

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

030202

『水』心所遇

—探討不同濃度液滴在處理過載玻片表面的互動

學校名稱：嘉義市立民生國民中學

作者： 國二 梁凱鈞 國二 張博勝 國二 陳睿彬	指導老師： 吳銘訓 陳正雍
---	-----------------------------

關鍵詞：液滴追逐、丙二醇、蒸氣壓

摘要

我們發現了一個有趣的實驗，丙二醇液滴在處理過的載玻片上會像小蟲一樣互相推擠追逐。設計實驗去了解這樣的現象，探討的變因包括液滴的大小、液滴間起始距離、濃度、濃度差、其它溶質、還有可能的原因。我們主要的發現包括

- 一、大小液滴都可能發生，但模式會有一些差異。
- 二、丙二醇液滴一開始邊緣的距離不能太遠，超過 4mm 以上就可能失敗。
- 三、高濃度時不易發生，低濃度比較容易發生。
- 四、濃度差大和小的結果是不同的模式。
- 五、不同溶質的液滴也可能會有類似的現象。
- 六、除了丙二醇溶液還有乙酸、甲醇、乙醇和異丙醇也有類似現象，食鹽、氫氧化鈉、蔗糖溶液就沒有這種情形。
- 七、液滴的蒸氣可能是這個現象發生的重要的原因之一。

壹、 研究動機

有一天，一位同學拿了一個網路上的影片給我看，影片中用丙二醇調配成不同濃度的水溶液，滴在載玻片上，兩滴不同濃度的丙二醇液滴會互向碰撞，其中一滴會朝另一滴推擠，然後兩滴液滴就開始移動、追逐，有的時候被追趕的液滴還會分成好幾小滴分散而逃，最後液滴可能會互相融合，或是被追趕的液滴逃得比較快，兩液滴便會分開。

沒有生命的小液滴好像有生命的小蟲子一樣，在載玻片上游來游去，我覺得非常有趣，於是約了同學一起去問老師為什麼會有這個現象，那時我們自然課的教學主題剛好是水溶液，老師就建議我們自己去做實驗來找尋答案，當作科展的主題。我們對水溶液本來就有初步的了解，這個實驗看起來不是很困難，我想我們應該能順利找到答案。

貳、 研究目的

- 一、 如何製造與觀察互相追逐的兩液滴
- 二、 探討載玻片烘烤時間對兩液滴互相追逐的影響
- 三、 探討兩液滴大小不同對兩液滴互相追逐的影響
- 四、 探討兩液滴間的起始距離對兩液滴互相追逐的影響
- 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
- 六、 探討兩液滴不同濃度差對兩液滴互相追逐的影響
- 七、 探討溶質改變對兩液滴互相追逐的影響
- 八、 探討兩液滴溶質不同時對兩液滴互相追逐的影響
- 九、 探討異丙醇液滴蒸氣對兩液滴互動的影響

參、 研究材料及設備

 <p style="text-align: center;">丙二醇</p>	 <p style="text-align: center;">酒精燈</p>	 <p style="text-align: center;">量筒</p>	 <p style="text-align: center;">食用色素</p>
 <p style="text-align: center;">異丙醇</p>	 <p style="text-align: center;">甲醇</p>	 <p style="text-align: center;">乙醇</p>	 <p style="text-align: center;">方糖</p>
 <p style="text-align: center;">食鹽</p>	 <p style="text-align: center;">電子天平</p>	 <p style="text-align: center;">載玻片</p>	 <p style="text-align: center;">碼表</p>
 <p style="text-align: center;">紅外線溫度計</p>	 <p style="text-align: center;">AB 膠</p>		
 <p style="text-align: center;">微分頭</p>	 <p style="text-align: center;">針筒與針頭</p>	 <p style="text-align: center;">自製微分頭針筒</p>	
 <p style="text-align: center;">滑軌與基座</p>	 <p style="text-align: center;">自製控制液滴位置裝置</p>	 <p style="text-align: center;">OHP 膠片投影機</p>	

肆、 研究過程及結果

一、 實驗一：準備實驗（ 探討如何製造與觀察互相追逐的兩液滴 ）

(一) 觀察液滴追逐裝置

1. 第一代觀察液滴追逐裝置

影片網頁上說明如何進行這個實驗，先將載玻片清洗乾淨，再以火焰烤 30 秒，然後以微量滴管吸取 1%與 25%的丙二醇溶液，滴在載玻片上，就可以看到液滴追逐的現象。

我們先配置 1%與 25%的丙二醇水溶液毫升的丙二醇，再加水到 8 毫升配成體積百分濃度 25%的丙二醇溶液，倒入燒杯中，然後再由 25%的丙二醇中以滴管取出 1 毫升的丙二醇溶液，再加水到 25 毫升稀釋成 1%後倒入另一燒杯中。然後加入 1~3 滴食用色素染色，再以針筒吸取溶液備用。

載玻片用洗碗精洗乾淨，以吹風機吹乾，放到酒精燈上烘烤 30 秒，將烘烤面向上放置，等待載玻片冷卻。

我們沒有微量滴管，所以用針筒取代，打針用的針頭在針尖的地方有大的斜角，在滴液滴時會使液滴移到旁邊，不方便控制，所以先將針頭用斜口鉗夾斷。我們將針筒中的溶液滴到載玻片上，觀察液滴間的互動情況，過程如下圖 1。



圖 1_a.配製丙二醇溶液 圖 1_b.食用色素染色 圖 1_c.酒精燈烘烤 圖 1_d.夾斷針尖

一開始我們發現液滴間互相追逐的現象，滴在載玻片上的液滴不會移動，如右圖 2。因此我們猜想是不是移動太慢，眼睛看不出來，所以我們想到以相機進行錄影，然後像影片一樣用 4 倍或 8 倍速加速播放，觀察液滴移動的現象。

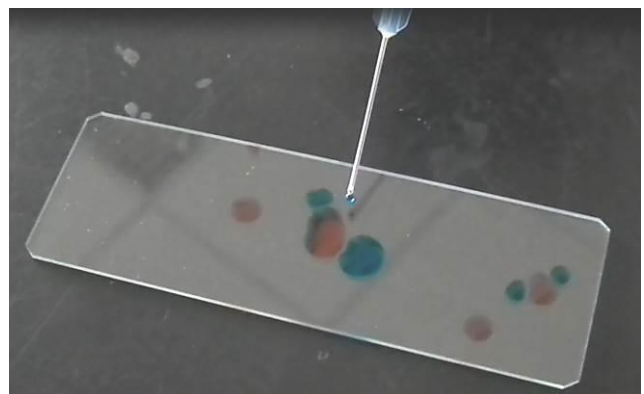


圖 2.初步的實驗結果，液滴間沒有互動

我們的構想如右圖 3，所以我們將木板鋸出圓洞，來放置相機，並以試管架當成架子，架起相機如下圖 4，拍攝液滴的移動。

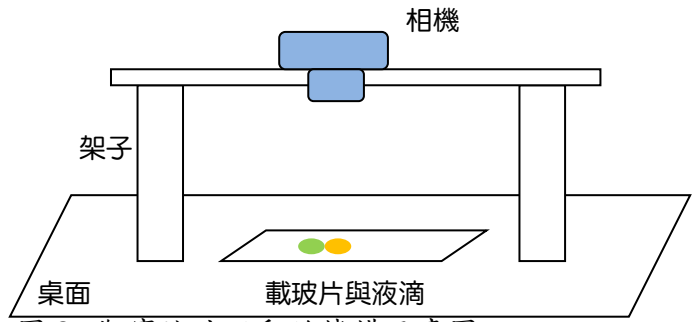


圖 3. 觀察液滴互動的機構示意圖



圖 4_a 製作觀察液滴互動的機構



圖 4_b 架起相機拍攝實驗

結果如右圖 5：

我們發現液滴還是不會移動，即使等到液滴乾掉，也沒有移動的現象，並不像影片中這樣，所以我們猜想應該還有其它因素我們與實驗的條件不同。

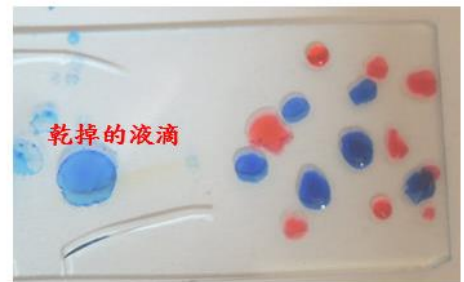


圖 5. 液滴間仍然沒有互動追逐

我們仔細觀察實驗室中載玻片的表面，發現上面

佈滿刮痕，因此我們改用全新的載玻片，直接火烤後使用，再做一次實驗，終於成功了，果然液滴在玻片上移動了，如下圖 6。

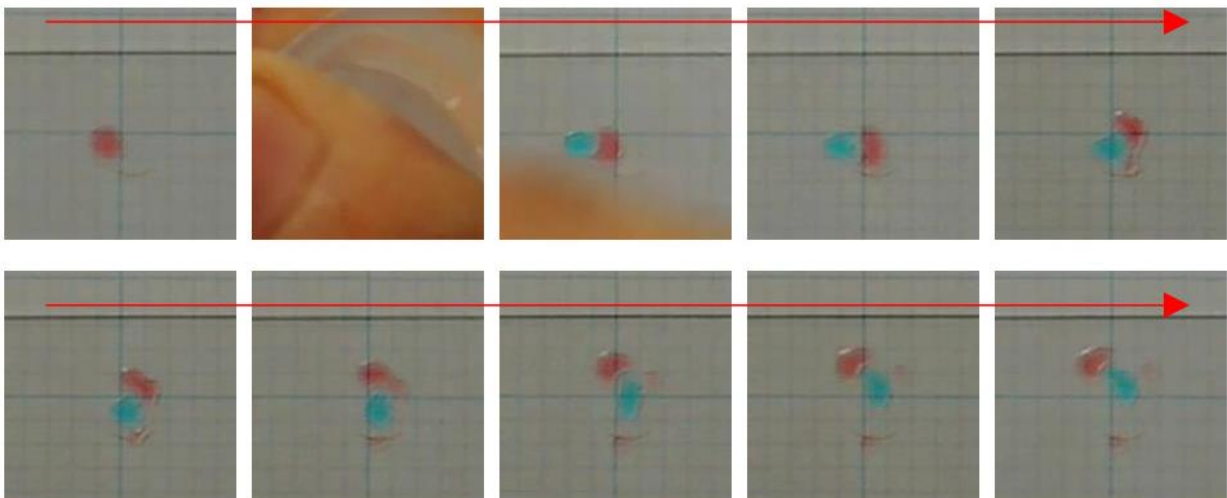


圖 6、(1) 圖片順序：由左到右，由上到下，每張圖片間格約 1 秒。

(2) 紅色液滴是 1% 丙二醇、藍色液滴是 25% 丙二醇。

(3) 先滴 1% 的丙二醇，再滴 25% 的丙二醇，結果兩滴液滴果然開始推擠追逐。

要了解在兩液滴的邊緣到底發生了什麼事?為何影響液滴的互動,眼睛看不出來,而且影片中的液滴看起來很小,放大後液滴邊緣產生了鋸齒狀邊緣,沒有觀察到我們要看的現象,如右圖 7。

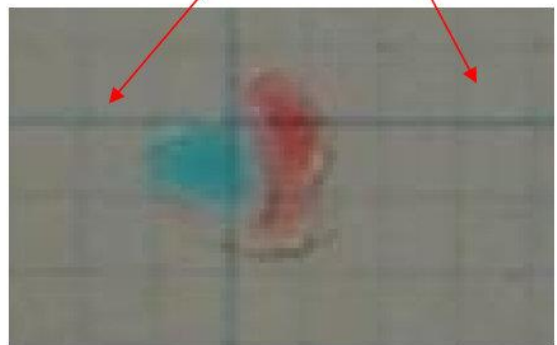
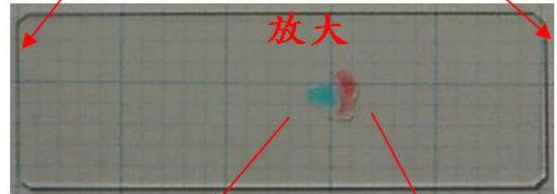
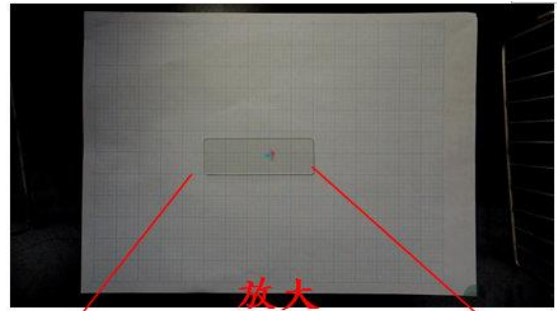
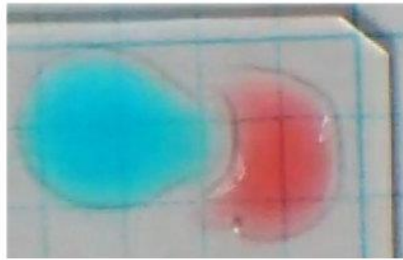


圖 7、影片截圖放大後的效果不佳,邊緣有鋸齒狀。

改用相機近拍的功能,拍攝效果好很多,可以看



到液滴的邊緣,如左圖 8。

圖 8、啟動近拍功能後,液滴影像清晰。

但是當我們進行實驗時發現有兩個問題:一是液滴的邊緣是載玻片玻璃反射的倒影或是真正的邊緣難以判斷如下圖 9。另一個問題是攝影時因為要近

拍,對焦經常模糊掉如下圖 10,而必須實驗結束等到將影片放到電腦播放時才發現沒有拍好,不能即時看到拍攝的結果,所以我們決定要再想其他的辦法來解決問題。

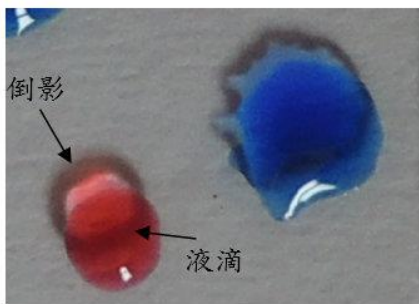


圖 9.液滴在載玻片上玻璃的倒影



圖 10.拍攝時對焦失敗的畫面

2. 第二代觀察液滴追逐裝置

我們在以前學姐的科展報告中發現，她們曾經在科展實驗中使用過一種膠片投影機 (OHP 投影機)，所以我們用膠片投影機來試試看把實驗投影到牆壁上，發現效果很不錯，可以較清楚的觀察到液滴之間的狀況。

