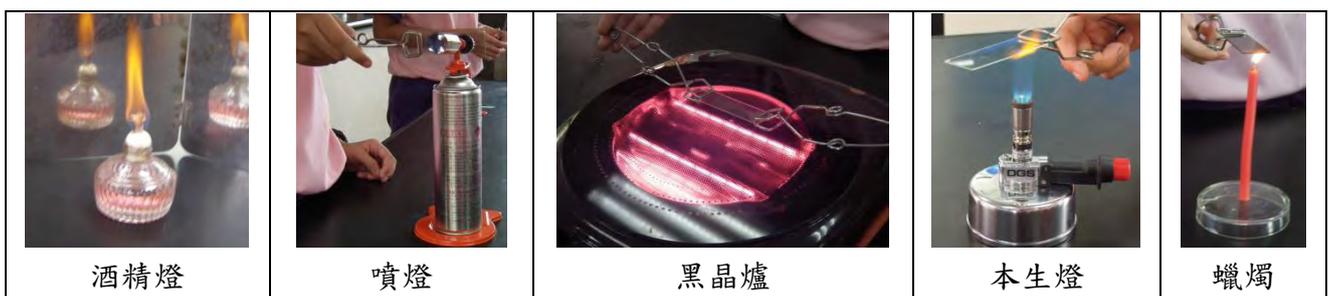
去年學長的研究發現，在這個實驗中，兩液滴能夠發生推擠追逐很重要的因素，是玻片要先經過火烤，沒有經過火烤的玻片液滴滴上去後，不會攤開，會是一小滴且顏色很深，不會推擠、移動。如果經過酒精燈烘烤 30 秒以上，滴上去的液滴會攤開成圓形，並且呈現很好的移動性與推擠追逐的現象，如下圖所示，我們將下圖之(1)的情況定義為失敗，下圖之(2)的情況定義為成功。



圖四、(1)失敗的情況：液滴很小不攤開，不成圓形，且不會動或直接互溶
(2)成功的情況：液滴攤開，邊緣平滑，互相靠近後發生推擠的現象

我們先探討火烤的條件，希望能找出為何一定要火烤過才會成功，是不是火烤時有甚麼東西附著在玻璃表面，或是造成了玻璃表面特別的變化才使液滴會互相推擠。

我們總共使用了五種不同的火源加熱，火源條件分別敘述如下：

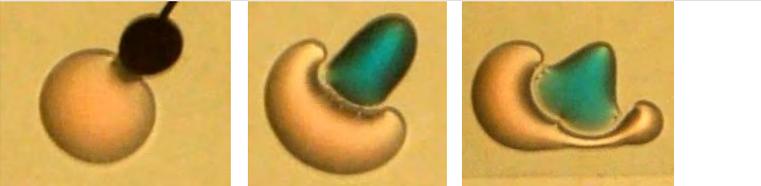


我們固定加熱時間為 40 秒，每次加熱完成後，我們馬上利用紅外線溫度計測量載玻片溫度，並記錄起來，等溫度下降到室溫，再滴上液滴，進行實驗，觀察是否發生推擠的互動。結果如下：



圖五、測量載玻片烘烤完溫度

(二)實驗結果：

項目	火源種類	烘烤條件	結果	現象
1	 酒精燈	40 秒 292.9°C	成功	 液滴攤開且兩液滴互相推擠
2	 噴燈	40 秒 457.8°C	成功	 液滴攤開且兩液滴互相推擠
3	 黑晶爐	40 秒 280.3°C	失敗	 液滴不攤開且兩液滴接觸時瞬間融合，不會互相推擠
4	 本生燈	40 秒 443.1°C	成功	 液滴攤開且兩液滴互相推擠
5	 蠟燭	烤至一面 全黑	失敗	 1%的液滴會形成球狀，不會攤開  25%液滴會散開

討論：

由以上實驗結果我們可以歸納出以下幾點：

1. 載玻片的溫度要先加熱到 290°C 以上，再冷卻下來，實驗液滴才會互相推擠。
2. 載玻片的加熱時的溫度越高，成功機會愈大。
3. 利用蠟燭加熱，在載玻片表面形成一層碳黑，會使液滴完全不攤開形成球狀，而且 1%的液滴會在燻黑的載玻片表面上滾來滾去，好像在荷葉上滾動一樣，但 25%液滴會慢慢散開，兩液滴不會互相推擠，算是失敗。

二、實驗二：探討烘烤時間對兩液滴互動的影響

探討完不同的火源後，我們猜測是不是加熱載玻片時，載玻片表面有燃燒不完全的東西附著，使液滴出現推擠的現象，還是因為加熱達到某個溫度以上，載玻片才會使液滴互相推擠，所以接下來我們改變玻片烘烤的時間，觀察不同加熱時間對液滴互動的影響。首先使用酒精燈，驗證了學長的結論：烘烤時間愈久，液滴在玻片上的推擠效果愈好。如果換成其他火源，是不是也是如此呢？因為噴燈、本生燈與酒精的都是用火焰烘烤玻片，所以我們決定以黑晶爐來進行實驗。

我們將黑晶爐打開，將火力開到 5，等待 3 分鐘，溫度穩定後再將載玻片直接放在黑晶爐表面，以馬錶開始計時，分別是烘烤 10、20、30、40、50 及 60 秒，每一個時間我們烘烤兩片。烘烤完馬上測量載玻片溫度。然後將烘烤面(正面)向上，靜置於桌面，將載玻片編上編號等到載玻片冷卻到室溫再進行實驗。

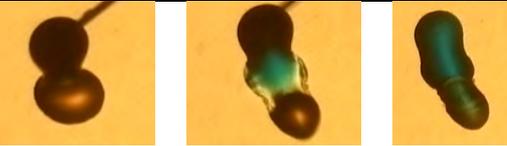
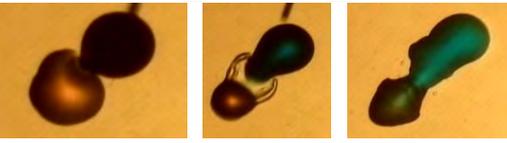
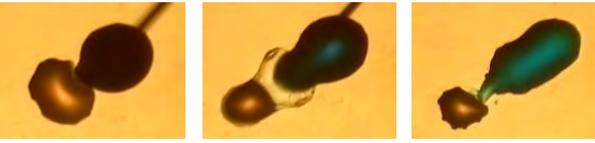
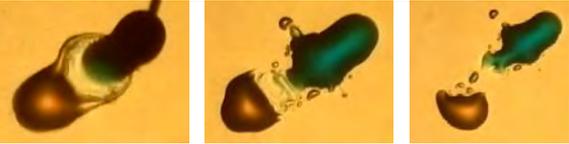


圖六、利用電晶爐不同時間將載玻片加熱，並測量溫度，放置冷卻到室溫

表一、烘烤後溫度測量結果

	10sec	20sec	30sec	40sec	50sec	60sec
第 1 片(°C)	235.4	274.1	272.3	280.5	260.9	284.3
第 2 片(°C)	237.3	266.0	278.1	280.3	258.3	287.3
平均	236.4	270.1	275.2	280.4	259.6	285.8

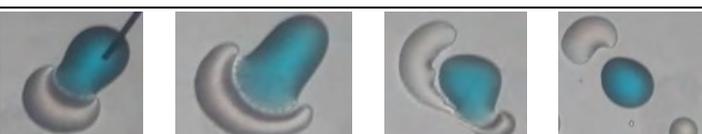
液滴滴上去後的結果

項目	烘烤時間(秒)	烘烤條件 $^{\circ}\text{C}$	結果	現象
1	0 對照組	無	完全失敗	 <p>液滴不攤開且兩液滴接觸時瞬間融合，完全不互相推擠</p>
2	10	236.4	略為成功	 <p>液滴不攤開，稍為推擠就停下來</p>
3	20	270.1	略為成功	 <p>液滴不攤開，稍為推擠就停下來</p>
4	30	275.2	略為成功	 <p>液滴不攤開，稍為推擠就停下來</p>
5	40	280.4	略為成功	 <p>液滴不攤開，稍為推擠就停下來</p>
6	50	259.6	略為成功	 <p>液滴不攤開，稍為推擠就停下來</p>
7	60	285.8	略為成功	 <p>液滴攤開，稍為推擠就停下來</p>

由以上的實驗結果，我們觀察到，加熱時間越久，載玻片的溫度會越高，加熱 1 分鐘時最高溫大約到 290 度 $^{\circ}\text{C}$ ，液滴互動的結果是加熱時間越久，看起來越有成功的機會，所以我們將烘烤時間改成 1、2、3、4、5 分鐘，看結果會不會成功。

表二、烘烤後溫度測量結果

	1min	2min	3min	4min	5min
第 1 片(°C)	276.8	286.7	301.4	299.3	270.2
第 2 片(°C)	289.3	292.4	309.4	313.3	288.8
平均(°C)	283.1	289.6	305.4	306.3	279.5

項目	烘烤時間(分)	烘烤條件°C	結果	現象
1	1	283.1	略為成功	 <p>液滴攤開不完全，稍為推擠就停下，很快就融合</p>
2	2	289.6	略為成功	 <p>液滴攤開不完全，稍為推擠就停下，很快就融合</p>
3	3	305.4	接近成功	 <p>液滴攤開完全，推擠距離略遠</p>
4	4	306.3	成功	 <p>液滴攤開完全，推擠距離更遠</p>
5	5	279.5	成功	 <p>液滴攤開完全，推擠距離更遠</p>

討論：

1. 我們利用了黑晶爐加熱載玻片，也可以成功，很明顯烘烤時間越久，**溫度越高的情況下，成功的機會越大**，而且我們認為，黑晶爐是以鹵素燈管加熱的方式，並不是燃燒的方式，所以玻璃表面應該不會附著燃燒不完全的物質，才造成不同濃度的丙二醇液滴推擠。
2. 如果是燃燒不完全的物質像碳粒附著在載玻片的表面，應該會像蠟燭燻黑玻璃表面，使液滴不攤開，造成失敗。
3. 我們將玻璃表面可以使不同濃度的丙二醇液滴推擠的能力稱為**活化**，我們猜測玻璃表面被活化的原因可能不是燃燒不完全的物質附在玻璃表面，而是溫度造成的影響。

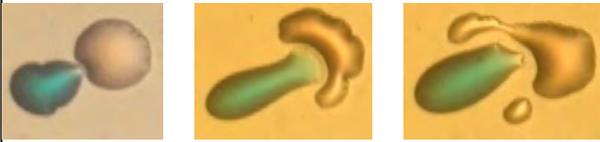
三、實驗三：探討玻片正反面對兩液滴互動的影響。

由實驗二我們猜測，烘烤過的載玻片表面可以使不同濃度的丙二醇液滴發生推擠現象，不是因為酒精燈或噴燈燃料燃燒不完全造成的，而是將玻璃加熱到一定的高溫後造成的，因此我們想進一步驗證我們的猜想。

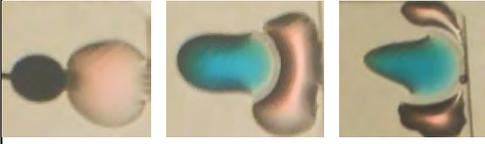
我們先假設酒精燈或噴燈燃料燃燒不完全造成玻璃表面的活化，烘烤面就會比較容易沾上燃燒不完全的物質，使液滴互相推擠，容易成功，烘烤的背面應該沾到燃燒不完全物質的機會較低，因此容易失敗，所以我們進一步實驗看看載玻片烘烤的正反面有沒有差別。