我們的想法如下圖 11，實際裝置與結果如下圖 12：

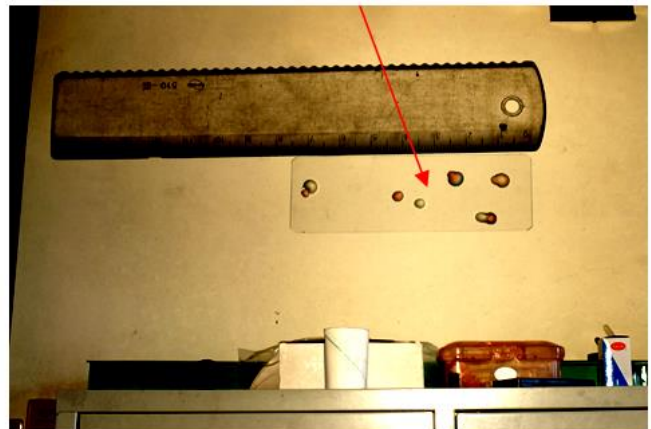
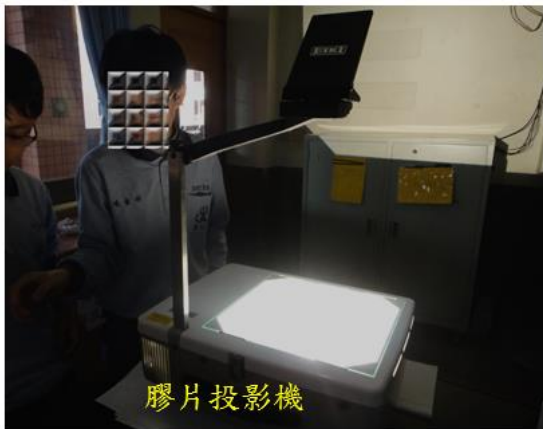
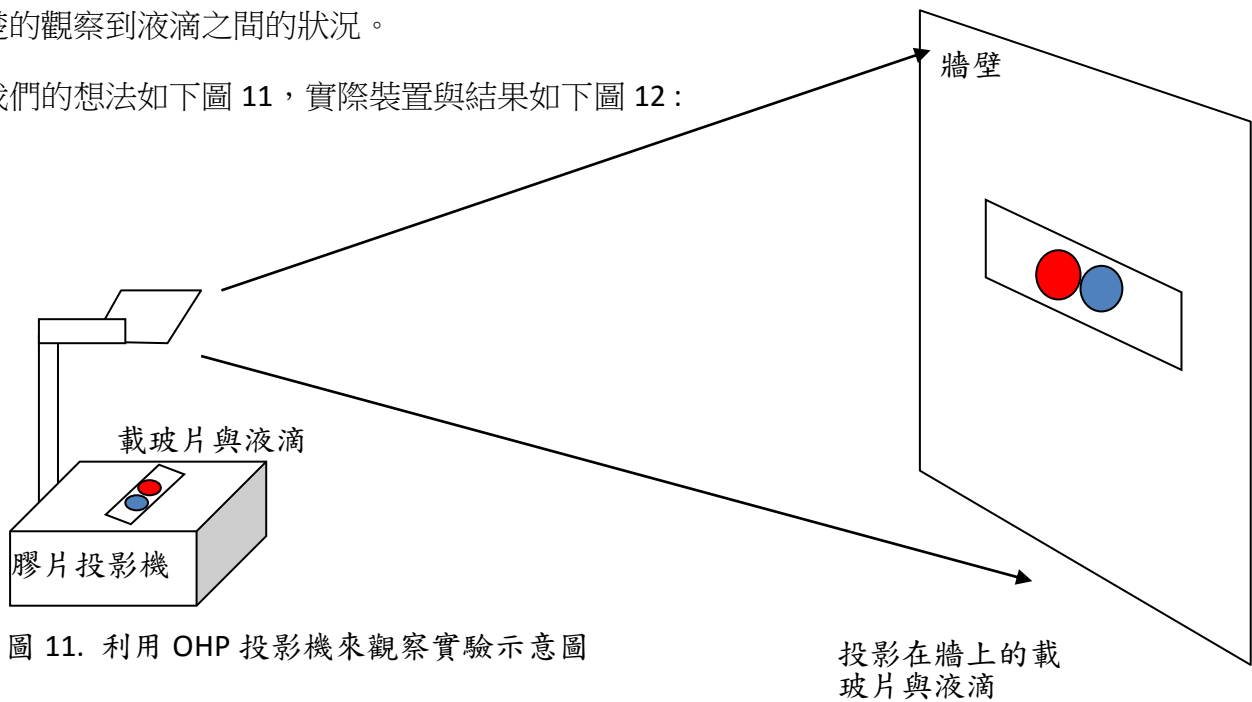


圖 12. 利用 OHP 投影機來觀察實驗，影像清晰，再以相機攝影，紀錄結果。

在牆上的液滴放大許多倍，雖然還是不能看到是否液滴邊緣有看不見的薄膜，但液滴的觀察很容易，也沒有玻璃反射倒影的問題，較容易判斷液滴邊緣，且液滴邊緣的小液滴也可以

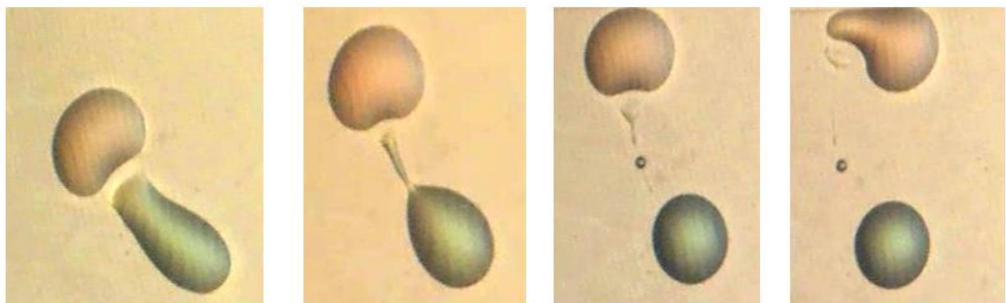


圖 13. 相機攝影的影片截圖，可以看到清晰的結果。

以看得到如右圖 13，因此我們決定就用這樣的方式來進行實驗。

(二) 改善針筒，控制液滴大小

我們要想辦法控制液滴的大小，但是以手推針筒在滴液滴時，無法精準的控制大小如圖 14。

我們決定固定一位同學負責控制針筒滴液滴，減少不同人操作所造成的誤差，但是液滴到底是多大呢？我們使用 GeoGebra 這個軟體來進行測量半徑。我們在滴液滴下之前，先將針頭上的液滴移到尺旁邊拍照，如圖 15，再利用這個軟體測量出液滴的半徑，算出液滴的體積大小，如圖 16。

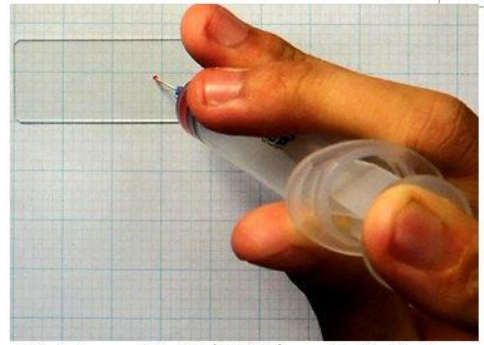


圖 14. 一開始實驗時，以手推針筒來控制液滴大小。

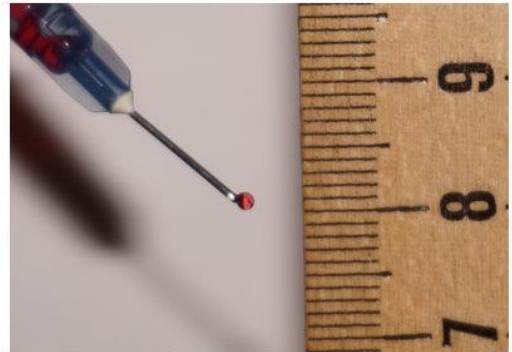


圖 15. 將液滴在尺的刻度旁拍照。

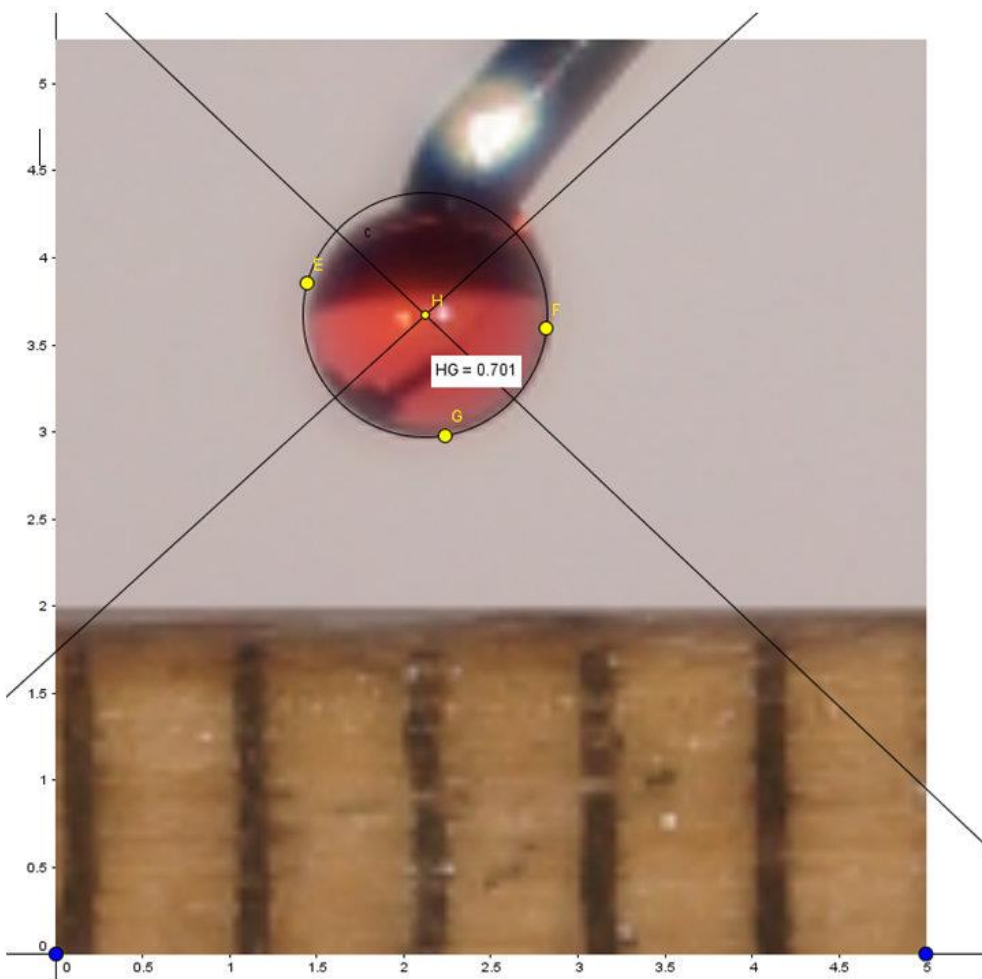


圖 16. 利用 GeoGebra 軟體測量液滴半徑的大小

可是還是無法控制液滴的大小，後來我們看到同學實驗時使用了一種測量儀器叫做螺旋測微器，如圖 17，旋轉旋鈕會使測微螺桿前進，可以精準的測量到 0.01 毫米，我們想到如果可以將黑色框架的部分拆掉，將旋鈕和測微螺桿的部分結合針筒，就可以利用旋轉旋鈕的刻度來控制液滴的大小。



圖 17. 螺旋測微器

我們和老師討論後，老師說不用拆螺旋測微器，我們需要的部分叫做微分頭，如圖 18，所以我們就買了微分頭來和針筒結合，想做出微分頭針筒。



圖 18. 微分頭

接下來要怎麼讓微分頭前端和針筒活塞結合呢？我們先測量所需活塞大約的長度，用美工刀切去不要的部分，利用熱熔膠黏在微分頭測微螺桿上，但是一下子就掉了，改用快乾膠，還是黏不住，最後用塑鋼土 AB 膠，將測微螺桿和活塞部份整個包住，終於成功了，測微桿和塑膠活塞不會再分離，旋轉旋鈕可以吸取液滴和擠出液滴，旋轉一定格數的話，液滴的大小就差不多。所以我們就用這樣的方法製作了 5 支微分頭針筒，製作過程如圖 19。

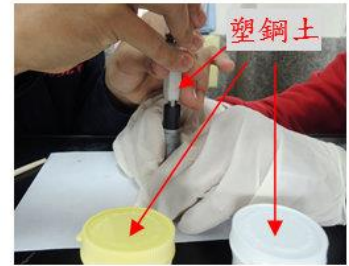


圖 19_a: 測量所需活塞大約的長度 b. 用美工刀切去不要的部分 c. 塑鋼土 AB 膠黏合



圖 19_d、完成的微分頭針筒



e. 共完成 5 支微分頭針筒

我們想要了解 5 支微分頭針筒旋轉刻度與液滴大小之間的關係。所以先將微分頭針筒編號，先取 1 號針筒吸取 1% 丙二醇水溶液，如圖 20，將針頭向上，排出裡面的空氣，再將微分頭旋鈕旋轉 1 個刻度，然後和尺一起拍照如圖 21，以使用 GeoGebra 測量出液滴半徑，然後分別取 2 個刻度、3 個刻度和 4 個刻度的液滴拍照，接下來取第 2 號針筒到第 5 號針筒分別進行 1 到 4 刻度液滴體積的測量，最後將照片用 GeoGebra 分別測量出液滴半徑，再用 excel 軟體算出體積大小，如圖 22。

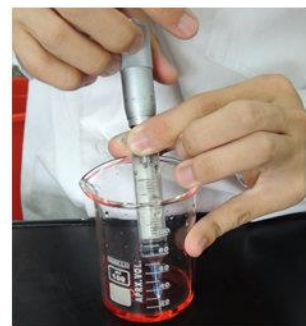


圖 20.微分頭針筒吸取丙二醇溶液

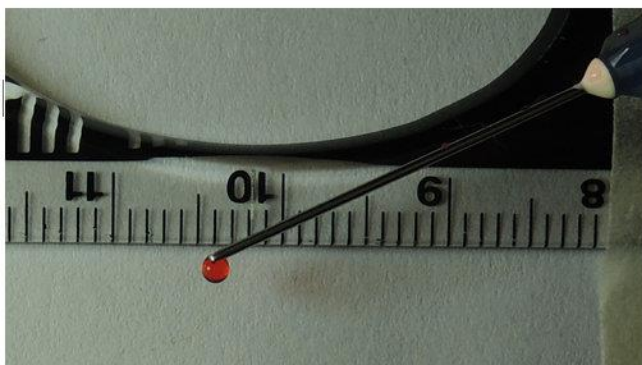


圖 21. 將液滴在尺的刻度旁拍照。

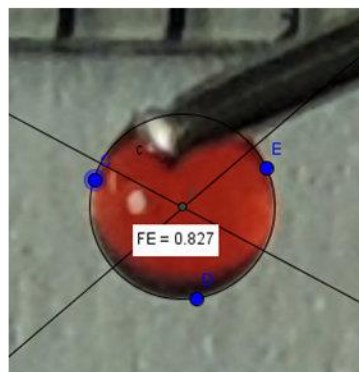


圖 22.GeoGebra 測量液滴半徑的大小

結果：

表一：微分頭針筒旋轉刻度與液滴大小的關係

第幾支 刻度	第 1 支 (mm)	第 2 支 (mm)	第 3 支 (mm)	第 4 支 (mm)	第 5 支 (mm)	平均半徑 (mm)	平均體積 (mm ³)
1	0.816	0.832	0.827	0.816	0.788	0.816	2.274
2	0.984	1.059	1.013	0.953	0.967	0.995	4.129
3	1.121	1.158	1.109	1.071	1.087	1.109	5.716
4	1.164	1.193	1.186	1.168	1.188	1.180	6.879

由表一可知，5 支微分頭針筒旋轉刻度如果相同，液滴的大小就差不多。

畫出液滴體積與旋轉刻度的關係圖如圖 23，可以看出**旋轉格數的刻度越多，滴下去的液滴的體積越大**，因此後面的實驗，我們就用刻度來代表液滴的大小。

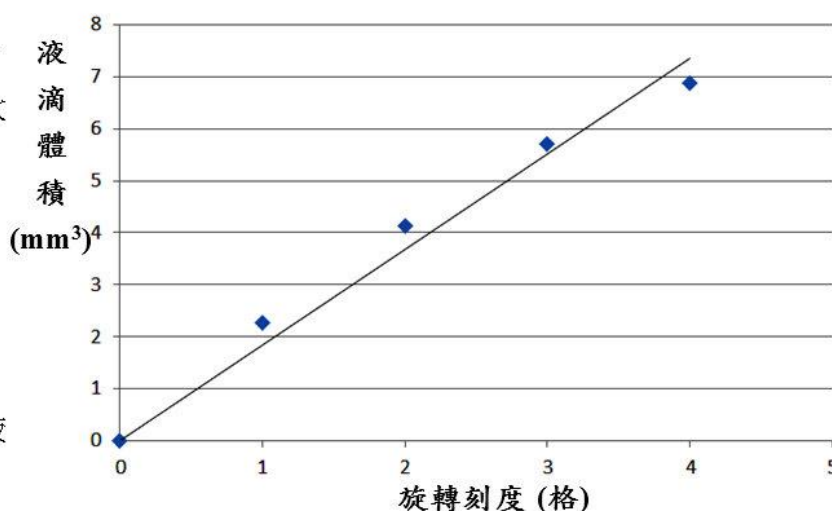


圖 23.旋轉刻度與液滴體積的關係

(三) 判斷液滴互動的結果

在討論應變變因的時候，本來打算觀察與測量液滴移動的速度，但是液滴在不同的移動階段，移動的狀況不同，還會轉彎，同一液滴有時會分離，所以後來在觀察結果時，將常見的結果分成四類，其中前三類液滴都會移動，我們認為它們是成功的，第四種不會移動算是失敗，如下圖 24、圖 25、圖 26、圖 27。

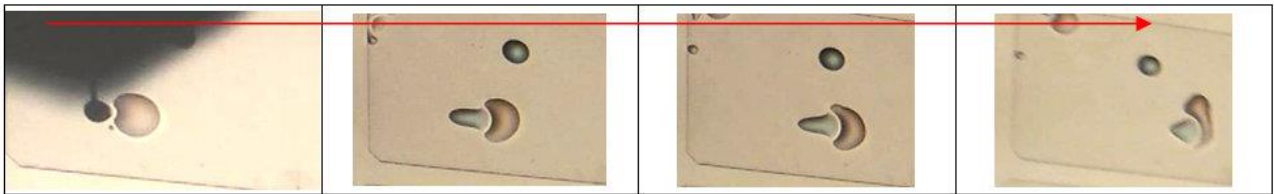


圖 24. 第一類：全部推擠：A 液滴推 B 液滴且兩液滴同方向移動。

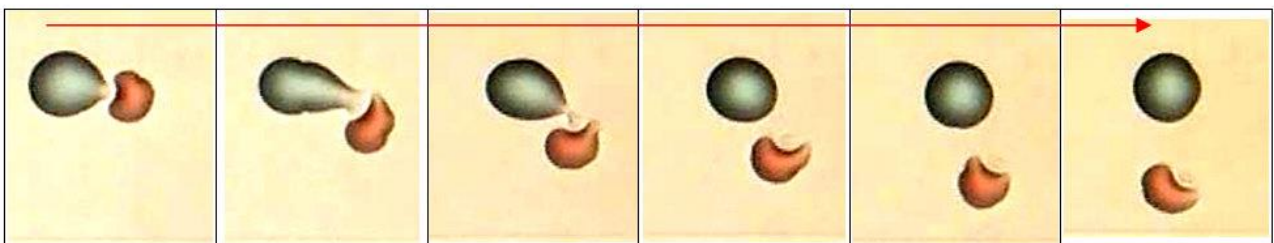


圖 24. 第二類：分離推擠：A 分離出小液滴，小液滴繼續推 B 移動。

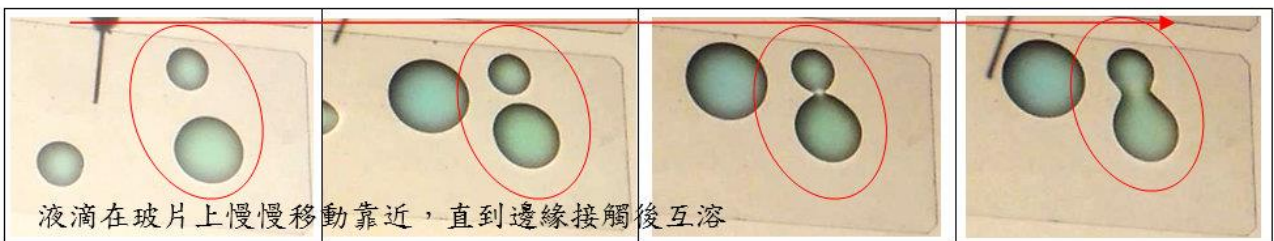


圖 26. 第三類：吸引互溶：A 與 B 互相吸引，然後融合成一滴，通常液滴濃度相同時會發生。

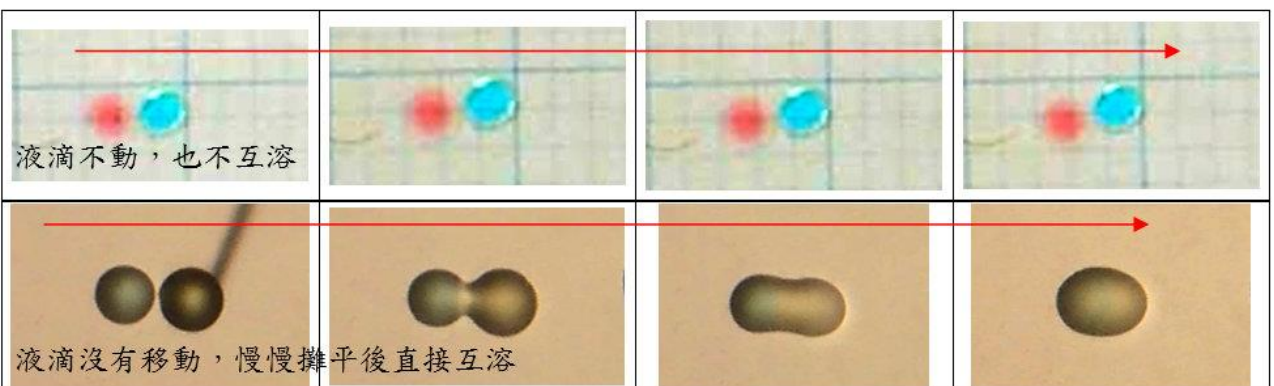


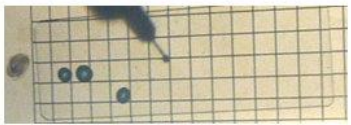
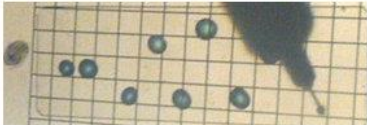










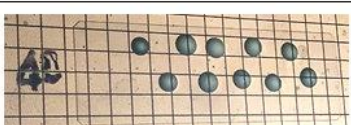





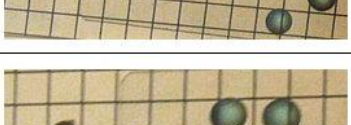

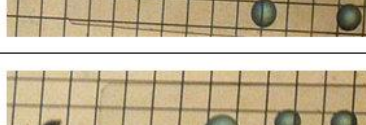
圖 27. 第四類：不動或直接互溶：A 與 B 相對不移動。沒有烘烤的玻片，一般會出現此狀況。

二、實驗二：探討載玻片烘烤時間對兩液滴互相吸引的影響

在實驗一中，如果載玻片沒有烤過就不會有液滴追逐的現象，所以我們想要探討載玻片烘烤時間對兩液滴互相追逐的影響。

將烘烤時間設定為操縱變因，烘烤秒數分別為 0、10、20、30、40、50、60 秒，將相同濃度的 25% 丙二醇滴在載玻片上，兩滴為一組間隔一段距離來看液滴的互動。

結果：

烘烤時間(秒)	開始	15 秒後	30 秒後
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			

烘烤的時間為 0 秒時，液滴即使過了 30 秒不會互相吸引，烘烤時間 10 秒以上的組別液滴都會移動，互相吸引，隨著烘烤時間增加，20 秒、30 秒後的吸引移動的現象有變得比較明顯。

所以我們認為，**烘烤時間長短會影響兩液滴的移動情形，且烘烤 20 秒後的移動較為明顯**，因此後續實驗，我們將固定烘烤時間為 30 秒。

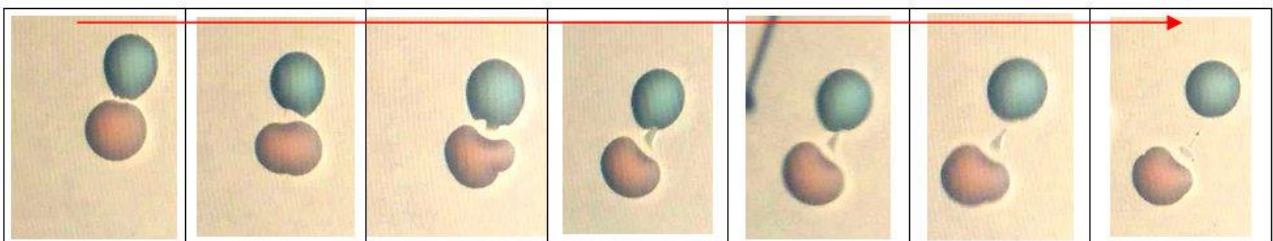
三、實驗三： 探討兩液滴大小不同對兩液滴互相追逐的影響

我們想要探討兩液滴大小不同時對兩液滴互相推擠追逐的影響，於是將 1%與 25%丙二醇液滴分成四組如下表來進行實驗，固定烘烤的時間為 30 秒，利用微分頭針筒的刻度控制大小，1 個刻度為小滴，3 個刻度為大滴。

25%丙二醇 \ 1%丙二醇	1 刻度(小濃)	3 刻度(大濃)
1 刻度(小稀)	第一組	第二組
3 刻度(大稀)	第三組	第四組

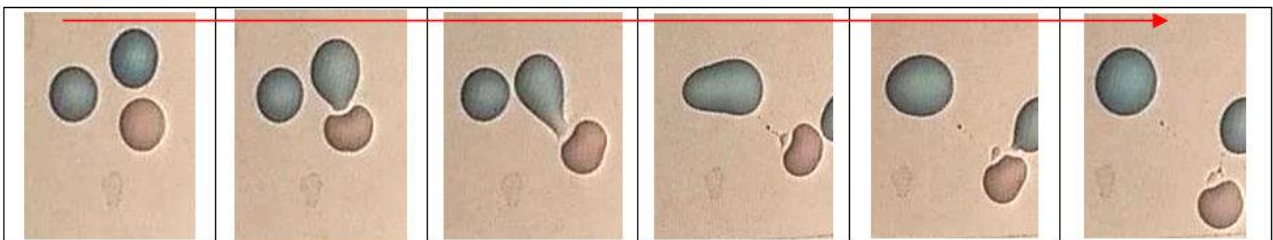
實驗結果

第一組：1 刻度 1%的丙二醇（紅色）與 1 刻度 25%的丙二醇（藍色）



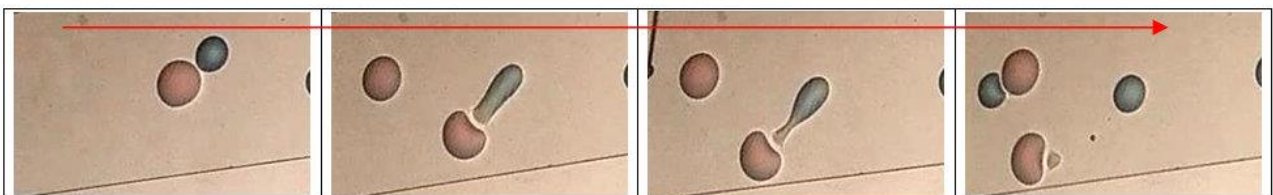
大部份結果為模式第二類，分離推擠，25%液滴會分離出小液滴，本體不動，小液滴繼續推 1%液滴移動。

第二組： 1 刻度 1%的丙二醇（紅色）與 3 刻度 25%的丙二醇(藍色)



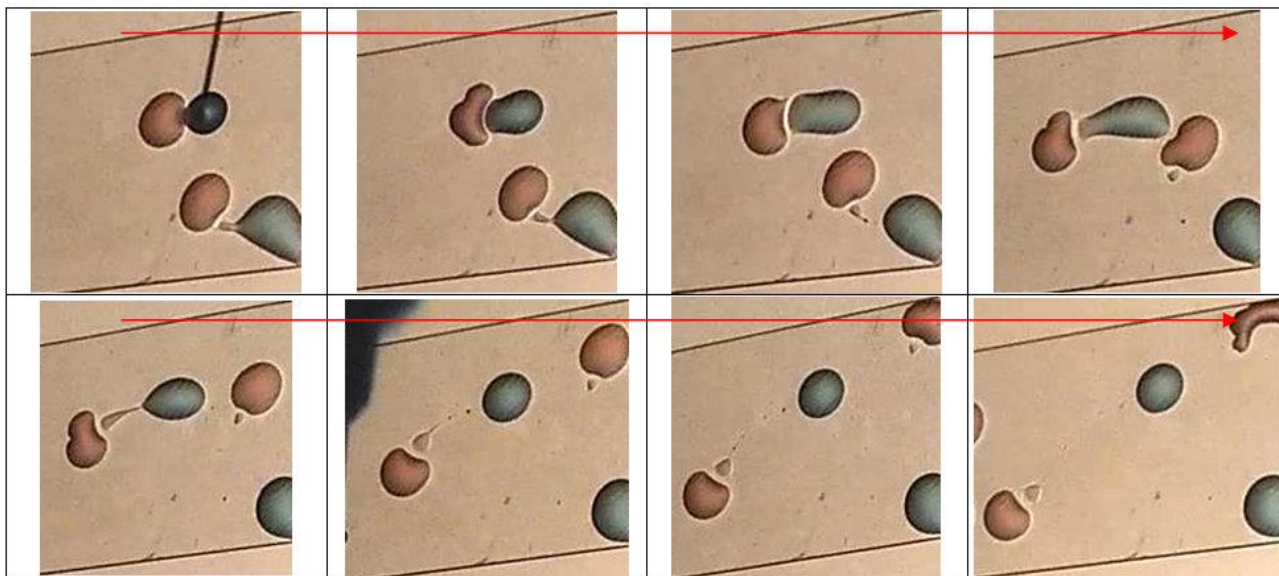
大部份結果為模式也是第二類，分離推擠，25%液滴會分離出小液滴，本體不動，小液滴繼續推 1%液滴移動。