我們分別用噴燈、黑晶爐、本生燈進行正反面實驗。

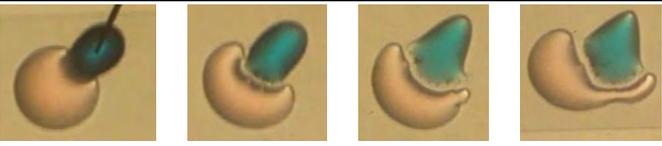
(一)噴燈，烘烤 40 秒

項目	烘烤時間	正反面	結果	現象
1	40 秒	烘烤正面	成功	 液滴攤開且兩液滴互相推擠
2	40 秒	烘烤反面	成功	 液滴攤開完全，明顯的推擠現象，推擠距離略小於正面。

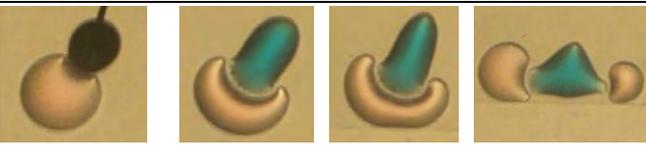
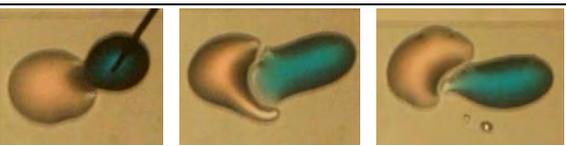
(二) 黑晶爐，烘烤 5 分

3	5 分鐘	烘烤正面	成功	 液滴攤開完全，推擠距離更遠
4	5 分鐘	烘烤反面	成功	 液滴攤開完全，明顯的推擠現象

(三) 本生燈，烘烤 20 秒

5	20 秒	烘烤正面	成功	 <p>液滴攤開完全，推擠距離遠</p>
6	20 秒	烘烤反面	失敗	 <p>液滴不攤開，一接觸就互溶</p>

因為以黑晶爐烘烤正反面都可以成功，我們判斷本生燈反面失敗可能是因為溫度不夠，所以我們增加烘烤時間到 60 秒再實驗一次，結果如下。

7	60 秒	烘烤正面	成功	 <p>液滴攤開完全，推擠距離遠</p>
8	60 秒	烘烤反面	成功	 <p>液滴攤開完全，明顯的推擠現象，但不如正面流暢</p>

討論：

1. 由以上的實驗我們判斷，烘烤的反面可以成功以及黑晶爐的正反面都可以成功，證明**玻璃表面的活化不是因為燃燒不完全的物質附著上去造成的**，而是加熱的溫度改變了玻璃表面的狀態。
2. 但是反面的加熱效果不如正面，因此活化後的表現也不如正面，尤其像本生燈，因為加熱溫度高，所以只要 20 秒正面就完全被活化，但是反面卻失敗。加熱到 60 秒後，反面就可以成功了。

四、實驗四：探討烘烤完放置時間對兩液滴互動的影響

由實驗二、三，我們可以推測，玻璃表面在加熱時，並不是因為燃燒不完全的物質附著在玻璃表面，造成液滴的推擠，可能是因為玻璃表面加熱到某一個溫度之後，暫時改變了玻璃表面的狀態，使液滴能夠互相推擠，我們想了解這個狀態可以維持多久，是烘烤完後就可以一直保存還是有時間的限制，因此我們利用週一到週五每天中午烘烤兩片載玻片，然後等它們冷卻，以簽字筆寫上編號，放在和盒子中用蓋子蓋好，等到週五再進行液滴的實驗，看烘烤完多久載玻片表面還保有這樣的功能。

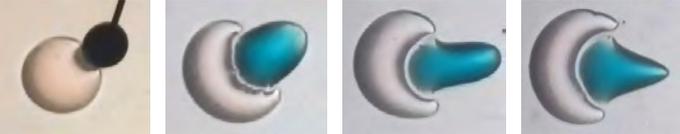
烘烤條件：黑晶爐、火力 5、烘烤 5 分鐘



圖六、利用電晶爐將載玻片加熱，並編號，放在盒子中加蓋蓋好

結果：

項目	烘烤後靜置時間(小時)	結果	現象
A	98	失敗	 <p>液滴不攤開，一接觸就融合</p>
B	74	略為成功	 <p>液滴攤開不完全，稍為推擠就停下不動</p>
C	50	接近成功	 <p>液滴攤開較完全，推擠更明顯且距離更遠</p>
D	26	接近成功	 <p>液滴攤開更完全，推擠一小段距離後融合</p>

E	2	成功	 <p data-bbox="518 304 1059 338">液滴攤開完全，推擠更明顯且距離更遠</p>
F	0	成功	 <p data-bbox="518 495 900 528">液滴攤開完全，推擠距離遠</p>

討論：

由以上實驗結果我們可以知道，烘烤之後的玻片不能放置太久，一天之後效果就明顯下降，三天以上的效果就幾乎沒有了。

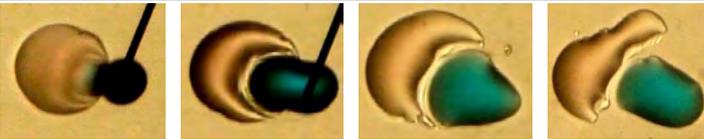
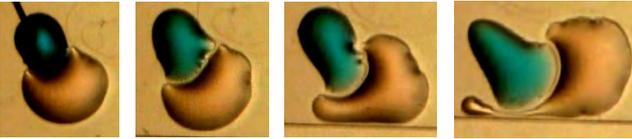
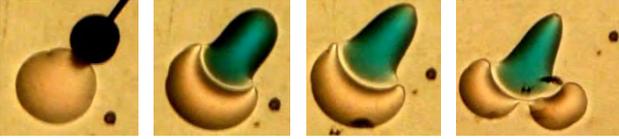
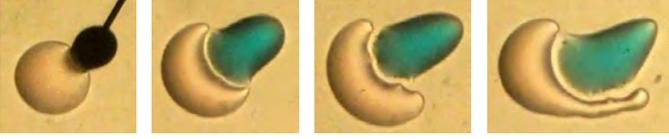
我們推測應該是高溫使得玻璃表面活化。由實驗一、二、三我們可以知道，加熱溫度越高，時間越久，玻璃表面活化越明顯，且**玻璃表面活化現象會慢慢降低，大約可以維持一到兩天還有部分的效果。**

五、實驗五：探討玻片重複使用率對兩液滴互動的影響

接下來我們想了解玻璃表面可以活化的次數，是只能用一次，還是可以重複的活化，或化的現象會不會隨著使用次數的增加減弱，所以我們用同一片載玻片反覆進行實驗，每次實驗結束後，用自來水沖洗乾淨，再次烘烤，滴上不同濃度的丙二醇液滴，看它可以重複成功的次數。

我們用黑晶爐加熱載玻片，火力 5、加熱 5 分鐘，使用 4 片載玻片進行實驗。

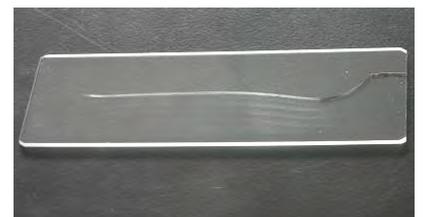
結果：

項目	使用次數	結果	現象
1	第一次	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
2	第二次	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
3	第三次	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
4	第四次	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
5	第五次	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>

討論：

由以上的實驗結果，我們可以知道，**同一片載玻片可以重複被活化，而且活化現象並不會隨著使用次數而有削弱。**

不過在實驗的過程中，載玻片因為第二次加熱以後，就出現冷卻時破裂的情況，所以進行到第五次實驗時，只剩一片載玻片可以用。



圖七、破裂的載玻片

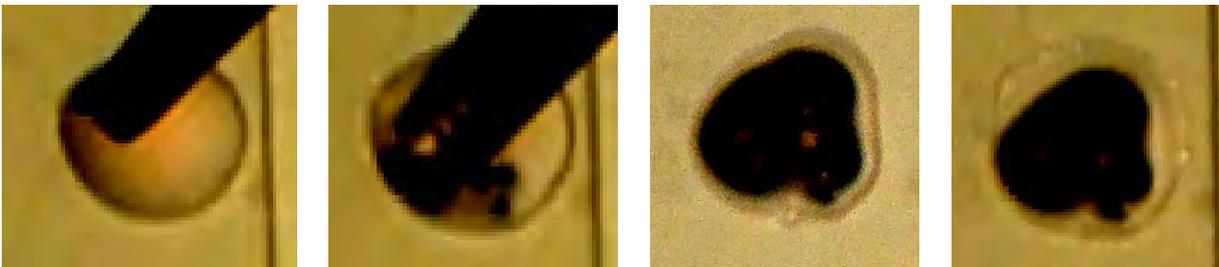
六、探討微粒實驗

載玻片表面的活化提供了上面的液滴可以有互相推擠的條件，但是為甚麼液滴間會有推擠的力量呢？我們猜測是不是因為液滴之間液體因濃度的不同產生有對流的現象，所以造成液滴之間有互相推擠的力量？我們想要觀察液滴間是否產生對流，想到了上學期學習溫度與熱單元時，老師在課堂上曾提到用木屑加到加熱中的熱水，可以觀察到對流現象，所以我們在液滴加入微粒，藉由觀察微粒的運動，了解液滴間是否產生對流。

我們準備了幾種東西，包括木屑、胡椒粉、金蔥粉、大理石粉末、鉛筆筆芯等，看是不是能看到對流現象。

(一)木屑

我們將鋸木頭的木屑收集起來，用夾子取一些，加到液滴中，結果發現，液滴中的色素會被木屑吸收，且木屑會聚在一起，好像互相黏住如下圖，所以失敗，不能用。



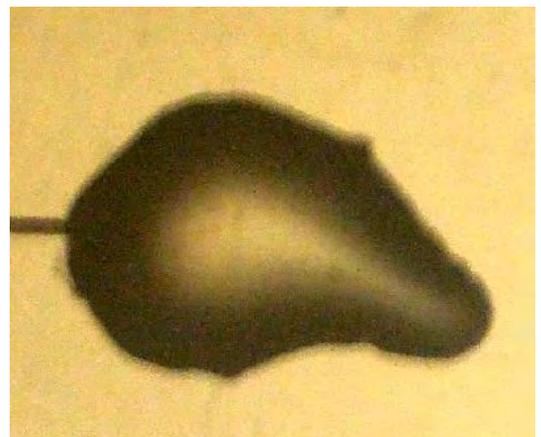
圖八、木屑會吸收色素，使液滴變成透明，且匯聚在一起，影響觀察

(二)胡椒粉

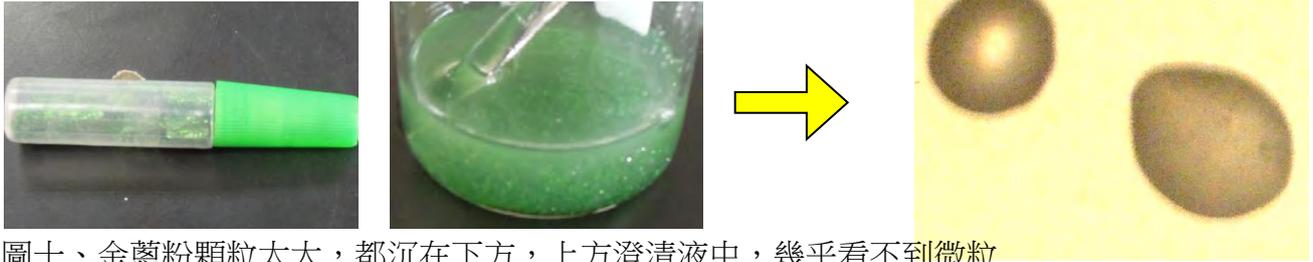
我們將胡椒粉加入水中，用玻棒攪拌，發現大的顆粒會沉澱在底部，取上方較清澈的溶液滴到玻片表面，發現液滴中的微粒太小，在玻片上無法清楚觀察到微粒，如下圖所示。