第三組： 3 刻度 1%的丙二醇（紅色）與 1 刻度 25%的丙二醇(藍色)



大部份的結果為模式第一類轉第二類，25%液滴先是推擠追逐 1%液滴部一小段距離後，再分離出一個小液滴繼續推 1%液滴移動。

第四組：3 刻度 1%的丙二醇（紅色）與 3 刻度 25%的丙二醇(藍色)



大部份的結果比較接近第二類的分離推擠，而且推動的距離較遠。

總結：

四組的結果都成功的發生分離推擠的現象，**高濃度的丙二醇液滴會分離出小液滴持推 1% 液滴移動**。而第 2 組的大稀對小濃，因為 25%液滴本來就比 1%液滴小，所以比較容易全部移動追逐。

四、實驗四：探討兩液滴間的起始距離對兩液滴互相追逐的影響

我們想要了解兩個液滴距離多遠時才會發生互相追逐的情形，所以設計了裝置來控置液滴滴下去時的位置，以便能控制液滴的起始距離 d ，如圖 28。

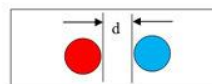


圖 28. d 為液滴邊緣的距離

我們以光學實驗用的滑軌和基座固定微分頭針筒，利用調整基座的位置控制兩個微分頭針筒針尖的位置，如圖 29。

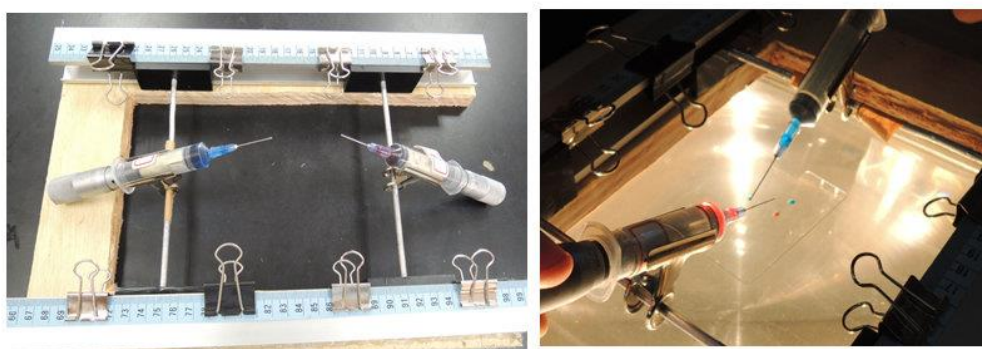
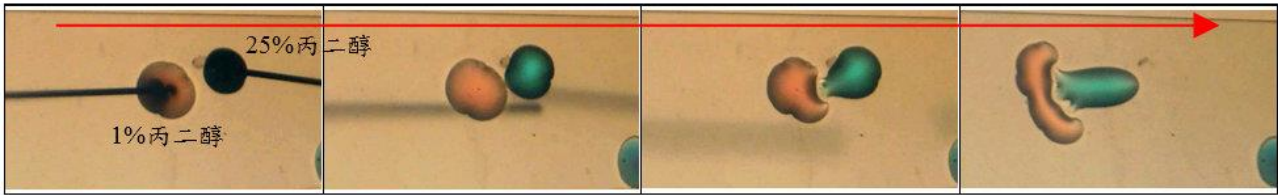


圖 29. 針筒位置控制器，調整基座位置控制液滴位置，實驗圖

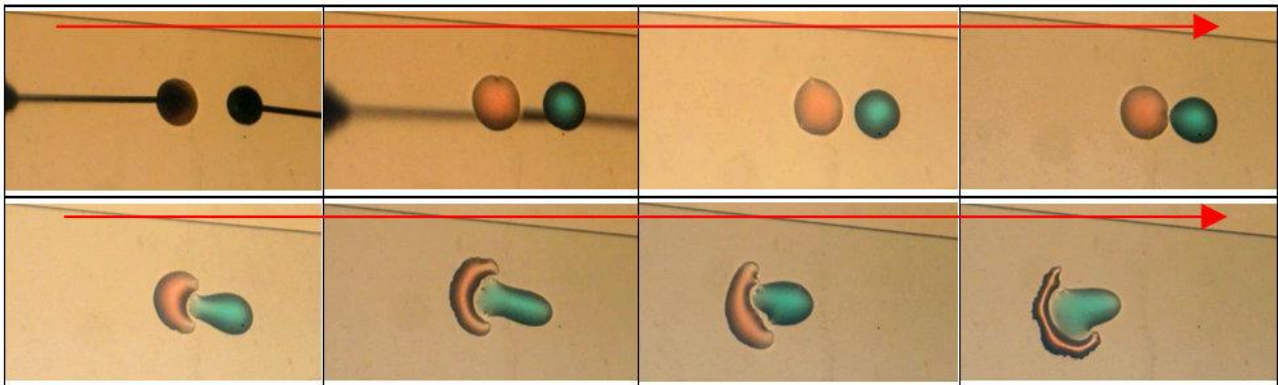
使用 1%與 25%丙二醇液滴，液滴大小控制為 3 個刻度，改變針尖的位置，進行以下 4 組實驗。

(1) $d = 0.00 \text{ mm}$ ，影片長度約 3 秒



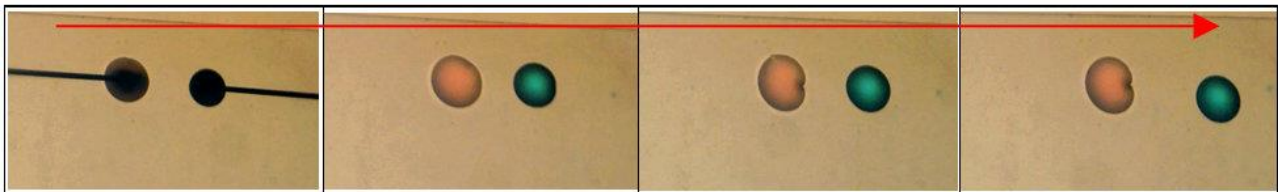
液滴一滴下去，攤開後邊緣接觸，馬上發生第一類的全部追逐推擠。

(2) $d = 2.54 \text{ mm}$ ，影片長度約 9 秒



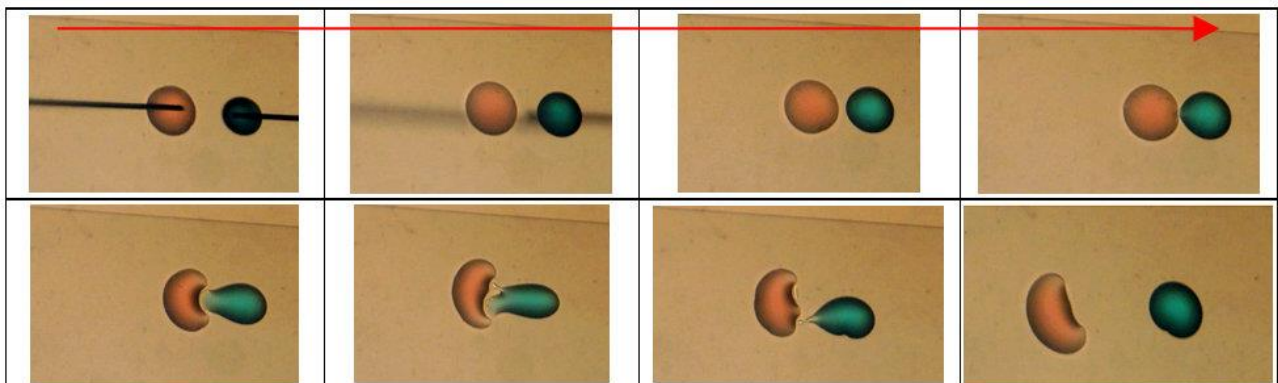
液滴攤開後邊緣距離為 2.54 mm ，會慢慢互相靠近，邊緣接觸後發生第一類的全部推擠。

(3) $d = 3.87 \text{ mm}$ ，影片長度約 12 秒



液滴攤開後邊緣距離為 3.87 mm ，兩液滴不靠近，很慢的移動，甚至有點分離。

(4) $d = 2.77 \text{ mm}$ ，影片長度約 9 秒



液滴攤開後邊緣距離為 2.77 mm ，會慢慢互相靠近，邊緣接觸後發生第一類的全部推擠。

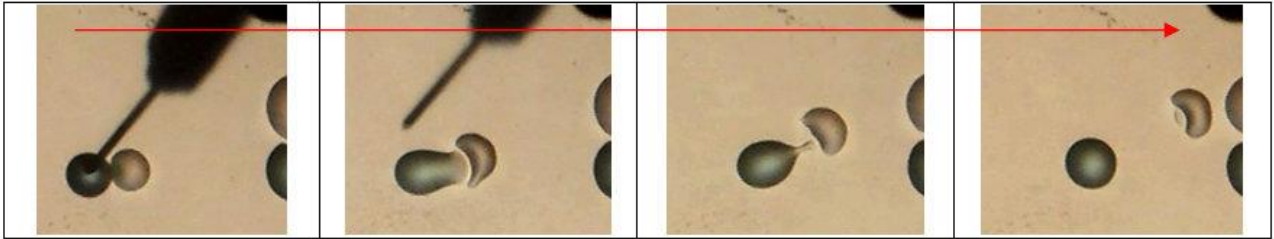
總結：

由以上的實驗我們知道，液滴滴下去時，如果邊緣相大約距 3 mm 以內，液滴會慢慢靠近，直到邊緣接觸後發生互相追逐的情形，如果到大約 4 mm 以上時，液滴可能不會互動。

五、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

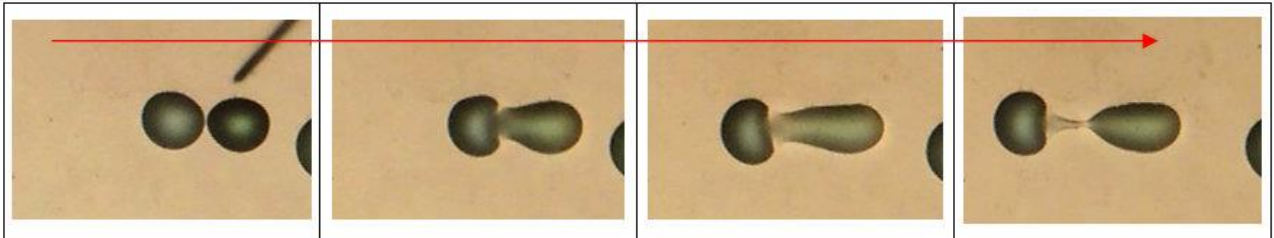
25%丙二醇液滴會推擠追逐 1%液滴，我們要知道，是否在高濃度時相差 25%濃度會不會發生，於是固定烘烤時間為 30 秒、液滴大小為三格，選擇四組濃度：1%和 25%、25%和 50%、50%和 75%、75%和 100%。

第一組 1%丙二醇(紅色) 對 25%丙二醇(藍色)，影片長度約 4 秒



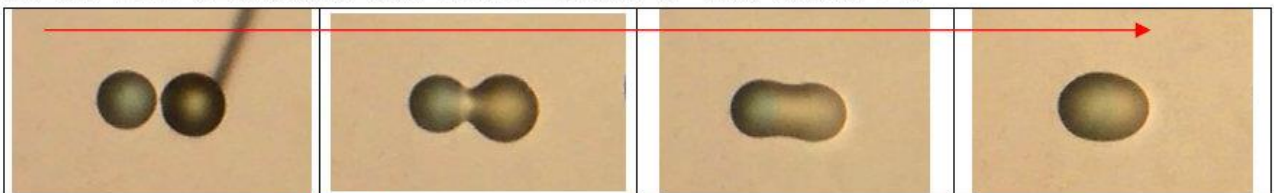
成功，會發生**第二類的分離推擠現象**，25%藍色丙二醇液滴會分離出小液滴推擠追逐 1%丙二醇液滴。

第二組 25%丙二醇(藍色) 對 50%丙二醇(黃藍色)，影片長度約 8 秒



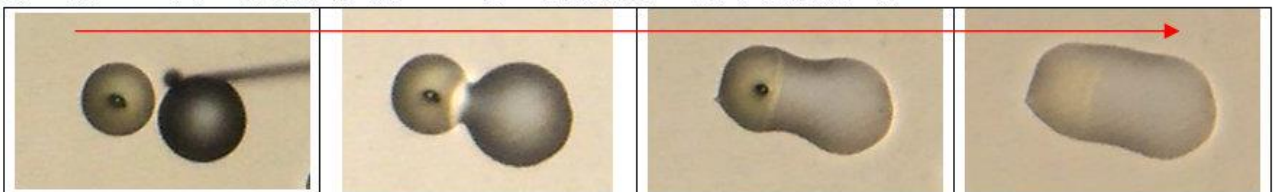
成功，結果像是**第一類全部推擠轉第二類的分離推擠**現象，50%藍色丙二醇液滴全部追逐 25%丙二醇液滴，然後再會分離出小液滴推擠追逐 25%丙二醇液滴，感覺移動速度較慢。

第三組 50%丙二醇(黃藍色) 對 75%丙二醇(黃色)，影片長度約 7 秒



失敗，液滴一接觸**直接互溶**，沒有互相推擠的現象。

第四組 75%丙二醇(黃色) 對 100%丙二醇(紫色)，影片長度約 6 秒



失敗，液滴一接觸**直接互溶**，沒有互相推擠的現象。

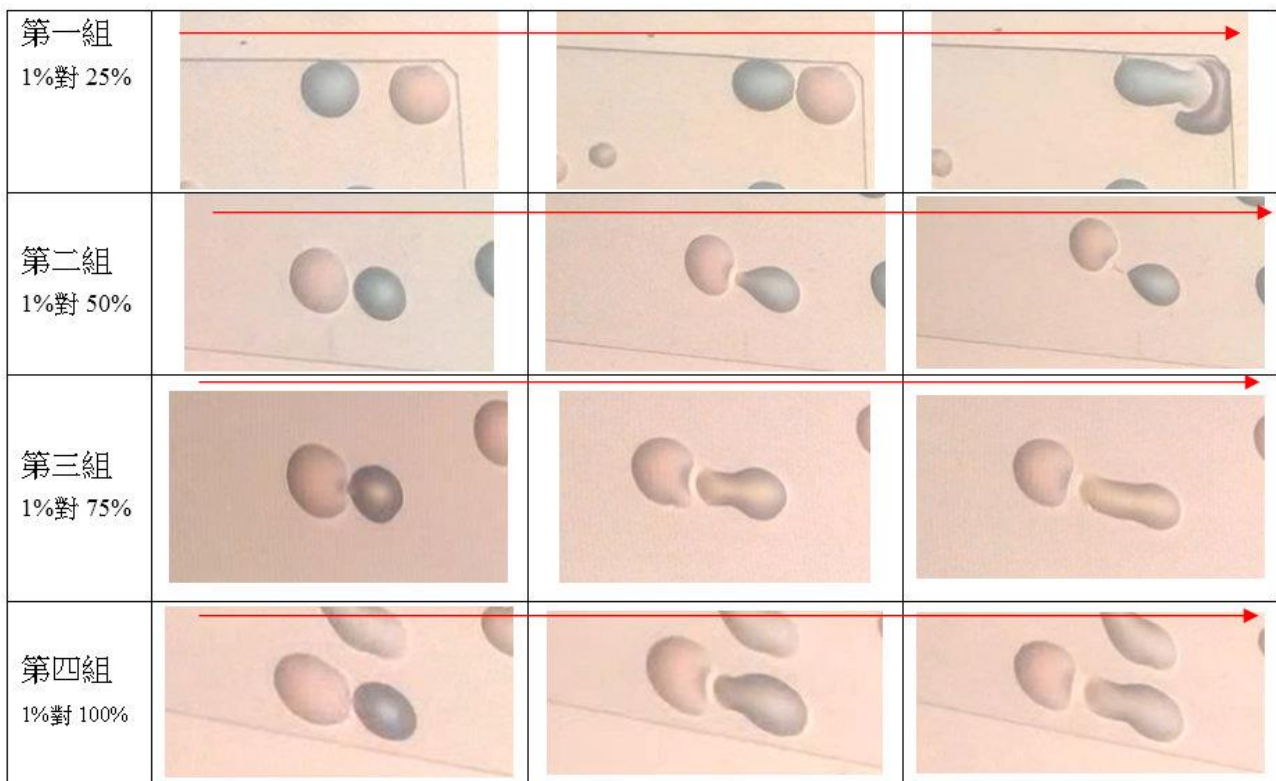
總結：

由以上實驗得知，**濃度大於 50%以上**，即使濃度相差 **25%**，也沒有互相推擠的現象。

六、實驗六：探討兩液滴不同濃度差對兩液滴互相追逐的影響

我們想了解不同的濃度差對兩液滴的影響，因此利用丙二醇水溶液來做此實驗。固定烘烤時間為 30 秒、液滴大小為三格，然後再將實驗分成四組，有濃度 1%和 25%、1%和 50%、1%和 75%、1%和 100%。

實驗結果如下圖：

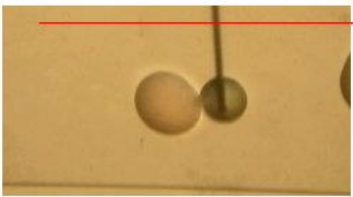
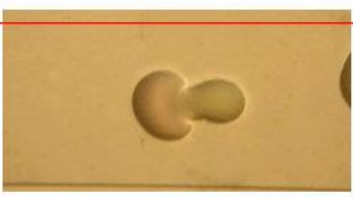

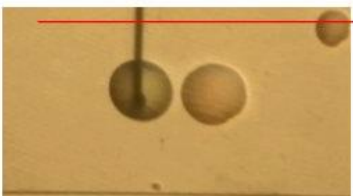
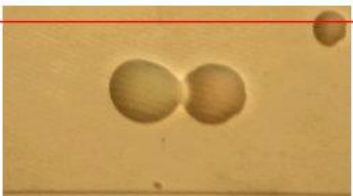
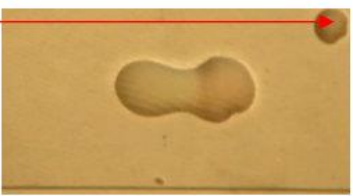



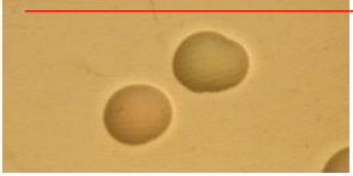
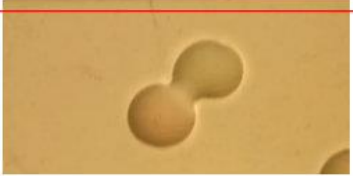



實驗後發現這四組濃度差都有推擠追逐的現象，都是高濃度推擠低濃度液滴，而且第一組和第二組的追逐現象較快速、明顯，濃度較高的第三組和第四組的液滴移動的較緩慢，我們猜測可能是濃度較高，液滴比較黏稠，比較不容易流動。

我們知道低濃度時，兩液滴濃度相差 24%以上的丙二醇液滴，會推擠追逐，我們想知道濃度差多少才會發生追逐的現象。

我們配置 10%濃度的丙二醇，與 1%的液滴來做實驗，發現有推擠追逐的現象。然後配置 5%得丙二醇溶液後，與 1%的液滴來做實驗，結果兩液滴就互相融合了。接下來配置 7.5%丙二醇水溶液，再與 1%的液滴來做實驗，發現 7.5%液滴會推擠 1%液滴一點點，然後就混合在一起了，最後配置 8.75%丙二醇水溶液，再與 1%的液滴來做實驗，結果兩液滴也是接觸之後，推擠一下，然後就快速混合在一起。

實驗結果如下圖：

	第 0 秒	第 15 秒	第 30 秒
第五組 1%對 10%			
第六組 1%對 5%			
第七組 1%對 7.5%			
第八組 1% 對 8.75%			

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，濃度相差大約 9%以上時，液滴會推擠追逐。

七、實驗七：探討溶質改變對兩液滴互相追逐的影響

在實驗的過程中我們也想了解除了丙二醇以外，是否還有其他溶質也有相似的性質，所以選擇了異丙醇、乙醇、甲醇、蔗糖、食鹽、氫氧化鈉、醋酸等七種不同性質的溶質，先配置成 25%與 1%水溶液，然後烘烤載玻片 30 秒，固定 3 格刻度的液滴大小，進行實驗。

(1) 乙醇：取乙醇 2 毫升，加水到 8 毫升稀釋成 25%水溶液，如圖 30，再取 1 毫升 25%乙醇溶液加水到 25 毫升後稀釋成 1%，然後加食用色素將 1%水溶液染成紅色，25%水溶液染成藍色。

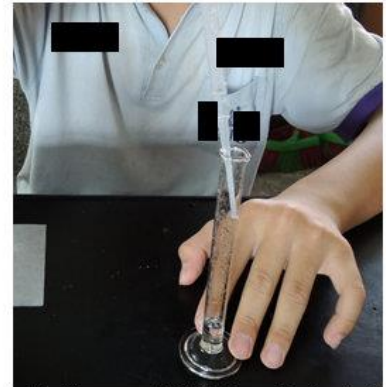
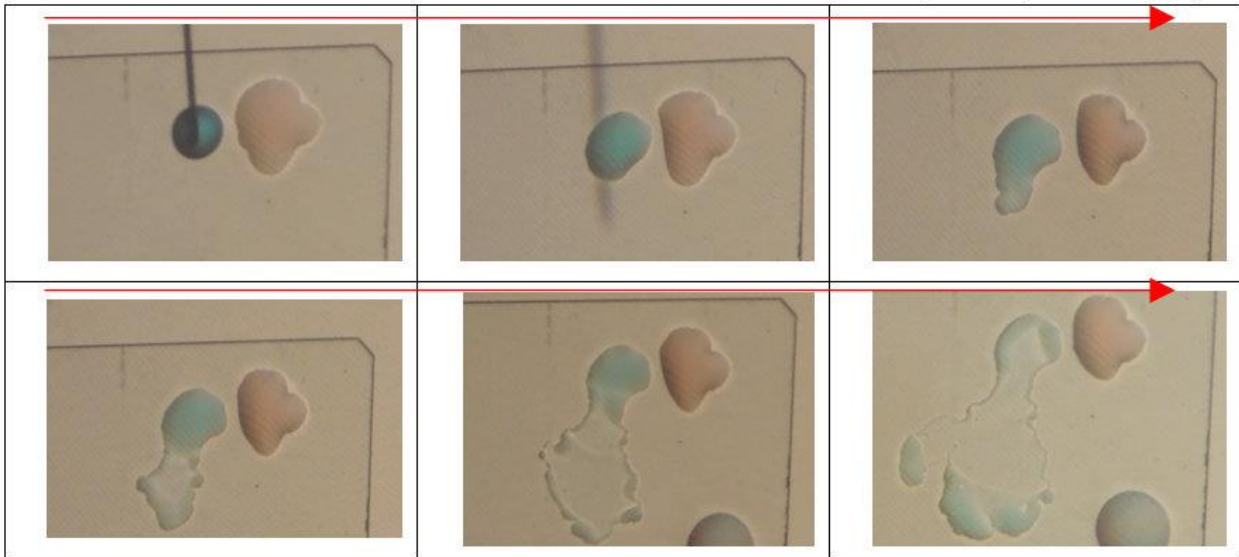


圖 30. 配置 25%乙醇水溶液

實驗結果：

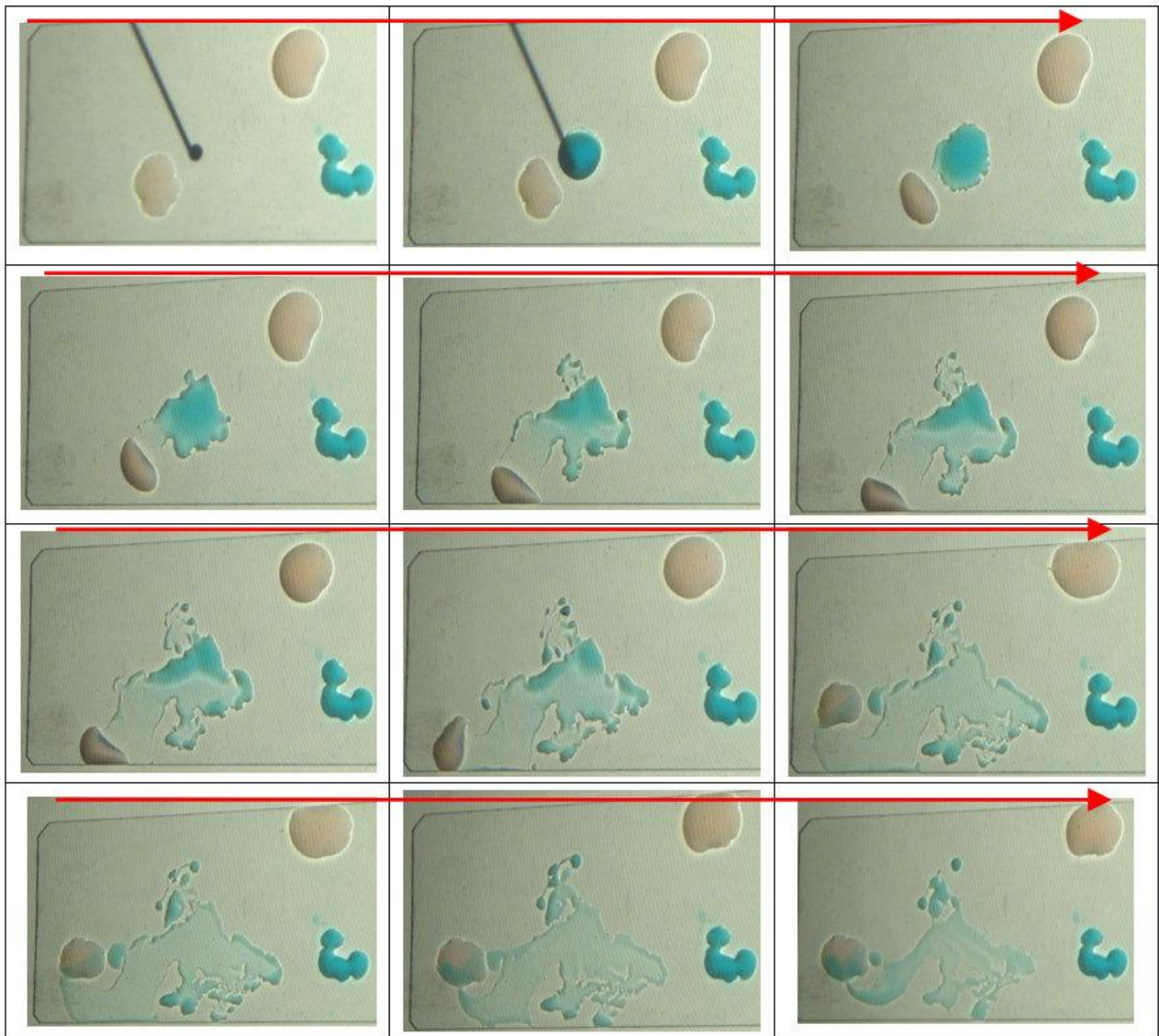


乙醇水溶液的液滴與丙二醇液滴有很大的不同，包括下列幾點：

1. 乙醇水溶液滴下去後大部分不是圓形，而且攤開面積比較大。
2. 而且 **25%的乙醇液滴會快速擴散開來**，大約 30 秒之後會收縮成分散的小滴。
3. 靠近 1%液滴的地方看起來會排斥 1%的液滴，但是推不動，而且兩液滴保持一段距離，沒有接觸。