圖九、胡椒粉顆粒大小不一，顆粒大的沉在下面，懸浮在液體中的顆粒太小



(三)金蔥粉



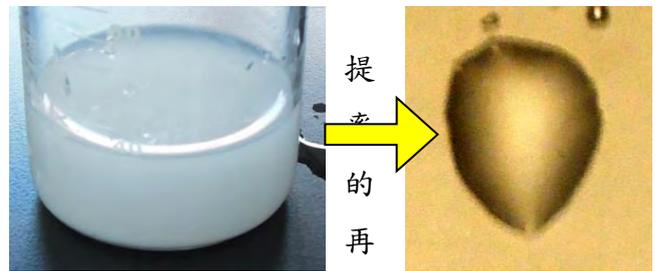
圖十、金蔥粉顆粒太大，都沉在下方，上方澄清液中，幾乎看不到微粒

金蔥粉的顆粒太大，會沉澱在下方，如果取下方的溶液，會將針頭堵塞，無法滴出液滴，如果改用塑膠滴管，金蔥粉會沉澱在玻璃表面，不會流動。

如果取上方澄清溶液，液滴中幾乎沒有金蔥粉，無法觀察到液滴中的微粒，如上圖。

(四)大理石粉末

最近自然剛好學到反應速率，老師上課時到塊狀大理石和粉末狀大理石與鹽酸的反應速不同，所以我們就想到可以試試看大理石粉末效果，我們將實驗室中的大理石粉末加到水中，以滴管吸取，滴到玻璃表面，看看



圖十一、大理石粉粉末太小，幾乎觀察不到微粒

結果適不適合，結果如上圖，因為大理石粉末太小，在螢幕上看不出來。

(五)鉛筆筆芯

在以上微粒實驗中我們發現這個微粒需要幾個條件：

第一點是不能與液滴產生作用，例如木屑會吸收色素，可能也會改變丙二醇液滴中溶質的分布，所以不是適當的微粒。第二點是本身不能有部分能溶於液滴中，這樣也會改變液滴的濃度分布。第三是要有適當大小，不能太大，以免不易流動，不能太小，會看不到，密度不能太大，會沉澱在玻璃表面，不易流動，我們後來想到了鉛筆的筆芯是石墨，如果把它磨成粉，再用篩子篩過，或許可以得到可用的微粒來觀察對流的現象。我們準備了以下三種網篩，編號為1號、2號、3號網篩。



1 號網篩



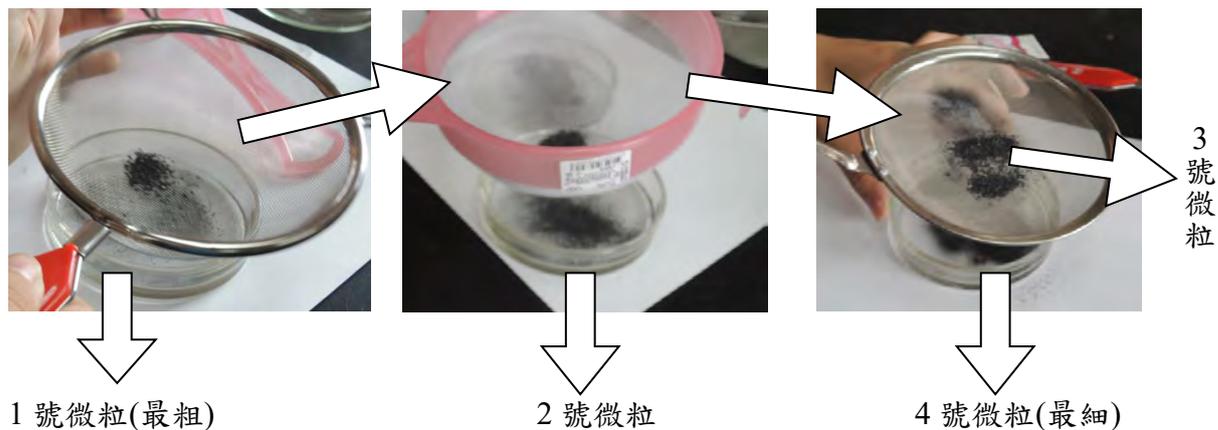
2 號網篩



3 號網篩

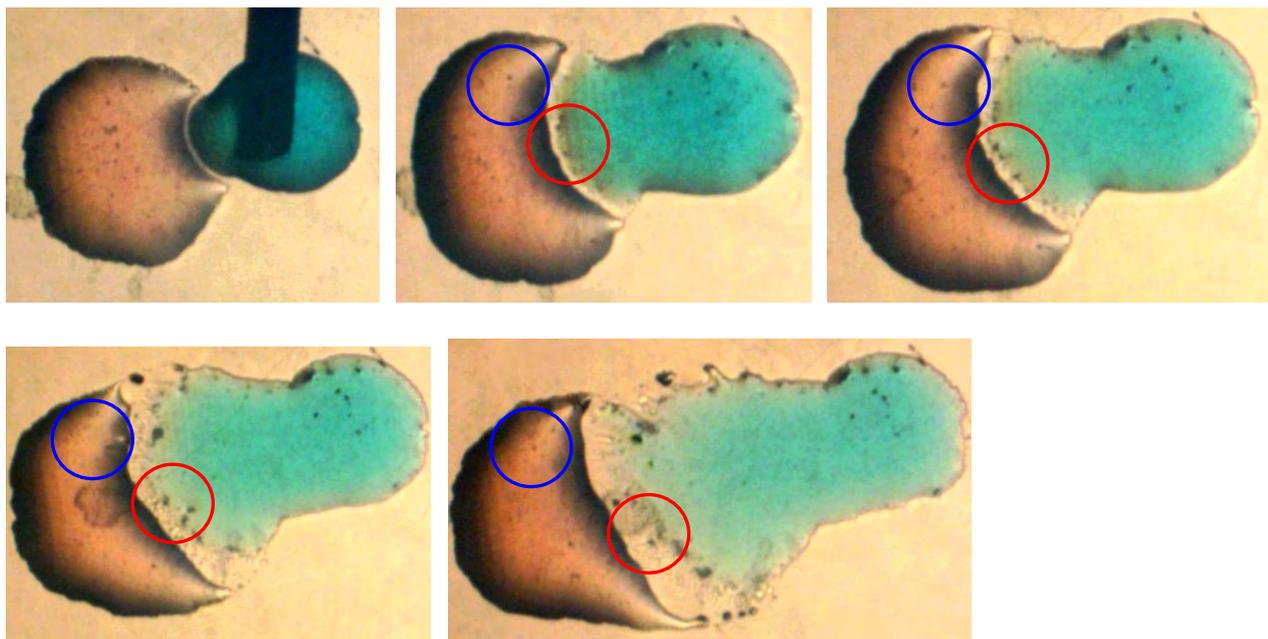
圖十二、不同網目大小的網篩

其中 3 號網篩的間隙最小，1 號網篩的間隙最大，我們用研鉢將筆芯磨碎，再用 1 號網篩篩過，將篩出來最粗的粉末編號為 1 號，剩下的依序放到 2 號與 3 號網篩再篩過如下圖。



我們試了這 4 種微粒發現 3 號微粒效果最好，因此拿它來做實驗，觀察液滴間的對流現象如下：

實驗結果



由以上我們可以觀察到，藍色的 25%丙二醇推擠紅色 1%丙二醇時，並沒有明顯的液體對流現象，反而是兩液滴的邊界分明，液滴交界處碳粉微粒慢慢聚集變大，不會流入紅色液滴中，而流入紅色液滴的液體流動也不明顯，兩液滴看起來處於互相排斥的狀態。

討論：

我們本來猜測是因為兩液滴因為濃度不同造成對流現象，對流的作用產生了推擠的力量使兩液滴移動，但是以上觀察發現兩液滴對流現象不明顯，反而有互相排斥的現象，我們查了資料發現，可能是兩液滴因為濃度不同，造成表面張力的差異，使得液滴發生了推擠的現象。



圖十三、不同網目大小的網篩^A

如上圖所示，A點受到兩個力的作用，一個是液滴2的表面張力(γ_2)，一個是液滴1的表面張力(γ_1)，如果 $\gamma_2 > \gamma_1$ ，A點就會向左邊(γ_2)的方向移動，也就是向兩液滴間表面張力較大的一邊移動。所以如果低濃度液滴的表面張力比較大，高濃度液滴表面張力比較小，**兩液滴就會向低濃度方向移動，看起來就像低表面張力的液滴推動高表面張力的液滴。**

那麼如果液滴的移動是因為表面張力，我們不禁思考加熱玻片的功能，是不是只是將玻片表面可能的油汙燒掉或蒸發掉，創造出一個乾淨的玻璃表面，使得液滴在玻璃表面可以完全攤開，降低液滴與玻片的總表面能，有油汙而不乾淨的玻璃表面反而會使液滴不攤開，達不到上述理論應有的移動。因此我們想到了二年級自然科所學，強鹼可以去除油汙，如果用氫氧化鈉溶液浸泡清洗載玻片，是否也可以達到乾淨的玻璃表面，使液滴可以互相推擠移動。

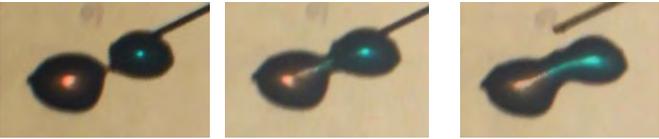
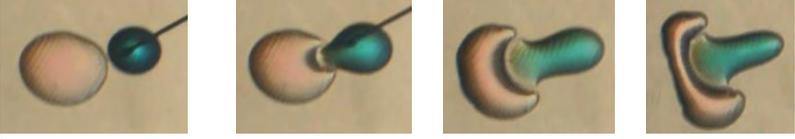
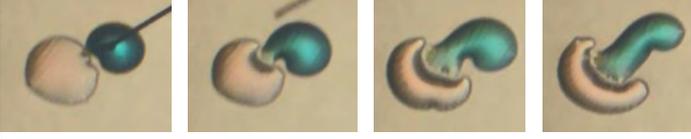
七、驗證玻片活化的因素

為了驗證我們的猜想，是否乾淨的載玻片表面就可以造成不同濃度液滴的推擠現象，我們想到了用氫氧化鈉溶液來去除載玻片表面可能的油污，我們以蒸餾水配置了4M的氫氧化鈉水溶液，將載玻片取出後**不經過烘烤**，分別浸泡1、5、10分鐘，然後以蒸餾水沖洗乾淨，再以吹風機冷風吹乾，分別滴上1%與25%丙二醇液滴，看是否會有推擠現象。



圖十四、將載玻片浸泡在氫氧化鈉溶液中，並以蒸餾水沖洗，再以吹風機冷風吹乾

結果：

項目	浸泡時間	結果	現象
1	0 分鐘	失敗	 液滴不攤開，一接觸馬上互溶
2	1 分鐘	失敗	 液滴不攤開，一接觸馬上互溶
3	5 分鐘	失敗	 液滴不攤開，一接觸馬上互溶
4	10 分鐘	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠，與火烤的效果很相似
5	火烤 40 秒 (對照組)	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠

討論：

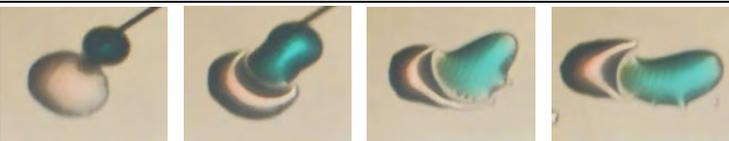
由以上的實驗結果，我們可以知道，**不需要經過烘烤，只以氫氧化鈉水溶液浸泡清洗，就可以將載玻片表面活化。**浸泡的時間要長一點，效果才會好。可是有同學提出，玻璃會溶解在氫氧化鈉水溶液中，會不會是浸泡時，載玻片表面的結構因為氫氧化鈉溶液溶解產生干擾實驗結果的因素。

所以我們改用洗碗精清洗，先將載玻片取出，不經烘烤，直接以洗碗精滴在載玻片表面，搓揉後再以蒸餾水清洗，重複三次，再以吹風機冷風吹乾，分別滴上 1%與 25%液滴，看是否會有推擠現象。



圖十五、將載玻片以洗碗精搓揉，再以蒸餾水沖洗，最後以吹風機冷風吹乾

結果：

項目	條件	結果	現象
1	洗碗精清洗	成功	 液滴攤開明顯，有明顯推擠的現象

討論：

由以上的實驗結果，我們可以知道，**不需要經過烘烤，只要載玻片表面夠乾淨，就可以為液滴的互動提供一個推擠的環境。**

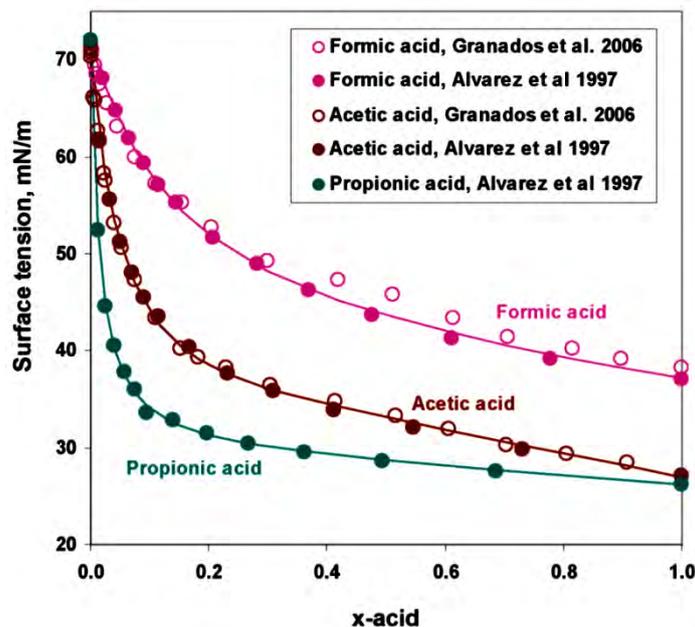
八、探討甲酸、乙酸、丙酸對兩液滴互動的影響。

玻璃表面的活化只是提供了液滴互相推擠的基本條件，但是如果液滴是相同濃度的水溶液，還是不會發生推擠的現象，所以我們找文獻指出到表面張力可能是影響的因素後，接下來我們就朝可溶於水的有機溶質來探討。因為去年學長嘗試用乙酸進行實驗，獲得成功，所以我們選擇了甲酸、乙酸、丙酸做為溶質，看看有什麼差異。

我們一樣調配體積百分濃度 1% 和 25% 的溶液，並在 1% 溶液中加入紅色色素，在 25% 溶液中加入藍色色素，以進行實驗，並且我們找到了不同濃度下，甲酸、乙酸和丙酸表面張力的資料如下圖，由圖中讀取 1% 和 25% 時三種溶液的表面張力如下表：



圖十六、配置甲酸、乙酸與丙酸 1% 與 25% 溶液



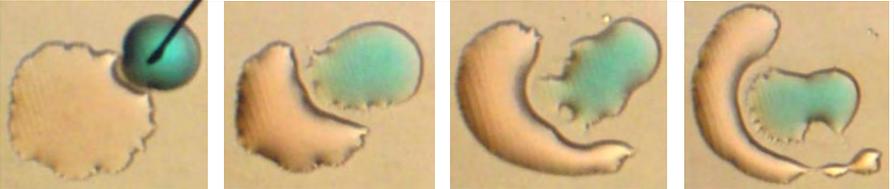
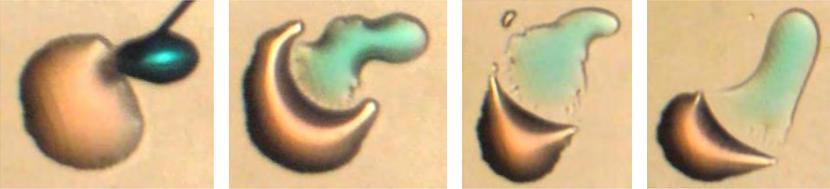
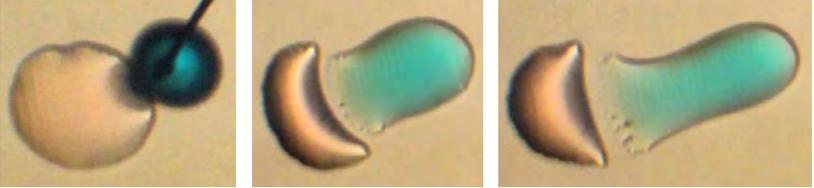
圖十七、酸類溶液濃度和表面張力關係圖(註 4)

表三、甲酸、乙酸、丙酸不同濃度下的表面張力

溶質	1%(紅色)	25%(藍色)	差異
甲酸	71	57	14
乙酸	68	46	22
丙酸	62	36	26

體積百分濃度 25% 的甲酸、乙酸、丙酸水溶液，莫耳分率大約分別為 13.2%、9.5% 與 7.4%。由上圖和上表我們可以知道，不管甲酸、乙酸、丙酸 1% 液滴的表面張力都大於 25%，差距大約是 14~26 mN/m。

結果：

項目	使用次數	結果	現象
1	甲酸	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
2	乙酸	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
3	丙酸	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>

討論：

甲酸、乙酸和丙酸實驗結果都很成功，液滴滴下去後攤開明顯，兩液滴不僅發生推擠，而且都是**低表面張力的液滴推高表面張力液滴**，且推擠距離都很遠，與我們查到的理論相符合。所以我們推論，**兩液滴表面張力相差 14~26 mN/m 時，兩液滴會發生互相推擠的現象。**

九、探討甲醇、乙醇、異丙醇對兩液滴互動的影響

接下來我們想要了解其他可溶於水的有機物是不是也有類似的狀況，看看是否可以得到相似的結果，所以我們就選了實驗室中常見的甲醇、乙醇和異丙醇來進行實驗，因為他們都含有一個-OH 的特殊結構，而且含碳數量分別為 1、2、3，應該性質上會有規律性。

我們一樣調配 1% 和 25% 的溶液，並在 1% 溶液中加入紅色色素，在 25% 溶液中加入藍色色素，以進行實驗，並且我們找到了不同濃度下，甲醇、乙醇和異丙醇表面張力的資料如下圖，由圖中讀取 1% 和 25% 時三種溶液的表面張力如下表：



圖十八、配置甲醇、乙醇與異丙醇 1% 與 25% 溶液

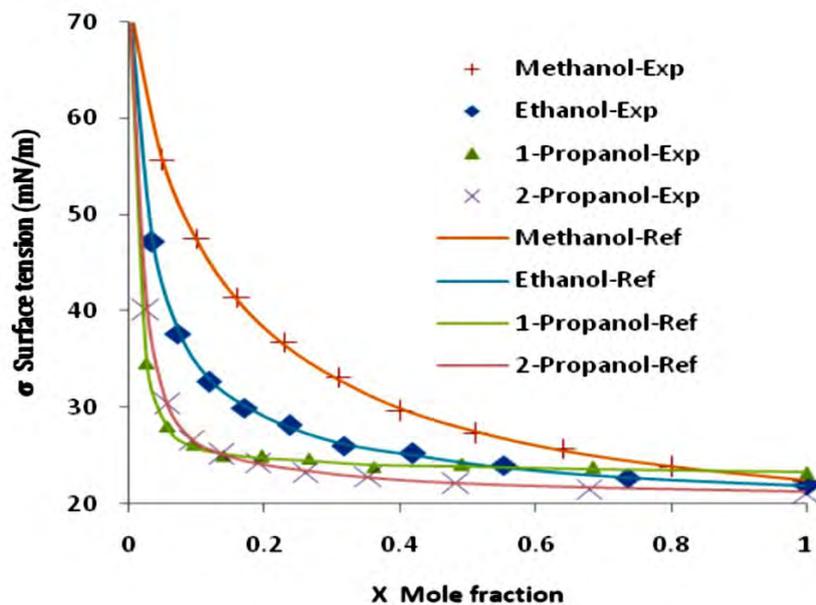


Fig.3. surface tension (σ) of binary mixture of methanol, ethanol, 1-propanol and 2-propanol with water as a function of mole fraction at 25°C

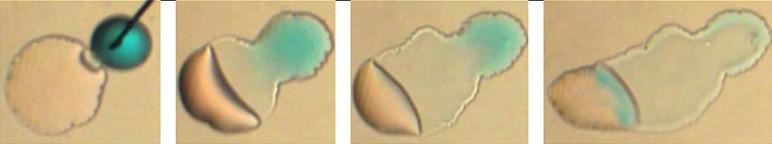
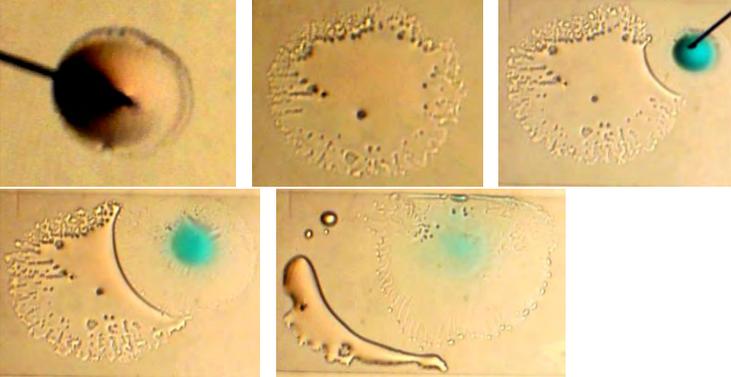
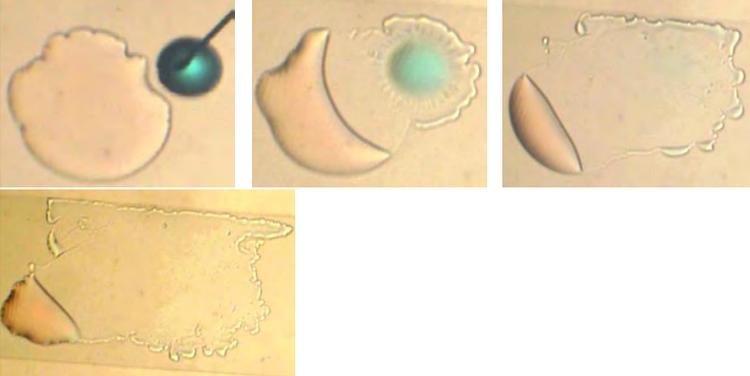
圖十九、醇類溶液濃度和表面張力關係圖(註六)