(2) 甲醇：我們配出 25% 和 1% 甲醇水溶液，然後將 1% 溶液染成紅色，25% 溶液染成藍色，進行實驗。

實驗結果：

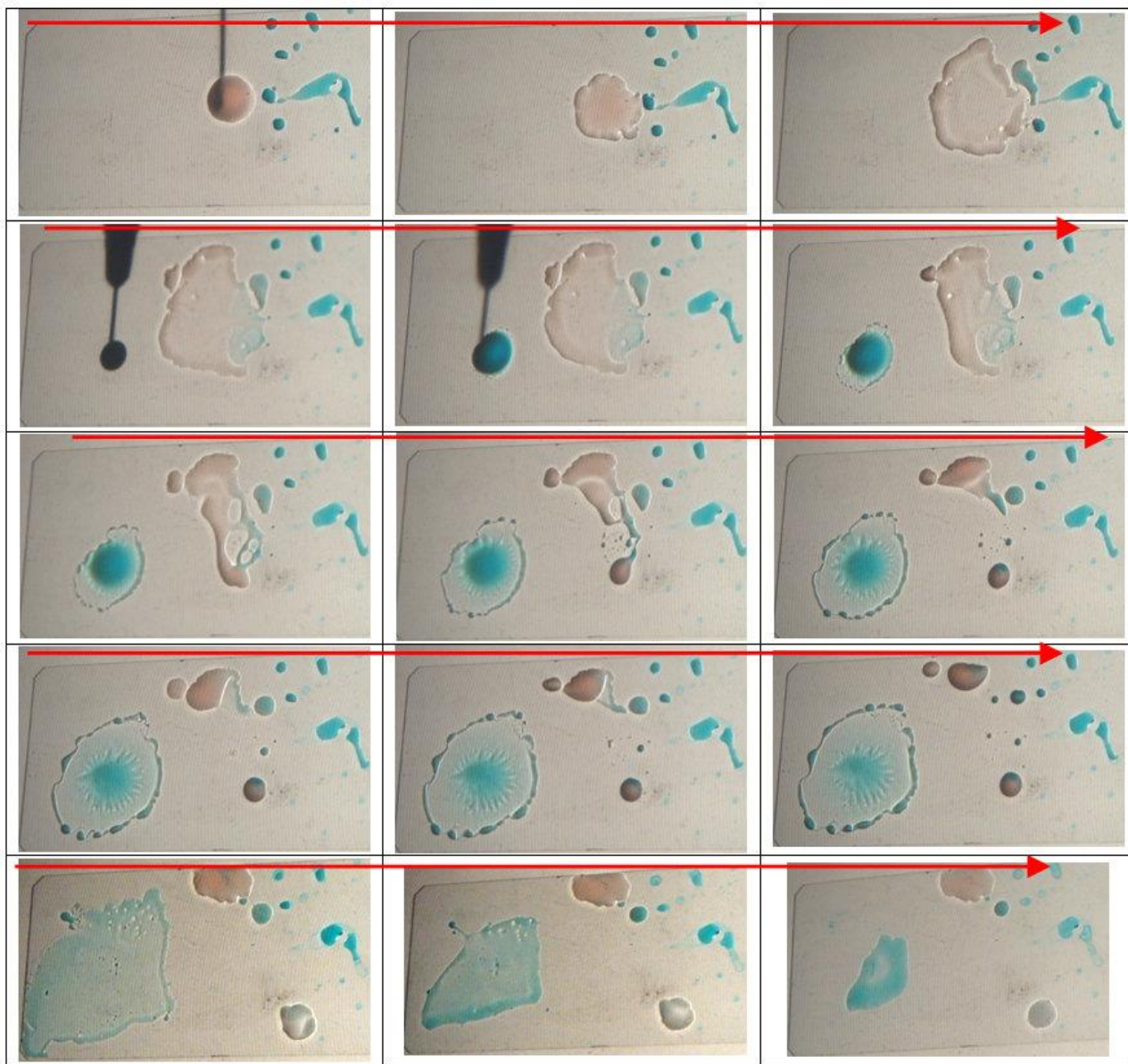


甲醇水溶液的液滴互動和乙醇比較像，包括下列幾點：

1. 甲醇水溶液滴下去後大部分不是圓形，而且攤開面積比較大。
2. 而且 **25% 的甲醇液滴會快速擴散開來**，可以推得動 1% 甲醇液滴快速移動。
3. 25% 的甲醇液滴擴散開來一段時間後，會開始收縮。
4. 右上角的 1% 液滴離 25% 液滴距離很遠，就算 25% 液滴散開來還有一段距離，可是仍看得出受到 25% 液滴的推擠，並且似乎有規律性收縮的現象，我們猜測是否是甲醇的蒸發產生蒸氣，影響到它，又因為操作的同學靠的比較近，呼吸影響了蒸氣的流動，使它產生規律性收縮，所以接來實驗，操作的同學都屏氣暫停呼吸，但還是有類似收縮的現象。

(3)異丙醇：我們配出 25%和 1%異丙醇水溶液，然後將 1%溶液染成紅色，25%溶液染成藍色，進行實驗。

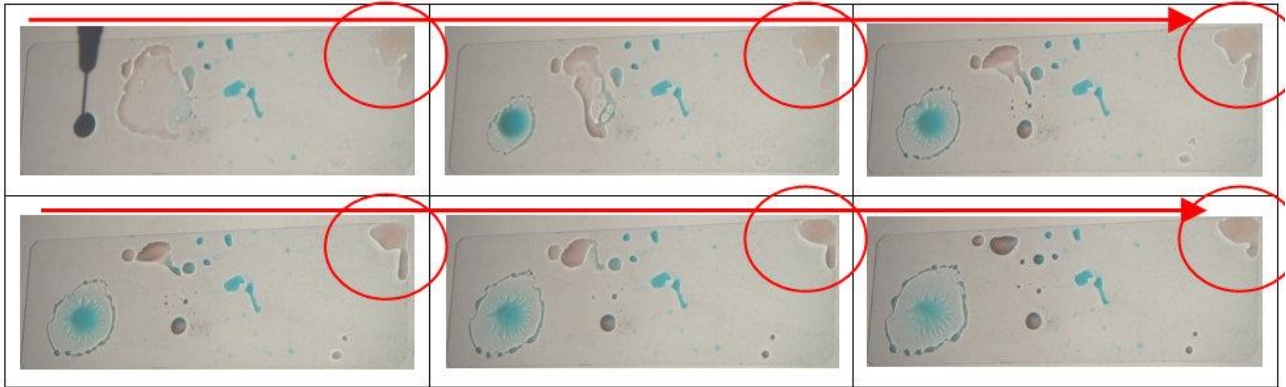
實驗結果：



異丙醇水溶液的液滴和甲醇和乙醇類似，但是更明顯：

1. 異丙醇水溶液滴下去後就會散開來，即使是 1%液滴也一樣。
2. 而且 **25%的異丙醇液滴會非常快速擴散開來**，不需要接觸就可以推得動 1%異丙醇液滴快速移動。
3. 25%的異丙醇液滴擴散開來一段時間後，一樣會開始收縮。
4. **1%液滴似乎遠距離就受到 25%液滴的影響**，感覺好像 25%液滴向外發散氣體把 1%液滴趕開，甚至我們觀察到載玻片另一端的 1%液滴都受到推擠。

異丙醇液滴的遠距離影響：



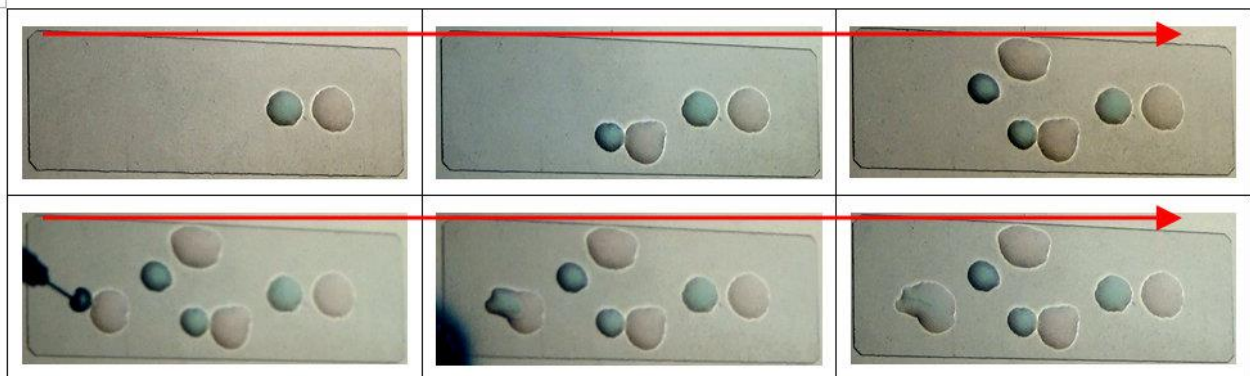
右上角的 1%液滴離 25%液滴很遠，一開始還沒有反應，但是幾秒後就開始收縮，好像**異丙醇液滴產生大量氣體**先吹動靠近它的 1%紅色液滴，再吹動右上角的 1%紅色液滴收縮。

(4) 蔗糖：取 4 克的蔗糖，加到燒杯中，再加水到 16 克，配成 25%蔗糖水溶液如圖 31，再取 1 克 25%蔗糖水溶液加水到 25 克後稀釋成 1%蔗糖水溶液，然後將 1%溶液染成紅色，25%溶液染成藍色，進行實驗。



圖 31. 配置 25%蔗糖水溶液

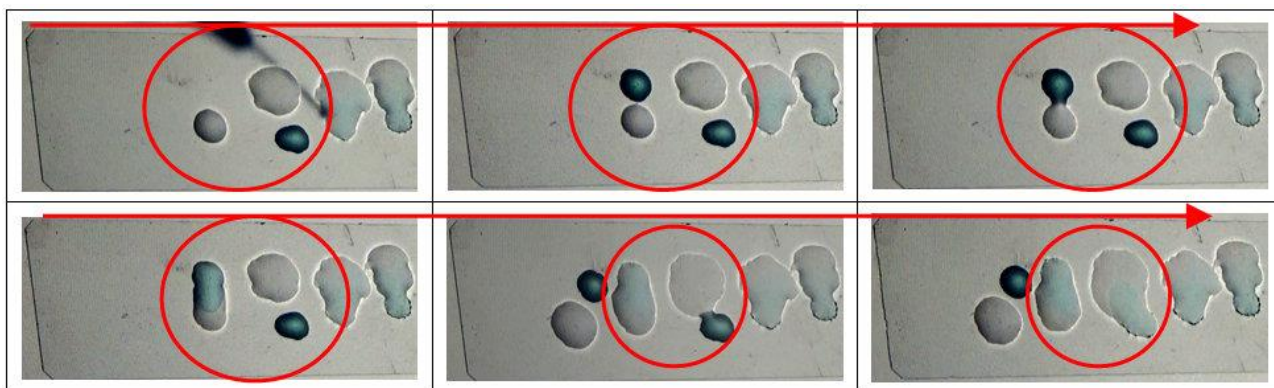
實驗結果：



蔗糖液滴不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象，而且乾得比較慢，即使靠得很近，也不會互相影響，如果第二滴滴下去時就接觸到第一滴，有可能會互相融合成一滴。

(5) 食鹽：我們配出 25%和 1%食鹽水溶液，然後將 1%溶液染成紅色，25%溶液染成藍色，進行實驗。

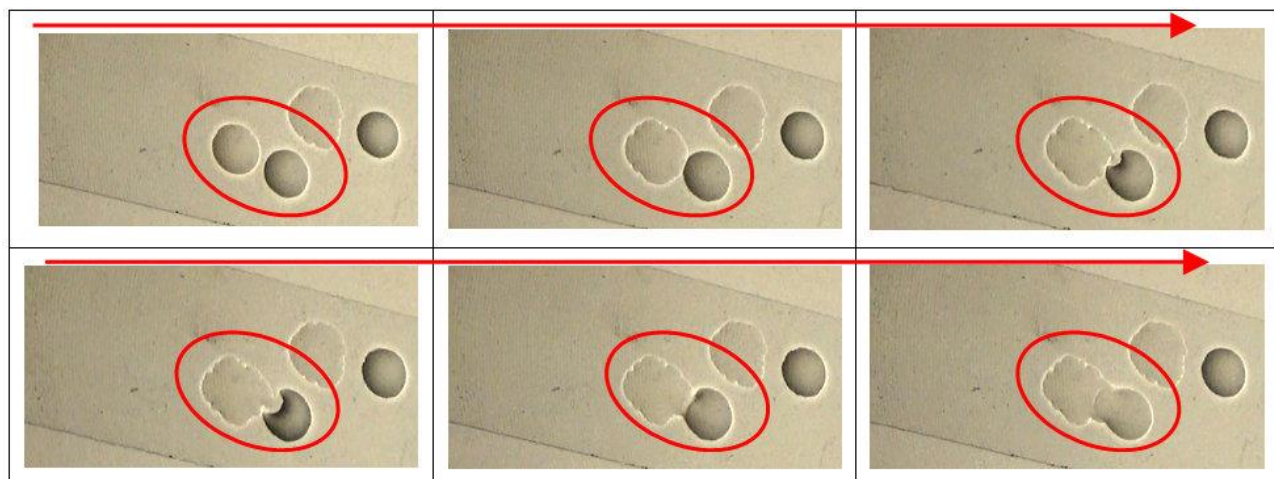
實驗結果：



食鹽液滴不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象，但是很容易融合成一滴，即使有點距離，液滴會慢慢攤平，兩液滴的邊緣稍微碰到就非常快速融合成一滴。

(6) 氫氧化鈉：我們配出 25%和 1%氫氧化鈉水溶液，然後將 1%溶液染成紅色，25%溶液染成藍色，進行實驗。

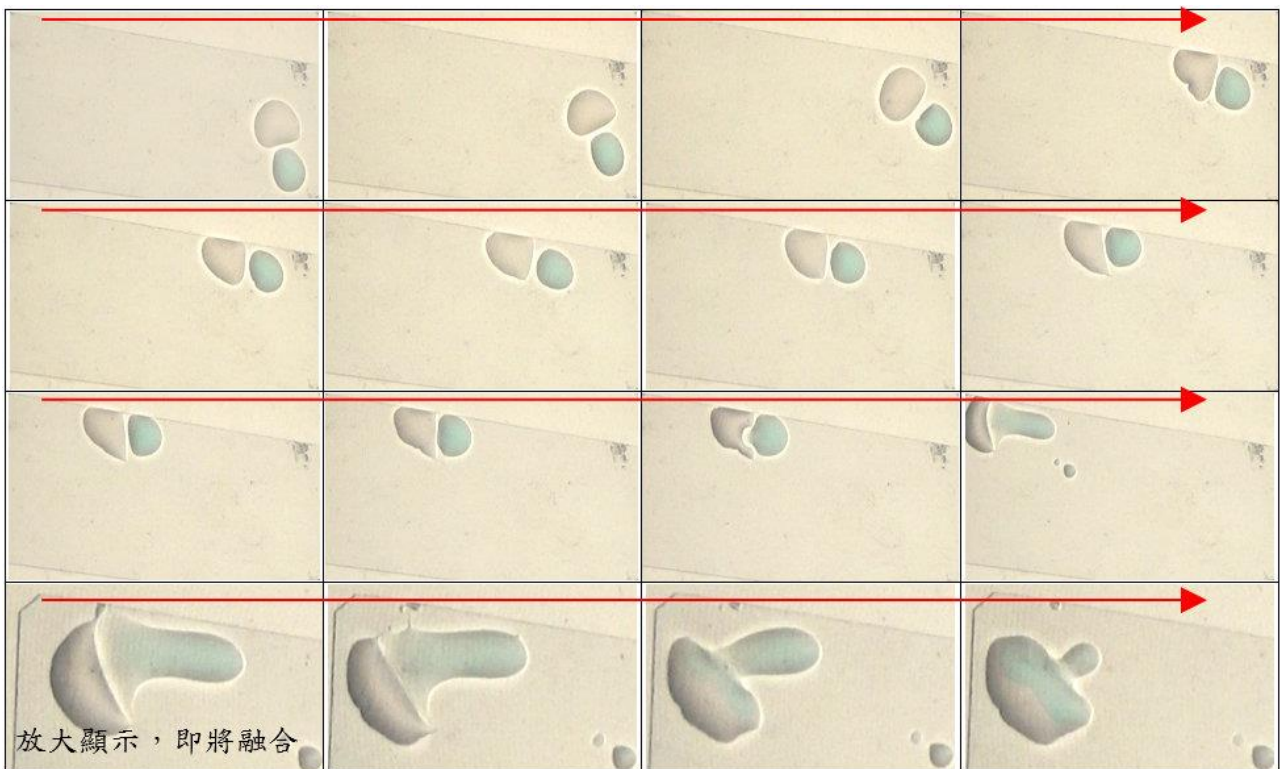
實驗結果：



氫氧化鈉液滴不會互相吸引，也不會有推擠追逐的現象，也是很容易融合成一滴，即使有點距離，液滴會慢慢攤平，接觸時不會馬上就融合，會先推擠一下，才會融合成一滴。

(7) 醋酸：我們配出 25%和 1%醋酸水溶液，然後將 1%溶液染成紅色，25%溶液染成藍色，進行實驗。

實驗結果：影片時間約 1 分 41 秒



醋酸液滴與丙二醇類似，是屬於**第一類**的結果，全部推擠，不同濃度的液滴有明顯推擠追逐的現象，而且比丙二醇更明顯，可以**長距離推擠追逐**，最後會融合成一滴，**25%的醋酸液滴會追逐 1%的液滴**，一開始的推擠追逐，兩液滴沒有接觸，液滴形狀變化不大，追逐一段時間後，距離靠近到一定程度，**25%的醋酸液滴開始變形**，**兩液滴間有液體快速流動**，**移動變慢**，然後就會融合成一滴。