表四、甲醇、乙醇、異丙醇不同濃度下的表面張力

溶質	1%(紅色)	25%(藍色)	差異
甲醇	71	44	27
乙醇	70	35	35
異丙醇	68	28	40

體積百分濃度 25% 的甲醇、乙醇、異丙醇水溶液，莫耳分率大約分別為 12.9%、9.3% 與 7.3%。由上圖和上表我們可以知道，不管甲醇、乙醇、丙醇 1% 液滴的表面張力都大於 25% 液滴，差距大約是 27~40 mN/m。

結果：

項目	使用次數	結果	現象
1	甲醇	成功	 <p>液滴攤開明顯，高濃度甲醇液滴停在原處，往低濃度液滴擴散</p>
2	乙醇	成功	 <p>液滴攤開非常明顯，高濃度乙醇向四面八方擴散，幾乎佈滿半個載玻片表面，並使低濃度液滴收縮</p>
3	異丙醇	成功	 <p>液滴攤開非常明顯，高濃度乙醇向四面八方擴散，幾乎佈滿半個載玻片表面，並使低濃度液滴收縮</p>

討論：

甲醇、乙醇、異丙醇三種溶液配置成水溶液後，會使水溶液的表面張力大幅下降，由純水大約 73 mN/m 下降到 28mN/m 左右，尤其是異丙醇，下降最快最明顯，我們將液滴滴在載玻片表面時，液滴都有明顯擴散攤開的現象，尤其是 25%的液滴，表面張力異丙醇<乙醇<甲醇，而擴散程度是異丙醇>乙醇>甲醇，也符合表面張力的解釋。

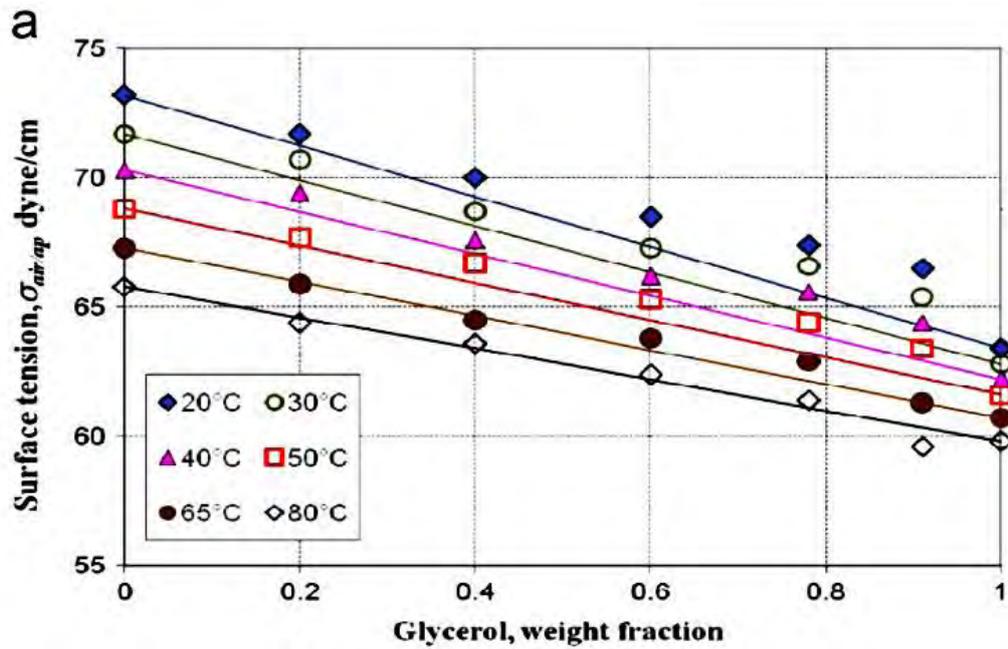
十、探討異丙醇、丙二醇、丙三醇對兩液滴互動的影響

接下來我們想要了解醇類的 OH 結構是不是會對表面張力和液滴的互動造成影響，而且我們已經選過了異丙醇和丙二醇，所以我們就再選擇丙三醇(甘油)，看看在相同碳數下，分別有 1 個 OH 結構、2 個 OH 結構和 3 個 OH 結構時，是不是也符合我們的猜測。

因此我們調配了異丙醇、丙二醇和丙三醇 1%和 25%的溶液，並在 1%溶液中加入紅色色素，在 25%溶液中加入藍色色素，以進行實驗，並且我們找到了不同濃度下，異丙醇、丙二醇和丙三醇表面張力的資料如下圖，由圖中讀取 1%和 25%時三種溶液的表面張力如下表

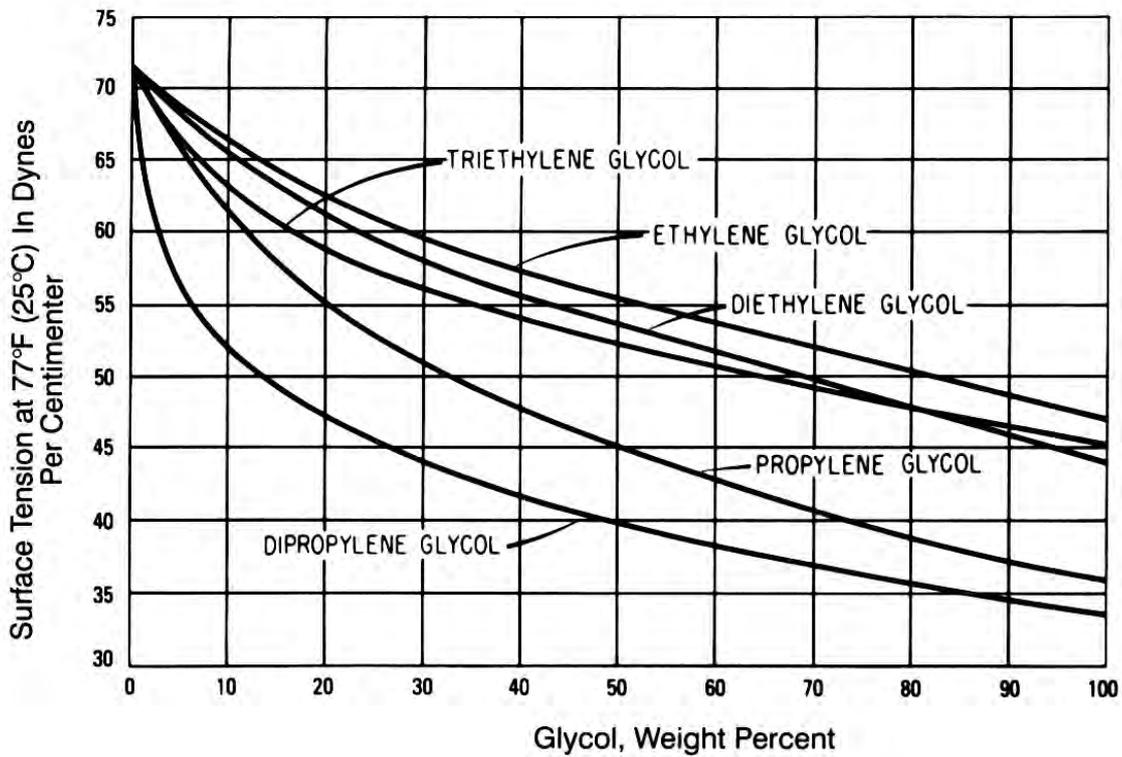


圖二十、配置異丙醇、丙二醇與丙三醇 1% 與 25%溶液



圖二十一、不同濃度下丙三醇的表面張力(註 5)

Figure 19- Surface Tensions of Aqueous Solutions of Glycols at 77°F (25°C)



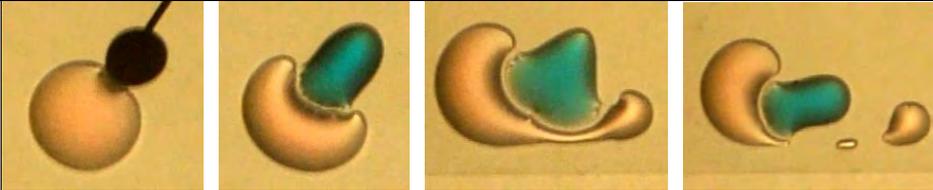
圖二十二、不同濃度下丙二醇的表面張力(註 7)

表五、異丙醇、丙二醇、丙三醇不同濃度下的表面張力

溶質	1%(紅色)	25%(藍色)	差異
異丙醇	68	28	40
丙二醇	71	53	18
丙三醇	73	71	2

體積百分濃度 25% 的丙二醇、丙三醇水溶液，重量百分濃度大約分別為 25.7% 與 29.6%。由上表可以知道，丙三醇水溶液表面張力並不會下降很多，1% 和 25% 水溶液只相差大約 2 個 mN/m，是與異丙醇和丙二醇有比較大的不同。

結果：

項目	使用次數	結果	現象
1	異丙醇	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
2	丙二醇	成功	 <p>液滴攤開明顯，長距離的推擠</p>
3	丙三醇	失敗	 <p>液滴攤開明顯，一接觸就互融</p>

討論：

原本我們預期，丙三醇水溶液的現象應該和丙二醇水溶液接近，但是實驗結果卻是失敗，兩液滴一接觸就融合了，重複數次實驗也都得到相同的結果，後來我們一查表面張力，發現原來 **1% 和 25% 丙三醇水溶液的表面張力差距很小，所以不會推擠。**

而且我們由丙三醇的實驗，可以觀察到 1% 和 25% 兩液滴互融時，藍色食用色素跑進去 1% 的液滴中，所以互融時兩液滴間會有溶液的流動，而這個流動並不會造成液滴的推擠現象。

十一、文獻探討與理論驗證

們將去年學長的科展作品(全國科展第 56 屆化學組『水』心所遇 — 探討不同濃度液滴在處理過載玻片表面的互動)中的實驗結果拿出來探討，發現學長的作品中的幾個實驗結果中也符合表面張力的推論，這個作品的實驗數據分析如下：

(1) 實驗五：探討兩液滴為相同濃度差，不同濃度下，兩液滴的互動情形

第一組 1%丙二醇(紅色) 對 25%丙二醇(藍色)：成功

第二組 25%丙二醇(藍色) 對 50%丙二醇(黃藍色)：成功

第三組 50%丙二醇(黃藍色) 對 75%丙二醇(黃色)：失敗

第四組 75%丙二醇(黃色) 對 100%丙二醇(紫色)：失敗

總結：濃度大於 50% 以上，即使濃度相差 25%，也沒有互相推擠的現象。

我們對照圖十八發現以上實驗濃度的丙二醇水溶液的表面張力與差異分別如下表：

表六、各組丙二醇不同濃度下的表面張力與差異

丙二醇濃度	第一組		第二組		第三組		第四組	
濃度(%)	1	25	25	50	50	75	75	100
表面張力(mN/m)	71	53	53	45	45	40	40	36
表面張力差異(mN/m)	18		8		5		4	

第一、二組兩液滴表面張力相差比較大，容易成功，而且都是**低表面張力的液滴推動高表面張力的液滴**。第三、四組兩液滴表面張力相差小，容易失敗。

(2) 實驗六：探討兩液滴不同濃度差對兩液滴互相追逐的影響

實驗結果如下

第一組	1%對25%	成功	第五組	1%對10%	成功
第二組	1%對50%	成功	第六組	1%對5%	失敗
第三組	1%對75%	成功	第七組	1%對7.5%	失敗
第四組	1%對100%	成功	第八組	1%對8.75%	失敗

結論：因此我們知道，在低濃度時，兩丙二醇液滴的濃度大約相差 8% 以內的液滴會互相吸引融合(失敗)，濃度相差大約 9% 以上時，液滴會推擠追逐(成功)。

我們對照圖十八發現以上實驗濃度的丙二醇水溶液的表面張力與差異分別如下表：

表七、各組丙二醇不同濃度下的表面張力與差異

	第一組		第二組		第三組		第四組		第五組		第六組		第七組		第八組	
丙二醇濃度(%)	1	25	1	50	1	75	1	100	1	10	1	5	1	7.5	1	8.8
表面張力(mN/m)	71	53	71	45	71	40	71	36	71	62	71	65	71	64	71	63
表面張力差異(mN/m)	18		26		31		35		9		6		7		8	

以此實驗結果，兩液滴的表面張力相差 9mN/m 以上時，表面張力相差比較大，容易成功，而且也都是**低表面張力的液滴推動高表面張力的液滴**。差異較小時，容易失敗。

(3) 實驗七：探討溶質改變對兩液滴互相追逐的影響

1) 蔗糖：1%與25%液滴實驗結果：蔗糖液滴不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象：失敗

與之前的酸類和醇類容易不同，蔗糖水溶液的表面張力變化會隨著濃度增加而提高，但增加不多。

表七、蔗糖溶液不同濃度下的表面張力(註 14)

蔗糖濃度(%)	1	25
表面張力(mN/m)	73	75
表面張力差異(mN/m)	2	

TABLE VI
The Surface Tension of Sucrose Solutions
from 10 to 27 per cent Sucrose.

Per cent	Dynes per cm.	Per cent	Dynes per cm.
10	73.3	19	74.9
11	73.7	20	74.7
12	74.7	21	75.3
13	74.4	22	75.0
14	74.4	23	75.2
15	74.4	24	75.2
16	74.8	25	75.4
17	74.7	26	75.4
18	74.8	27	75.2

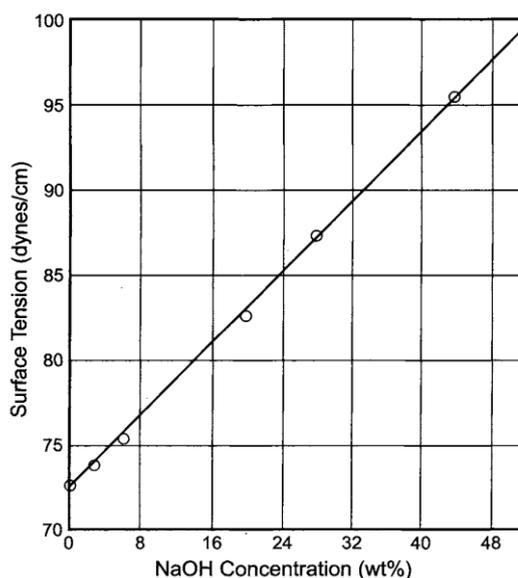
1%與25%的蔗糖水溶液液滴表面張力非常接近，所以會失敗，液滴會互溶，與學長的實驗結果相呼應。

2) 氫氧化鈉：1%與25%液滴實驗結果：氫氧化鈉液滴

不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象：失敗

和蔗糖類似，氫氧化鈉水溶液的表面張力變化會隨著濃度增加而提高。

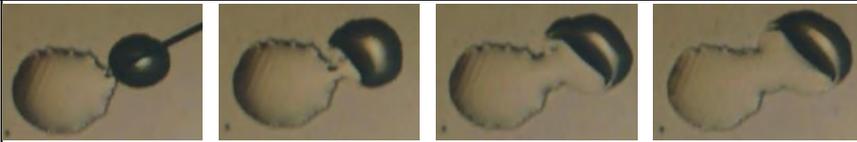
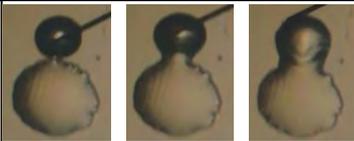
氫氧化鈉濃度(%)	1	25
表面張力(mN/m)	73	86
表面張力差異(mN/m)	13	



圖二十三、不同濃度下丙二醇的表面張力(註 15)

1%與25%的氧化鈉水溶液液滴表面張力相差13mN/m，照我們猜測，應該會成功，但是實際卻失敗了，我們懷疑學長的實驗結果，所以重新進行實驗。我們配置了1%和25%的氫氧化鈉溶液，並以酒精燈加熱載玻片40秒，然後進行實驗。

結果：

項目	使用次數	結果	現象
1	只有一次	成功	 <p>1%的氫氧化鈉液滴推擠25%的液滴，推擠距離不長就融合</p>
2	大部分	失敗	 <p>直接互溶</p>

1%和25%的氫氧化鈉溶液液滴大部分都直接互溶，只有一次明顯觀察到1%的氫氧化鈉液滴推擠25%的液滴，但推擠的距離也不長，不過與前面有機酸或醇類的溶液不一樣的是這一次是低濃度的液滴推擠高濃度的液滴，而低濃度的氫氧化鈉溶液表面張力小於高濃度的氫氧化鈉溶液，符合我們表面張力小的液滴會推擠表面張力大的液滴的猜測。

(4) 實驗八：探討兩液滴溶質不同時對兩液滴互相追逐的影響

- 1) 實驗 A: 1%丙二醇與 1%醋酸：1%丙二醇液滴會推擠 1%醋酸液滴前進：成功
- 2) 實驗 B: 1%丙二醇與 25%醋酸：25%醋酸液滴會推擠 1%丙二醇液滴前進：成功
- 3) 實驗 C: 25%丙二醇與 1%醋酸：25%丙二醇液滴會推擠 1%醋酸液滴前進：成功
- 4) 實驗 D: 25%丙二醇與 25%醋酸：25%丙二醇液滴會推擠 25%醋酸液滴前進：成功

我們找出以上實驗濃度的水溶液的表面張力與差異分別如下表：

表七、各組丙二醇不同濃度下的表面張力與差異

溶液	實驗 A		實驗 B		實驗 C		實驗 D	
	1% 丙二醇	1% 醋酸	1% 丙二醇	25% 醋酸	25% 丙二醇	1% 醋酸	25% 丙二醇	25% 醋酸
表面張力(mN/m)	71	68	71	46	53	68	53	46
表面張力差異(mN/m)	3		25		15		7	

由以上的數據，我們發現，同一種溶質時都是低表面張力的液滴會推動高表面張力的液滴。但是兩液滴溶質不同時，大致也符合低表面張力的液滴會推動高表面張力的液滴，但可能還有其他的影響因素導致部分結果與我們的猜測不一致。

伍、結論

由由以上的實驗，我們得到了以下幾點結論

- 一、玻璃上的液滴要能夠產生推擠追逐的現象，必須玻璃表面先高溫處理過，這個溫度必須達到大約 290^oC 以上，加熱的熱源溫度越低，加熱時間要越長(290^oC 時要 5 分鐘)，熱源溫度越高，加熱時間可以越短，但即使是 450^oC 時間也要 20 秒以上。
- 二、玻璃表面的高溫處理，並不是因為酒精燈、本生燈等加熱方式有燃燒不完全的東西附著在玻璃表面而造成活化的效果。可能是因為原本附著的油汙被加熱後分解後離開玻璃表面，使玻璃表面完全乾淨，使用氫氧化鈉溶液浸泡清洗或洗碗精清洗也會相似的效果。
- 三、液滴的推擠不是因為液滴濃度不同的對流現象造成的，比較可能是液滴表面張力的差異造成的結果，目前實驗與分析發現，同一種溶質的液滴，低表面張力的液滴會推擠高表面張力液滴。
- 四、同一種溶質的液滴，當兩液滴的表面張力差異 10 mN/m 以上時，兩液滴比較容易發生互相推擠的現象。如果兩液滴表面張力差異太小，互相推擠就不會發生，兩液滴會融合。

陸、參考文獻

實驗過程中，我們搜尋了許多相關資料，作為參考，列於下面：

- [1] 郭重吉等編著(民國 105 年)，自然與生活科技 2 上(P.48~P.55)，南一出版。
- [2] 梁凱鈞等(2016)，『水』心所遇 — 探討不同濃度液滴在處理過載玻片表面的互動，
<http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=21&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=19&sid=12979>
- [3] 陳立富等(2011)，拍出液體的表面張力，
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030114.pdf>
- [4] Peiming Wang, Andrzej Anderko, and Robert D. Young(2011), Modeling Surface Tension of Concentrated and Mixed-Solvent Electrolyte Systems, Industrial & Engineering Chemistry Research
<http://downloads.olisystems.com/ResourceLibrary/TransportProperties/MSE%20-%20Surface%20tension.pdf>
- [5] physical_properties_of_glycerine_and_its_solutions, Glycerine Producers' Association, 1963
http://www.aciscience.org/docs/physical_properties_of_glycerine_and_its_solutions.pdf
- [6] **H. Ghahremani, A. Moradi, J. Abedini-Torghabeh, S.M. Hassani (2011)**, measuring-surface-tension-of-binary-mixtures-of-water—alcohols from-the-diffraction-pattern-of-surface-ripples, *Der Chemica Sinica*, 2011, 2(6):212-221
<http://www.imedpub.com/articles/measuring-surface-tension-of-binary-mixtures-of-water--alcoholsfrom-the-diffraction-pattern-of-surface-ripples.pdf>
- [7] Koichi Takamura, Herbert Fischer 1, Norman R. Morrow (2012), Physical properties of aqueous glycerol solutions, Journal of Petroleum Science and Engineering 98–99 (2012) 50–60
- [8] Leo Shartsis and Alden W. Smock (1946), Surface Tensions of Some Optical Glasses, Research Paper RP 1771 Volume 38, February 1947
- [9] A Guide to Glycols, The Dow Chemical Company, 2000
http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_091b/0901b8038091b50_8.pdf?filepath=pro
- [10] 吳華強(2007)，物理化學講義，<http://210.45.192.19/kecheng/2007shengji/03/pdf/06/2/13.pdf>
- [11] 水滴之舞 國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室，2016/9/15 取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-024.html>。
- [12] Cira, N. J., Benusiglio, A., & Prakash, M. (2015). Vapour-mediated sensing and motility in two-component droplets. *Nature*, 519 (7544), 446–450.
- [13] Tom Abate, Stanford researchers solve the mystery of the dancing droplets, 2016/9/15, 取自史丹福大學實驗網站，<http://news.stanford.edu/news/2015/march/dancing-droplets-prakash-031115.html>
- [14] Richard W. Fessenden, (1928) The viscosity and surface tension of dispersions of sucrose, lactose, skim milk powder, and butterfat. *University of Massachusetts Amherst*
- [15] International Critical Tables, Vol. IV, 9.465, McGraw-Hill Book Co., New York (1929), Surface tension of NaOH solutions.
- [16] 卓靜哲等(1996)，物理化學，第九章界面化學，p498-503，三民出版社。

【評語】 030215

本研究探討了幾種可溶於水的有機物，當它們溶於水後，在不同濃度時會有不同的表面張力。前半部在找方法，後半部在比較效果。實驗做很多。玻璃活化部分佔很大篇幅，報告主題未見重大突破解決問題。參考很多國外網站，顯然這也是很多人感興趣的題材。微觀部分可以再深入，例如：液滴互動間的現象。