總結：

由以上的結果發現，**甲醇、乙醇與異丙醇都有水溶液液滴互相影響的現象**，雖然模式和丙二醇不太一樣，**醋酸水溶液液滴的實驗結果和丙二醇非常類似**，甚至移動性比丙二醇更好，更明顯。至於**蔗糖、食鹽與氫氧化鈉液滴三者**的結果比較相像，都是**第四類的不移動**，但是又有點小差異，蔗糖是要液滴碰在一起才融合，食鹽是液滴邊緣略一接觸就非常快速融合，氫氧化鈉是液滴要先推擠一下才融合。

八、實驗八：探討兩液滴溶質不同時對兩液滴互相追逐的影響

如果兩液滴溶質不一樣的時候，兩液滴會不會還有互相推擠追逐的情況？因為我們進行實驗七的時候，發現醋酸的時驗結果丙二醇很類似，所以選用醋酸液滴丙二醇液滴來進行實驗，另外異丙醇的現象很有趣，也想知道是否它能影響丙二醇液滴，所以分別用丙二醇對醋酸，丙二醇對異丙醇，濃度各有 1% 和 25%。實驗設計如下表二與下表三：

表二、第一組：丙二醇對醋酸

丙二醇 \ 醋酸	1%	25%
1%	實驗 A	實驗 B
25%	實驗 C	實驗 D

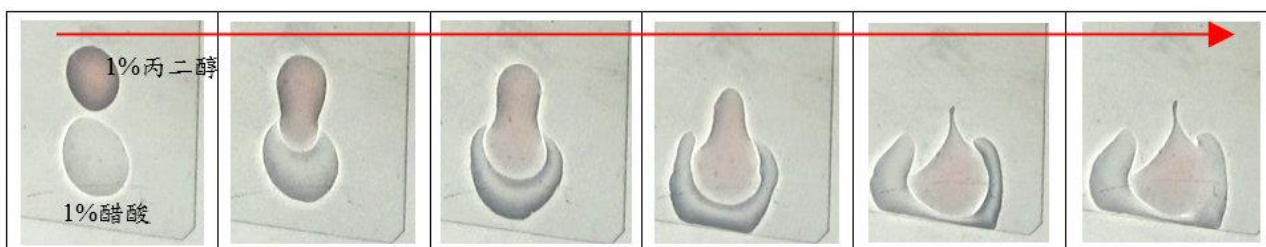
表二、第二組：丙二醇對異丙醇

丙二醇 \ 異丙醇	1%	25%
1%	實驗 E	實驗 F
25%	實驗 G	實驗 H

實驗結果：

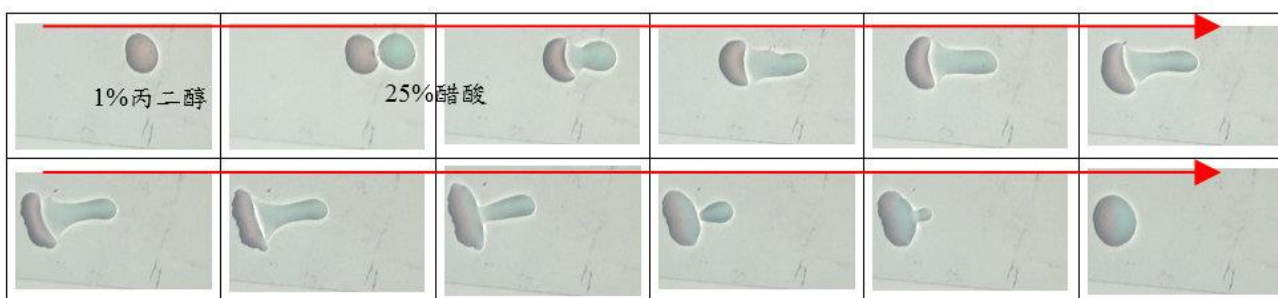
一、醋酸與丙二醇

(1) 實驗 A：1% 丙二醇與 1% 醋酸：影片時間約 4 秒

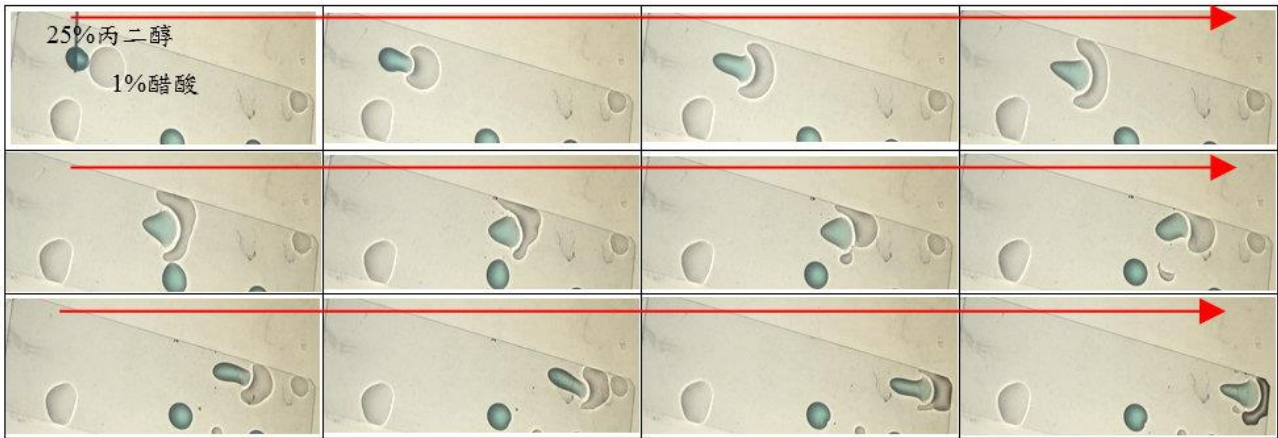


結果接近第一類和第三類的混合，一開始先全部推擠，**1% 丙二醇液滴會推擠醋酸液滴前進**，一段距離後，如果醋酸液滴速度慢下來，丙二醇液滴會和醋酸液滴融合，速度很快。

(2) 實驗 B：1% 丙二醇(紅色)與 25% 醋酸(藍色)：影片時間約 15 秒

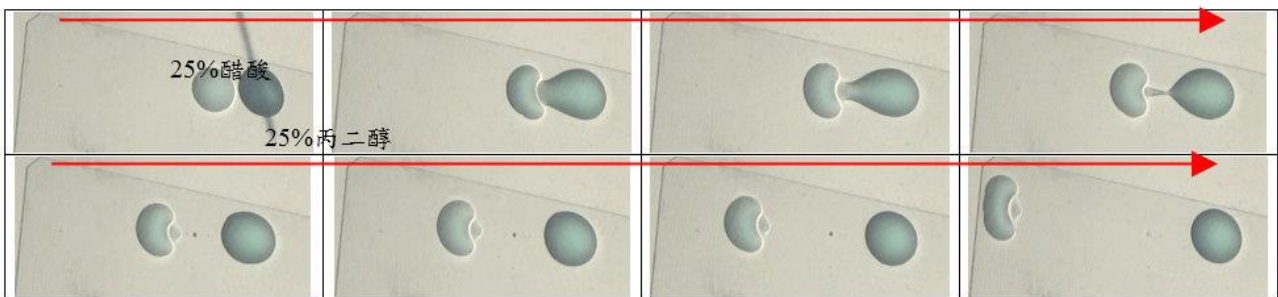


(3) 實驗 C : 25%丙二醇(藍色)與 1%醋酸(紅色) : 影片時間約 35 秒



結果與類似第一類，全部推擠，**25%丙二醇液滴會推擠 1%醋酸液滴前進**，前進一段非常長的距離，幾乎由玻片最左邊移動到玻片最右邊。

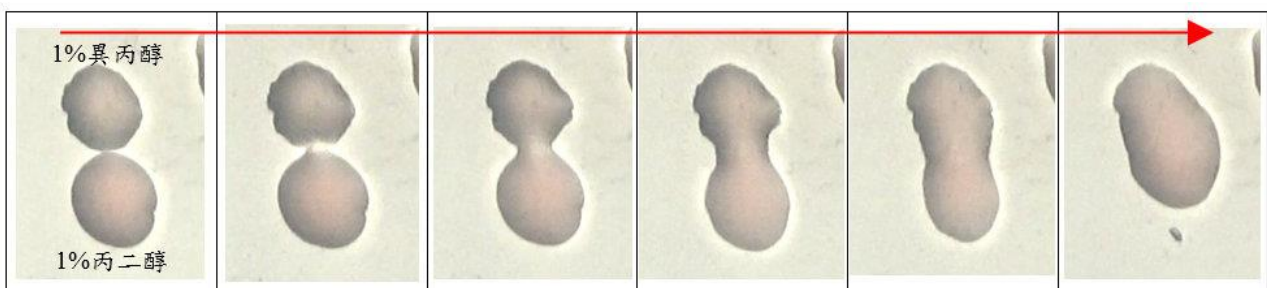
(4) 實驗 D : 25%丙二醇(深藍色)與 25%醋酸(淺藍色) : 影片時間約 20 秒



結果與類似第二類，部份推擠，**25%丙二醇液滴會分離出一部份推擠 25%醋液滴前進**，前進滿長的距離，乙二醇本體就留在原地不動。

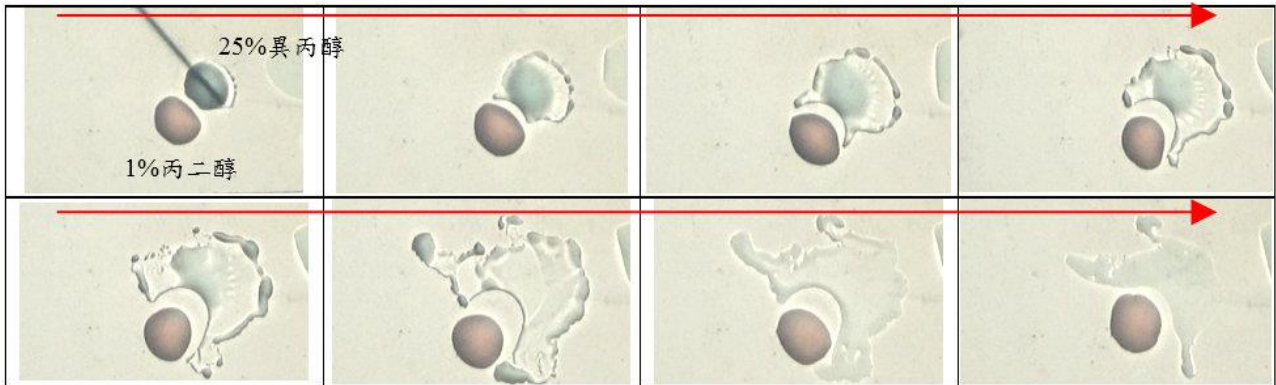
二、異丙醇與丙二醇

(1) 實驗 E : 1%丙二醇(紅色)與 1%異丙醇(紅色) : 影片時間約 2 秒



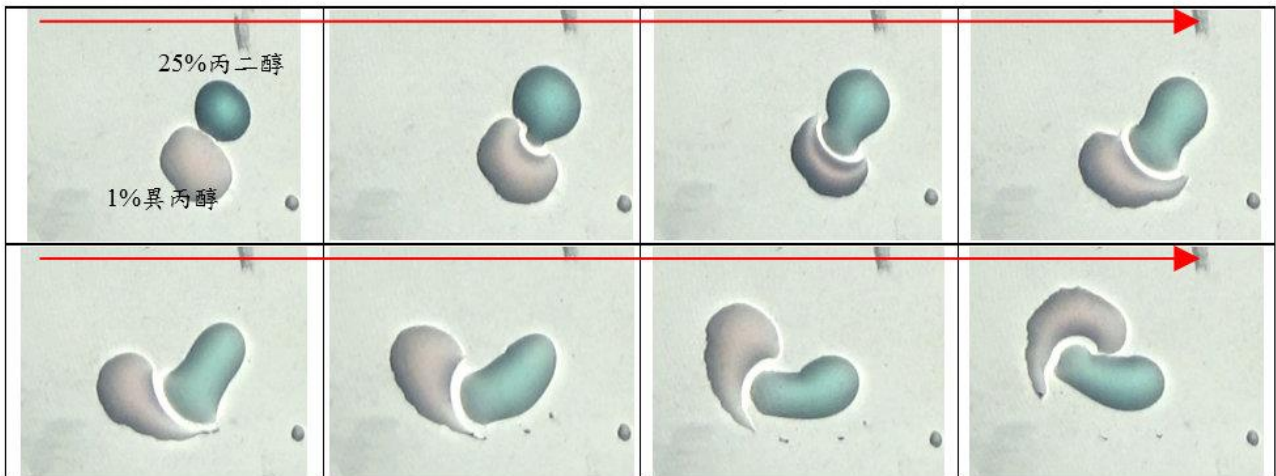
1%異丙醇液滴慢慢攤開，一碰到丙二醇就和它**融合**。

(2) 實驗 F : 1%丙二醇(紅色)與 25%異丙醇(藍色) : 影片時間約 35 秒



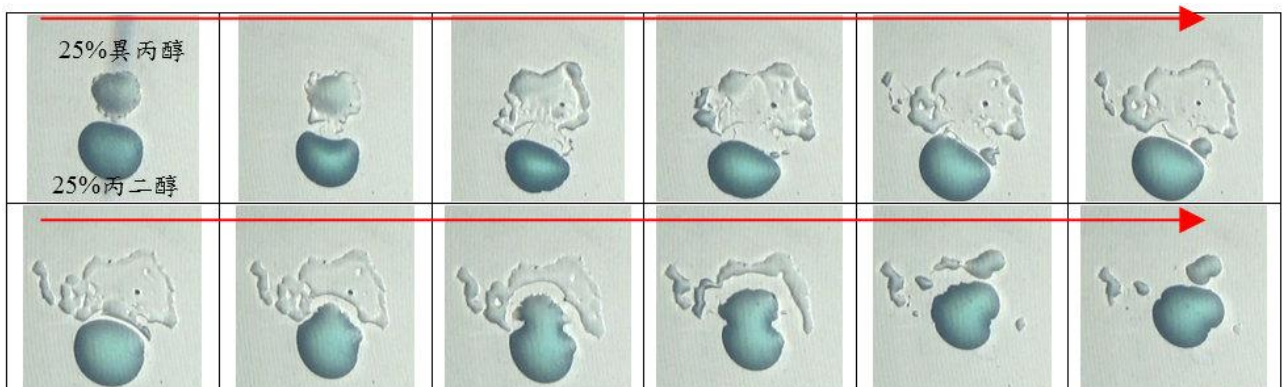
25%異丙醇液滴一滴下去就快速的擴散開來，可是靠近丙二醇的一邊卻好像有一個防護罩擋住，使得異丙醇液滴無法靠近，一直等到異丙醇開始收縮，丙二醇液滴卻慢慢靠近異丙醇液滴。

(3) 實驗 G : 25%丙二醇(藍色)與 1%異丙醇(紅色) : 影片時間約 10 秒



結果屬於第一類全部推擠，25%丙二醇液滴會推擠追逐 1%的異丙醇液滴。

(4) 實驗 H : 25%丙二醇(深藍色)與 25%異丙醇(淺藍色) : 影片時間約 35 秒



異丙醇液滴先是快速擴散，將丙二醇液滴推開一點點，與實驗 F 相比，好像丙二醇的防護罩消失了，然後感覺液滴接觸邊緣有液體快速流動，然後異丙醇液滴開始收縮，同時換丙二醇液滴回來推異丙醇液滴。

九、實驗九：探討異丙醇液滴互相影響可能的原因

在實驗七之(3)異丙醇液滴實驗與實驗八的第二組的實驗中，25%異丙醇好像會散發氣體出來，吹動其它液滴，所以我們查了異丙醇的性質，沸點是 82.6°C ，比水低，而低沸點的甲醇(沸點 64.7°C)及乙醇(沸點 78.4°C)現象與異丙醇很相似，是因為蒸氣的關係嗎？我們設計了實驗來驗證。

我們猜想如果是 25%異丙醇液滴散發蒸氣，應該會由空氣傳遞到低濃度的丙二醇液滴，使它移動，所以如果在載玻片中間用另一塊玻片立起來擋住蒸氣的流動，影響低濃度液滴就不會受到影響，設計如圖 32：

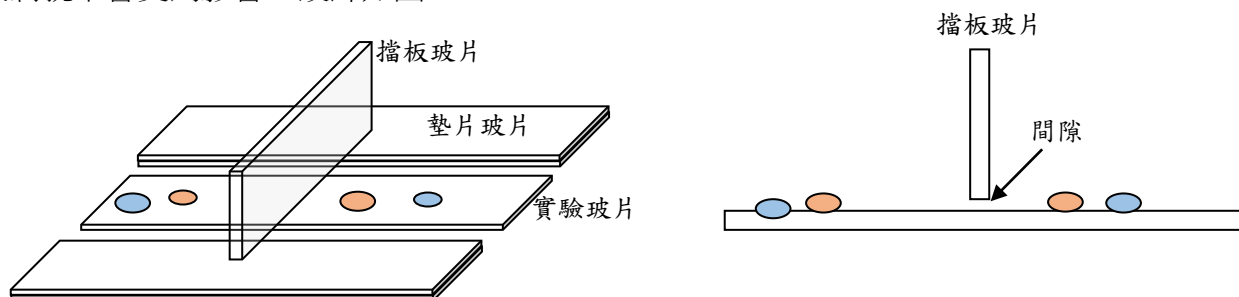


圖 32. 構想示意圖，在載玻片兩端各滴一滴 1%與 25%丙二醇，在立起一載玻片當擋板，擋板玻片的兩端再墊載玻片或紙片空置間隙大小。

1. 先用長尾夾夾住一個載玻片兩端，調整使它可以立起來在實驗載玻片的上方，作為擋板玻片。
2. 在立起來的載玻片兩端放置墊片玻片墊高，調整間隙大小，如圖 33。
3. 先在一邊滴 1%的異丙醇液滴(紅色)，再滴一滴 25%異丙醇液滴(藍色)
4. 在另一邊滴 1%的異丙醇液滴(紅色)，再滴一滴 25%異丙醇液滴(藍色)
5. 觀察 1%液滴是否受到影響並錄影記錄。
6. 改變間隙大小，重復 1~4。

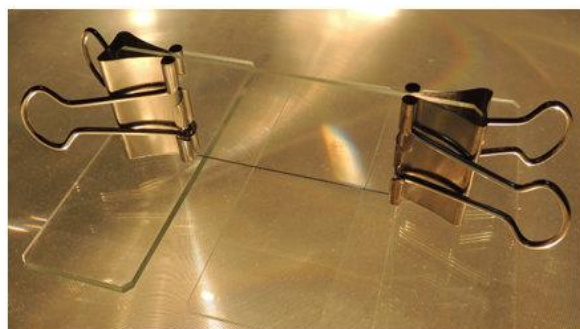


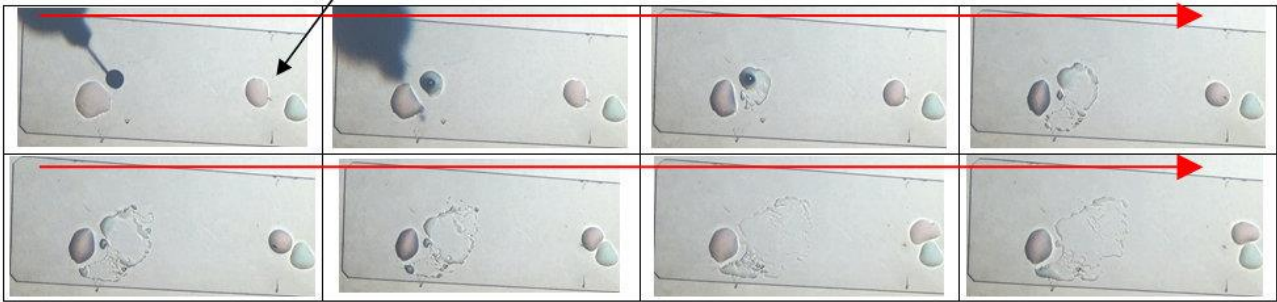
圖 33. 擋板玻片以燕尾夾夾住立起

我們選擇三種不同的間隙大小，一是沒有擋板玻片，相當於間隙無限大，二是一片玻片的厚度， 0.5mm ，三是一張紙的厚度，約 0.05mm 。

實驗結果：

(1) 沒有擋板，影片長度約 10 秒

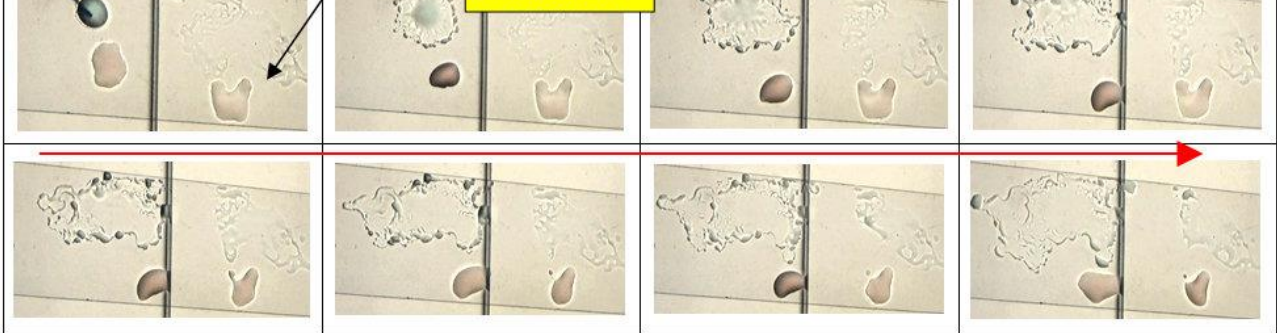
留意此液滴



左側的 25% 藍色液滴不只影響左側 1% 紅色液滴，也明顯的影響到右側的 1% 紅色液滴，因此遠距離的影響是存在的。

(2) 間隙 0.5 mm (1 個載玻片厚度)、影片長度約 10 秒

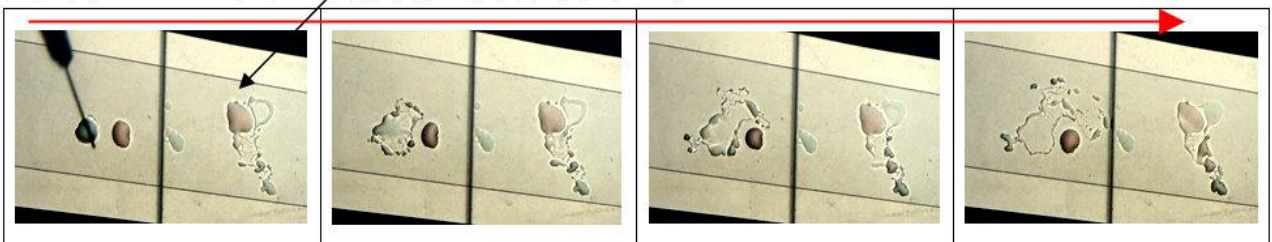
留意此液滴



左側的藍色 25% 異丙醇液滴一開始只影響同側的紅色 1% 異丙醇液滴，等到藍色液滴擴散到中間的擋板玻片時，右側的藍色液滴開始受到影響收縮起來，右側紅色 1% 異丙醇液滴也開始好像被吹向右方。

留意此液滴

(3) 間隙 0.05 mm (1 個紙片厚度)、影片長度約 12 秒



左側的藍色 25% 異丙醇液滴只影響同側的紅色 1% 異丙醇液滴，藍色液滴擴散到中間的擋板玻片時，右側的紅色 1% 異丙醇液滴也沒有受影響的感覺。

由以上實驗，我們認為異丙醇液滴的互動，應該是蒸發的氣體造成的，實驗時我們又發現另外一個現象可以佐證，就是 25% 異丙醇快要滴下去還在針尖上時，略為靠近 1% 液滴就會使 1% 液滴收縮了。

或許可以由此推測其它會互動的液滴是不是也可能是蒸氣的影響呢？

伍、 討論

在一開始進行實驗時，經常發生失敗的情況，烘烤後載玻片的溫度要冷卻到幾度才可以進行實驗呢，有時候液滴一滴下去很快就乾掉了，不會移動，所以後來都用紅外線溫度計測量玻片的溫度降溫到接近室溫時，才開始實驗。

發現不管是丙二醇、醋酸、甲醇、乙醇還是異丙醇，液滴發生推擠追逐現象時，一定是高濃度一滴推動低濃度液滴，這和我們猜測的蒸發造成的結果，又有矛盾的地方。因為甲醇、乙醇和異丙醇沸點低(分別是 64.7、78.4、82.6℃)，比水容易蒸發，但是醋酸和丙二醇的沸點各是 118.0℃ 和 188.2℃，沸點高於水，應該是水蒸發，所以結果應該要和異丙醇的情況不同，因此我們推測，可能除了蒸氣的原因，還有其他的因素尚未發現。

在實驗七中我們探討了改變溶質，發現常溫下溶質是液態的丙二醇、醋酸、甲醇、乙醇與異丙醇都會有液滴互動的情形，常溫下為固體的蔗糖、食鹽和氫氧化鈉就不會發生液滴互動，因此我們猜想溶質的溶點、沸點也是重要的因素，或許可以再嘗試其它如丙三醇或酸類溶質。

如果蒸發出來的蒸氣是重要因素，氣溫和溼度就是重要的變因，但是我們發現控制實驗室的溫濕度並不容易，所以我們盡量在同一天完成實驗，不要讓天氣變化太大。

如果蒸發出來的蒸氣是重要因素，氣溫和溼度就是重要的變因，但是我們發現控制實驗室的溫濕度並不容易，所以我們盡量在同一天完成實驗，不要讓天氣變化太大。

在實驗進行過程中，發現如果液滴滴下去，在載玻片上不會散開如圖 34，實驗就會失敗，液滴就不會移，如果液滴滴下去之後是散開的如圖 35，成功的機會就很大，因此我們也想要了解液滴在載玻片上攤開的程度與液滴互相追逐之間的關係。

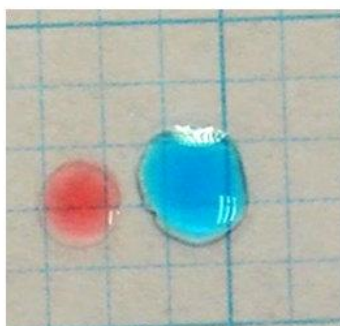


圖 34. 液滴不攤開，邊緣顏色深且不是圓形。



圖 35. 液滴攤開，液滴顏色淺且為圓形。

液滴滴下去之前為球形，滴到在玻片上為圓形，我們假設在玻片上的圓形為圓柱形，如果知道它的厚度，厚度越高，代表攤開程度越小，厚度越低代表攤開程度越大。

在滴下去之前先拍照，以比例尺的方式算出液滴的半徑大小，再算出液滴的體積，滴在載玻片上之後，再由影片中擷取影像，用相同方式算出圓形液滴的面積如圖 36，再利

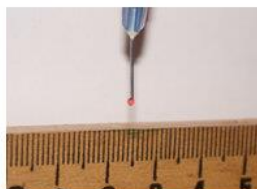


圖 36. 先測量液滴體積，再測量液滴面積，以便算出厚度，用來代表攤開程度。

，但是操作很繁瑣，玻片上的液滴也不是圓柱形，液滴的邊緣也不易判斷，所以我們就暫停此項目的探討。

陸、 結論

- 一、 實驗一我們發展出實驗的方法與工具，利用膠片投影機與微分頭針筒使我們方便觀察實驗結果。
- 二、 實驗二我們得知**載玻片一定要烘烤過**，且時間在 20 秒以上會比較穩定有成功的結果。
- 三、 實驗三可知丙二醇液滴大小不同都會發生分離推擠的現象，而小滴高濃度液滴會有全部推擠大滴的低濃度液滴的現象。
- 四、 由實驗五得知丙二醇液滴一開始邊緣的距離不能太遠，超過 4mm 以上就可能失敗。
- 五、 由實驗五得知丙二醇液滴在低濃度時，濃度差達 25%會有推擠追逐的現象，但在高濃度時就不會，濃度差達 25%的液滴會融合。
- 六、 實驗六得知丙二醇液滴在低濃度時，濃度差達 9%以上就會有推擠追逐的現象，濃度差在 8%以下的液滴會吸引融合。
- 七、 實驗七得知除了丙二醇，乙酸也有類似現象，而且似乎更明顯。另外甲、乙醇與異丙醇等醇類也有一點相似又不同的現象。而蔗糖、食鹽和氫氧化鈉則完全沒有類似現象。
- 八、 實驗八我們知道兩液滴即使溶質不同，也能發生推擠追逐的現象。
- 九、 實驗九我們發現異丙醇液滴的互相影響和應該和液滴蒸發的蒸氣有關係。

柒、 參考文獻

- 一、 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。
- 二、 甲醇、乙醇、異丙醇、丙二醇、醋酸，2016/3/25，取自維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B9%99%E9%86%87> 等。
- 三、 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，2015/9/15 取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-024.html>。
- 四、 Cira, N. J., Benusiglio, A., & Prakash, M. (2015). Vapour-mediated sensing and motility in two-component droplets. *Nature*, 519 (7544), 446–450.
- 五、 Tom Abate, Stanford researchers solve the mystery of the dancing droplets，2015/9/23，取自史丹福大學實驗網站，<http://news.stanford.edu/news/2015/march/dancing-droplets-prakash-031115.html>

【評語】 030202

此作品趣味性很高，作者變化不同條件下，觀察兩水滴在玻璃表面上或即或離的現象。此觀察存在一些物理原理，可能是蒸氣主導，可能是偶極作用力或擴散等現象。須再進一步探討這些現象。