作品說明書建議增加目錄，摘要內容建議注意文字敘述及邏輯。本研究主題和歷屆作品有雷同之處，文中注重現象觀測，建議對實驗原理深入探討，並詳加說明及進行分析，如玻片燻烤後對其表面造成之酸鹼度影響或是玻片表面塗覆之材質…等，都可提升作品之創意性及創新性。建議可使用顯微比例尺量化實驗觀測現象取代文字描述，將可使作品具有客觀性。

作品海報

壹、研究動機

我們這次選定這個主題，主要是來自上一屆學長的啟發。去年學長報告他們的科展作品時，我們在台下聆聽，當學長報告完後，我們問一個關鍵的問題—為甚麼，小水滴能在玻片上追逐，奔跑，推擠？

學長感覺不知所措，引發了我們的更好奇。當我們這次再度面臨選題目的困擾時，我們便決定，努力找出原因，給一個正確的交代。

貳、研究目的

- 一、探討玻璃表面活化的因素
- 二、探討液滴互動的原因。

參、研究設備及器材

略、詳見作品說明書。

肆、研究過程、結果及討論

實驗一：探討不同火源對兩液滴互動的影響



固定加熱時間為40秒、測量載玻片溫度，並記錄，等溫度下降到室溫，再進行實驗，觀察是否發生推擠的互動

酒精燈 292.9°C	成功		液滴攤開且兩液滴互相推擠
噴燈 457.8°C	成功		液滴攤開且兩液滴互相推擠
黑晶爐 280.3°C	失敗		液滴不攤開且兩液滴接觸時瞬間融合，不會互相推擠
本生燈 443.1°C	成功		液滴攤開且兩液滴互相推擠
蠟燭 烤至一面全黑	失敗		1%的液滴會形成球狀，不會攤開 25%液滴會慢慢散開

由以上實驗結果我們可以歸納出以下幾點：

1. 載玻片的溫度要先加熱到290°C以上，再冷卻下來，實驗液滴才會互相推擠。
2. 載玻片的溫度越高，實驗成功機會愈大。
3. 利用蠟燭加熱，在載玻片表面形成一層碳黑，會使液滴完全不攤開形成球狀，而且1%的液滴會在燻黑的載玻片表面上滾來滾去，好像在荷葉上滾動一樣，但25%液滴會慢慢散開。

實驗二：探討烘烤時間對兩液滴互動的影響

我們猜測加熱載玻片時，是否在表面有燃燒不完全的東西附著，使液滴在載玻片上出現推擠的現象，所以我們決定以黑晶爐來進行實驗。我們將載玻片放在黑晶爐表面加熱，以馬錶開始計時，分別是烘烤10、20、30、40、50、60秒及1、2、3、4、5分鐘，進行實驗。

項目	烘烤時間(秒)	結果	現象
1	0 對照組	完全失敗	 液滴不攤開且兩液滴接觸時瞬間融合，完全不互相推擠
2	10	略為成功	 液滴不攤開，稍為推擠就停下來
3	20	略為成功	 液滴不攤開，稍為推擠就停下來

4	30	略為成功	 液滴不攤開，稍為推擠就停下來
5	40	略為成功	 液滴不攤開，稍為推擠就停下來
6	50	略為成功	 液滴不攤開，稍為推擠就停下來
7	60	略為成功	 液滴攤開，稍為推擠就停下來
8	1分鐘	略為成功	 液滴攤開不完全，稍為推擠就停下來，很快就融合
9	2分鐘	略為成功	 液滴攤開不完全，稍為推擠就停下來，很快就融合
10	3分鐘	接近成功	 液滴攤開完全，推擠距離略遠
11	4分鐘	成功	 液滴攤開完全，推擠距離更遠
12	5分鐘	成功	 液滴攤開完全，推擠距離更遠

我們利用黑晶爐加熱載玻片，可以成功，黑晶爐是以鹵素燈管加熱，不是燃燒，所以玻璃表面不會附著燃燒不完全的物質，因此不同濃度的丙二醇液滴推擠不是燃燒不完全的物質造成。

烘烤時間越久，溫度越高的情況下，成功的機會越大，我們將玻璃表面可以使液滴不同濃度的丙二醇液滴推擠的能力稱為活化。

實驗三：探討玻片正反面對兩液滴互動的影響

我們分別用噴燈、黑晶爐、本生燈進行正反面實驗。

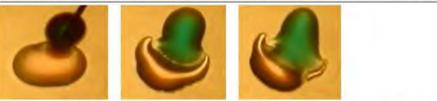
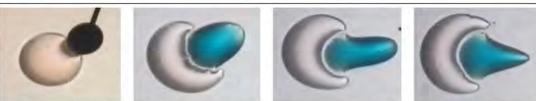
項目	烘烤	結果	現象
1	噴燈 40秒 烘烤正面	成功	 液滴攤開且兩液滴互相推擠
2	噴燈 40秒 烘烤反面	成功	 液滴攤開完全，明顯的推擠現象，推擠距離略小於正面。
3	黑晶爐 5分鐘 烘烤正面	成功	 液滴攤開完全，推擠距離更遠
4	黑晶爐 5分鐘 烘烤反面	成功	 液滴攤開完全，明顯的推擠現象
7	本生燈 60秒 烘烤正面	成功	 液滴攤開完全，推擠距離遠
8	本生燈 60秒 烘烤反面	成功	 液滴攤開完全，明顯的推擠現象，但不如正面流暢

1. 烘烤的反面可以成功證明玻璃表面的活化不是因為燃燒不完全的物質附著上去造成的，而是加熱的溫度改變了玻璃表面的狀態。
2. 反面的加熱效果不如正面，活化後的表現也不如正面。

實驗四：探討烘烤完放置時間對兩液滴互動的影響

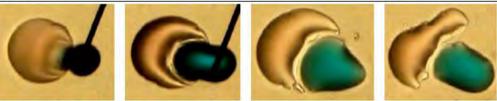
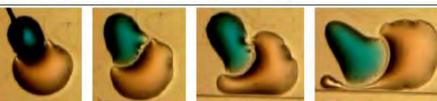
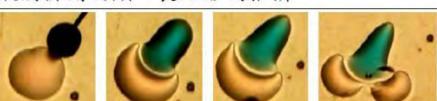
我們想了解玻璃表面被活化後可以維持多久，因此我們利用週一到週五每天中午烘烤兩片載玻片，等冷卻後以簽字筆寫上編號，放在和盒子中用蓋子蓋好，等到週五下午進行液滴的實驗。

由以下實驗結果我們可以知道，玻璃表面活化現象會隨著時間經過慢慢降低，大約可以維持一到兩天還有部分的效果。

項目	烘烤時間(分)	結果	現象
A	週一中午	失敗	 液滴不攤開，一接觸就融合
B	週二中午	略為成功	 液滴攤開不完全，稍為推擠就停下不動
C	週三中午	接近成功	 液滴攤開較完全，推擠更明顯且距離更遠
D	週四中午	接近成功	 液滴攤開更完全，推擠一小段距離後融合
E	週五中午	成功	 液滴攤開完全，推擠更明顯且距離更遠
F	週五下午	成功	 液滴攤開完全，推擠距離遠

實驗五: 探討玻片重複使用率對兩液滴互動的影響

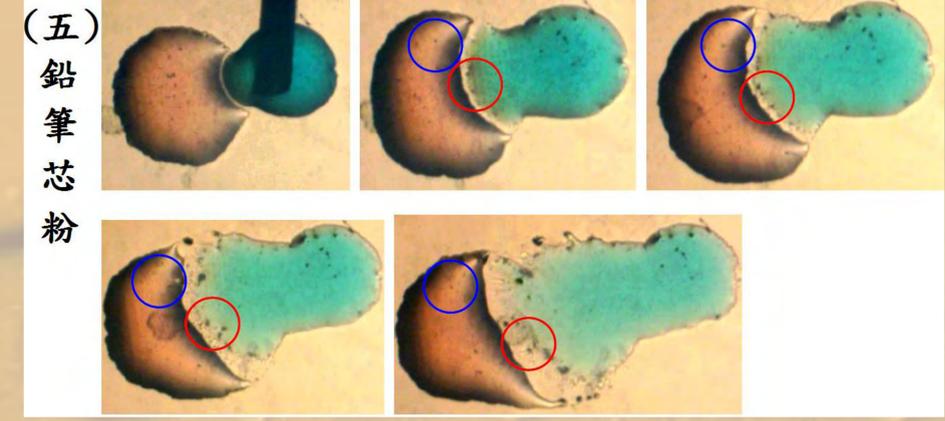
接下來我們想了解玻璃表面可以活化的次數，我們用同一片載玻片反覆進行實驗，每次實驗結束後，用自來水沖洗乾淨，再次烘烤，滴上不同濃度的丙二醇液滴，看它可以重複成功的次數。

項目	使用次數	結果	現象
1	第一次	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
2	第二次	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
3	第三次	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
4	第四次	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
5	第五次	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠

由以上的實驗結果，我們可以知道，同一片載玻片可以重複被活化，而且活化現象並不會隨著使用次數而有削弱。

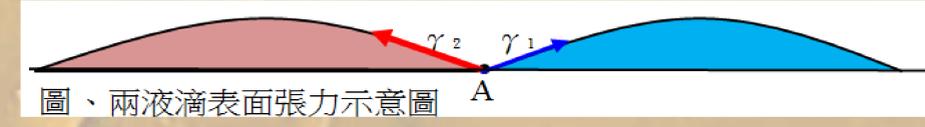
實驗六: 探討微粒實驗

我們猜測液滴之間液體有對流的現象，造成液滴互相推擠。因此想要觀察液滴間的對流，所以我們在液滴加入微粒，藉由觀察微粒的運動，了解液滴間是否產生對流。我們使用包括木屑、胡椒粉、金蔥粉、大理石粉末、鉛筆筆芯等微粒，看是不是能看到對流現象。



我們可以觀察到，藍色的25%丙二醇推擠紅色1%丙二醇時，並沒有明顯的對流現象，反而是兩液滴的邊界分明，碳粉微粒慢慢聚集變大，不會流入紅色液滴中。兩液滴處於互相排斥的狀態。

觀察發現兩液滴對流現象不明顯，反而有互相排斥的現象，我們查了資料發現，可能是兩液滴因為濃度不同，造成**表面張力的差異，使得液滴發生了推擠的現象。**



實驗七: 驗證玻片活化的因素

我們配置了4M的氫氧化鈉溶液來去除載玻片表面可能的油汙，將載玻片分別浸泡氫氧化鈉溶液1、5、10分鐘，然後以蒸餾水沖洗乾淨，再以吹風機冷風吹乾，分別滴上1%與25%丙二醇液滴，看是否會有推擠現象。

項目	浸泡時間	結果	現象
1	0分鐘	失敗	 液滴不攤開，一接觸馬上互溶
2	1分鐘	失敗	 液滴不攤開，一接觸馬上互溶
3	5分鐘	失敗	 液滴不攤開，一接觸馬上互溶
4	10分鐘	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠，與火烤的效果很相似
5	火烤 40 秒 (對照組)	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠

由實驗結果，我們可以知道，**不需要經過烘烤，只以氫氧化鈉溶液浸泡清洗，就可以將載玻片表面活化。**但玻璃會溶解在氫氧化鈉溶液中，可能干擾實驗結果。

我們改用洗碗精清洗，直接以洗碗精滴在載玻片表面，搓揉後再以蒸餾水清洗，重複三次，再以吹風機冷風吹乾，分別滴上1%與25%液滴，看是否會有推擠現象

項目	條件	結果	現象
1	洗碗精清洗	成功	 液滴攤開明顯，有明顯推擠的現象

由實驗結果，我們知道，**不需要經過烘烤，只要載玻片表面夠乾淨，就可以為液滴的互動提供一個推擠的環境。**

實驗八: 探討甲酸、乙酸、丙酸對兩液滴互動的影響。

我們調配1%和25%的甲酸、乙酸、丙酸水溶液，並在1%溶液中加入紅色色素，在25%溶液中加入藍色色素，以進行實驗，並且我們找到了不同濃度下，甲酸、乙酸和丙酸表面張力的資料如下圖，由圖中讀取1%和25%時三種溶液的表面張力如下表

表三、甲酸、乙酸、丙酸不同濃度下的表面張力

溶質	1%(紅色)	25%(藍色)	差異
甲酸	71	57	14
乙酸	68	46	22
丙酸	62	36	26

項目	溶質種類	結果	現象
1	甲酸	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
2	乙酸	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
3	丙酸	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠

液滴滴下去後攤開明顯，兩液滴不僅發生推擠，而且都是**低表面張力推高表面張力**，且推擠距離都很遠，與我們查到的理論相符合。所以我們推論，**兩液滴表面張力相差14~26 mN/m時，兩液滴會發生互相推擠的現象。**

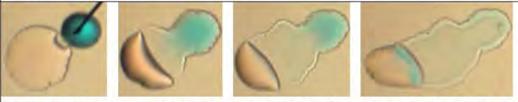
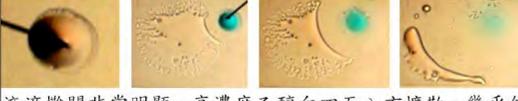
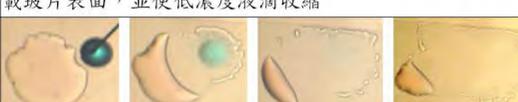
實驗九: 探討甲醇、乙醇、異丙醇對兩液滴互動的影響

我們想要了解其他可溶於水的有機物是否可以得到相似的結果，所以選了實驗室中常見的甲醇、乙醇和異丙醇來進行實驗，因為他們都含有一個-OH的特殊結構，而且含碳數量分別為1、2、3，性質上會有規律性。

我們調配1%和25%的進行實驗，並且我們找到了不同濃度下甲醇、乙醇和異丙醇表面張力的如下表

表四、甲醇、乙醇、異丙醇不同濃度下的表面張力

溶質	1%(紅色)	25%(藍色)	差異
甲醇	71	44	27
乙醇	70	35	35
異丙醇	68	28	40

項目	不同醇類	結果	現象
1	甲醇	成功	 液滴攤開明顯，高濃度甲醇液滴停在原處，往低濃度液滴擴散
2	乙醇	成功	 液滴攤開非常明顯，高濃度乙醇向四面八方擴散，幾乎佈滿半個載玻片表面，並使低濃度液滴收縮
3	異丙醇	成功	 液滴攤開非常明顯，高濃度乙醇向四面八方擴散，幾乎佈滿半個載玻片表面，並使低濃度液滴收縮

甲醇、乙醇、異丙醇配置成水溶液，表面張力會大幅下降，由純水大約72 mN/m 下降到28 mN/m左右，因此尤其是異丙醇，下降最快最明顯，將液滴滴在載玻片表面時，液滴表面張力小，都有明顯擴散攤開的現象，尤其是25%的液滴，表面張力異丙醇<乙醇<甲醇，而擴散程度是異丙醇>乙醇>甲醇，也符合表面張力的解釋。

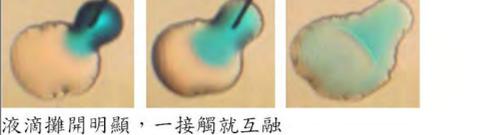
實驗十：探討異丙醇、丙二醇、丙三醇對兩液滴互動的影響

接下來我們想要了解醇類的OH結構是不是會對表面張力和液滴的互動造成影響，選擇異丙醇、丙二醇和丙三醇，看在相同碳數下，分別有1個OH結構、2個OH結構和3個OH結構時，是不是也符合我們的猜測。

我們調配了異丙醇、丙二醇和丙三醇1%和25%的溶液，進行實驗，並且我們找到了不同濃度下，異丙醇、丙二醇和丙三醇表面張力的資料如下表：

表五、異丙醇、丙二醇、丙三醇不同濃度下的表面張力

溶質	1%(紅色)	25%(藍色)	差異
異丙醇	65	25	40
丙二醇	70	53	17
丙三醇	72	70	2

項目	不同醇類	結果	現象
1	異丙醇	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
2	丙二醇	成功	 液滴攤開明顯，長距離的推擠
3	丙三醇	失敗	 液滴攤開明顯，一接觸就互融

原本我們預期，丙三醇水溶液的現象應該和丙二醇水容易接近，但是實驗結果卻是失敗，兩液滴一接觸就融合了，後來我們一查表面張力，發現原來**1%和25%丙三醇水溶液的表面張力差距很小，所以不會推擠。**

十一、文獻探討與理論驗證

我們將去年學長的科展作品(全國科展第56屆化學組『水』心所遇—探討不同濃度液滴在處理過載玻片表面的互動)中的實驗結果拿出來探討，發現幾個實驗結果中也符合表面張力的推論，實驗數據分析如下：

(1)實驗五：探討兩液滴為相同濃度差，不同濃度下，兩液滴的互動情形

- 第一組 1%丙二醇(紅色) 對 25%丙二醇(藍色)：成功
 - 第二組 25%丙二醇(藍色) 對 50%丙二醇(黃藍色)：成功
 - 第三組 50%丙二醇(黃藍色) 對 75%丙二醇(黃色)：失敗
 - 第四組 75%丙二醇(黃色) 對 100%丙二醇(紫色)：失敗
- 總結：濃度大於50%以上，即使濃度相差25%，也沒有互相推擠的現象。

表六、各組丙二醇不同濃度下的表面張力與差異

丙二醇濃度	第一組		第二組		第三組		第四組	
濃度(%)	1	25	25	50	50	75	75	100
表面張力(mN/m)	71	53	53	45	45	40	40	36
表面張力差異(mN/m)	18		8		5		4	

第一、二組兩液滴表面張力相差比較大，容易成功，都是**低表面張力的液滴推動高表面張力的液滴。**第三、四組兩液滴表面張力相差小，容易失敗。

(2)實驗六：探討兩液滴不同濃度差對兩液滴互相追逐的影響

實驗結果如下

第一組	1%對25%	成功	第五組	1%對10%	成功
第二組	1%對50%	成功	第六組	1%對5%	失敗
第三組	1%對75%	成功	第七組	1%對7.5%	失敗
第四組	1%對100%	成功	第八組	1%對8.75%	失敗

結論：因此我們知道，在低濃度時，兩丙二醇液滴的濃度大約相差8%以內的液滴會互相吸引(融合)失敗，濃度相差大約9%以上時，液滴會推擠追逐(成功)。

表七、各組丙二醇不同濃度下的表面張力與差異

	第一組		第二組		第三組		第四組		第五組		第六組		第七組		第八組	
丙二醇濃度(%)	1	25	1	50	1	75	1	100	1	10	1	5	1	7.5	1	8.8
表面張力(mN/m)	71	53	71	45	71	40	71	36	71	62	71	65	71	64	71	63
表面張力差異(mN/m)	18		26		31		35		9		6		7		8	

以此實驗結果，兩液滴的表面張力相差9mN/m以上時，**表面張力相差比較大，容易成功**，而且也都是**低表面張力的液滴推動高表面張力的液滴**。差異較小時，容易失敗。

(3)實驗七：探討溶質改變對兩液滴互相追逐的影響

- 1) 蔗糖：1%與25%液滴實驗結果：蔗糖液滴不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象：失敗

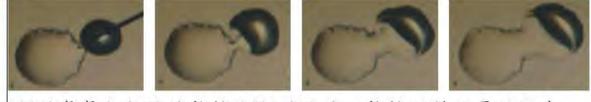
1%與25%的蔗糖水溶液液滴表面張力非常接近，所以會失敗，液滴會互溶，與學長的實驗結果相呼應。

蔗糖濃度(%)	1	25
表面張力(mN/m)	73	75
表面張力差異(mN/m)	2	

- 2) 氫氧化鈉：1%與25%液滴實驗結果：氫氧化鈉液滴不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象：失敗

氫氧化鈉濃度(%)	1	25
表面張力(mN/m)	73	86
表面張力差異(mN/m)	13	

我們懷疑學長的實驗結果，所以重新進行實驗，結果如下：

項目	使用次數	結果	現象
1	只有一次	成功	 1%的氫氧化鈉液滴推擠25%的液滴，推擠距離不長就融合
2	大部分	失敗	 直接互溶

低濃度的液滴推擠高濃度的液滴，而低濃度的氫氧化鈉溶液表面張力小於高濃度的氫氧化鈉溶液，符合我們**表面張力小的液滴會推擠表面張力大的液滴的猜測。**

(4)實驗八：探討兩液滴溶質不同時對兩液滴互相追逐的影響

- 1) 實驗A：1%丙二醇與1%醋酸：1%丙二醇液滴會推擠1%醋酸液滴前進：成功
- 2) 實驗B：1%丙二醇與25%醋酸：25%醋酸液滴會推擠1%丙二醇液滴前進：成功
- 3) 實驗C：25%丙二醇與1%醋酸：25%丙二醇液滴會推擠1%醋酸液滴前進：成功
- 4) 實驗D：25%丙二醇與25%醋酸：25%丙二醇液滴會推擠25%醋酸液滴前進：成功

表七、各組丙二醇不同濃度下的表面張力與差異

溶液	實驗A		實驗B		實驗C		實驗D	
	1%丙二醇	1%醋酸	1%丙二醇	25%醋酸	25%丙二醇	1%醋酸	25%丙二醇	25%醋酸
表面張力(mN/m)	71	68	71	46	53	68	53	46
表面張力差異(mN/m)	3		25		15		7	

兩液滴溶質不同時，大致也符合低表面張力的液滴會推動高表面張力的液滴，但可能還有其他的影響因素導致部分結果與我們的猜測不一致。

伍、結論

由以上的實驗，我們得到了以下幾點結論

- 玻璃上的液滴要能夠產生推擠追逐的現象，必須玻璃表面先高溫處理過，這個溫度必須達到大約290°C以上，加熱的熱源溫度越低，加熱時間要越長(290°C時要5分鐘)，熱源溫度越高，加熱時間可以越短，但即使是450°C時間也要20秒以上。
- 玻璃表面的高溫處理**，並不是因為酒精燈、本生燈等加熱方式有燃燒不完全的東西附著在玻璃表面而造成活化的效果。**可能是因為原本附著的油汙被加熱後分解後離開玻璃表面**，使玻璃表面完全乾淨，使用**氫氧化鈉溶液浸泡清洗或洗碗精清洗也會相似的效果。**
- 液滴的推擠不是因為液滴濃度不同的對流現象造成的，比較可能是液滴表面張力的差異造成的結果，目前實驗與分析發現，**同一種溶質的液滴，低表面張力的液滴會推擠高表面張力液滴。**
- 同一種溶質的液滴，當兩液滴的表面張力差異10 mN/m以上時，兩液滴比較容易發生互相推擠的現象。如果兩液滴表面張力差異太小，互相推擠就不會發生，兩液滴會融合。

陸、參考文獻

詳見作品說明書