

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 物理與天文學科

051805

液體跳跳樂-表面張力與二次觸水的探討

學校名稱：新北市立板橋高級中學

作者：  高二 伍禹丞  高二 劉 謙  高二 陳品洋	指導老師：  林天來  劉榮吉
---	-----------------------------

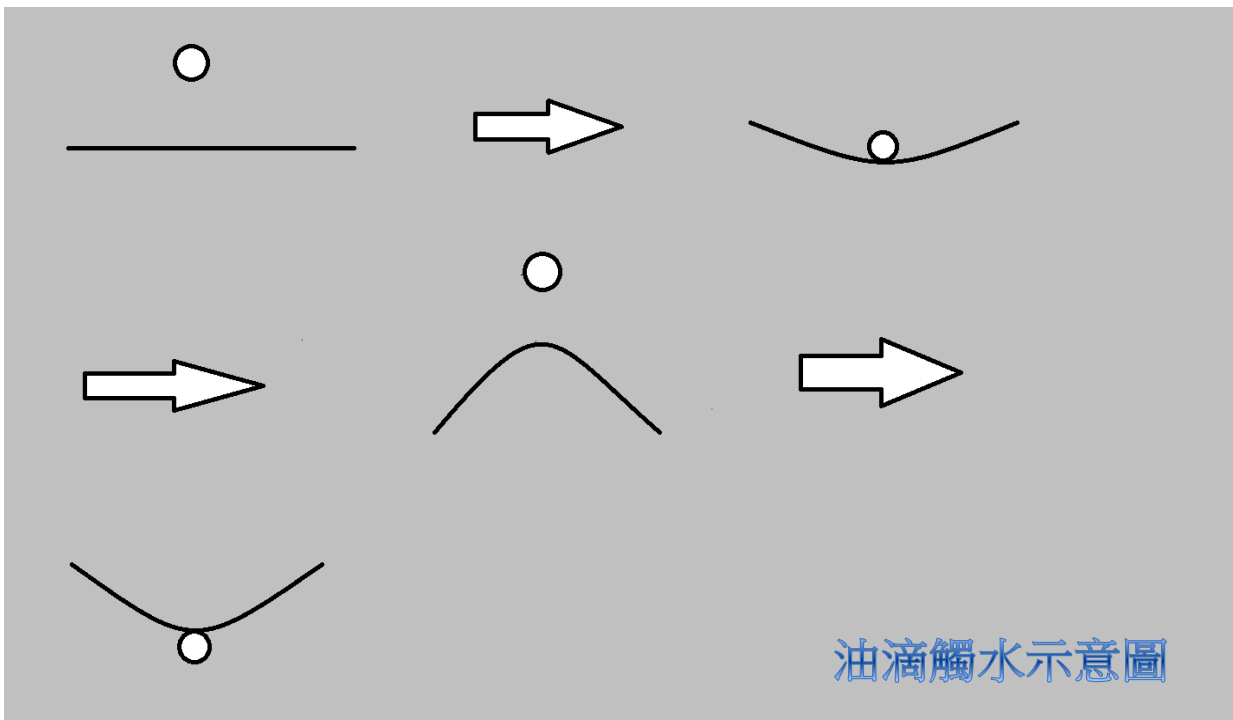
關鍵詞：液體碰撞、二次觸水穿透、表面張力

## 摘要

當液滴落下和水面第一次接觸時，因水的表面張力造成**液滴彈起**，第二次與水接觸時才**穿透**水面，我們做了幾個實驗發現表面張力與產生液滴彈起現象的最低落下高度有關，當表面張力越低時，能產生現象的最低高度也越低。若將液體換成油性**磁流體**，探討液滴彈起現象是否不同。

## 壹、研究動機

在日常生活中時常可以看到不同的液體碰撞，某次美術課洗顏料時注意到顏料滴入水中產生二次觸水穿透現象，因為好奇為什麼不是能量較大的第一次而是第二次落下時穿透，而且除了水的表面張力與不同液滴的變因是否會影響這個現象的發生。我們找了與油、磁流體不同的液體來做深入的研究。



## 貳、研究目的

- 一、以高速攝影機拍攝油滴穿透水面的過程。
- 二、探討影響油滴穿透水面的因素
  - (1)加入清潔劑改變表面張力
  - (2)加入鹽巴改變表面張力
- 三、將磁流體滴入水面探討二次觸水穿透現象是否發生

## 參、研究設備及器材

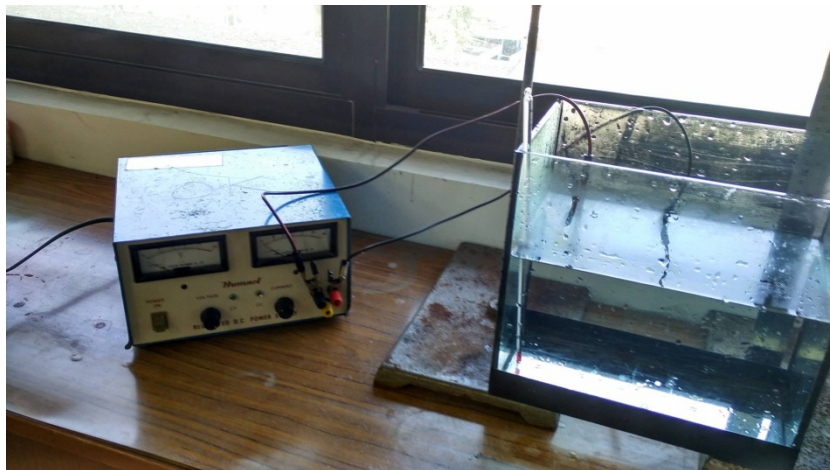
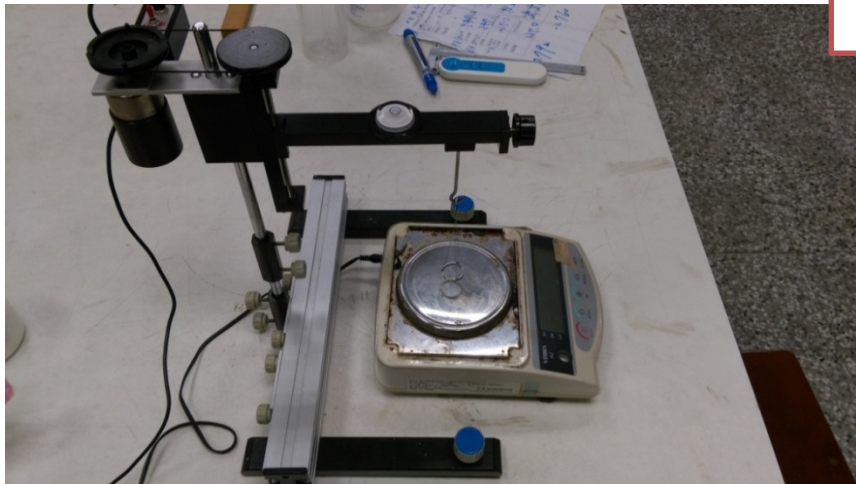
滴定管

### 一、實驗器材:

- ✓ 鹵素燈 X2
- ✓ 高速攝影機+腳架
- ✓ 長方體透明水缸
- ✓ 尺(100CM)
- ✓ 滴定管+固定架
- ✓ 溫度計
- ✓ 表面張力測量儀+水平儀
- ✓ 電子秤
- ✓ 玻棒
- ✓ 電源供應器+鱷魚夾\*2



高速攝影機



## 肆、研究過程與方法

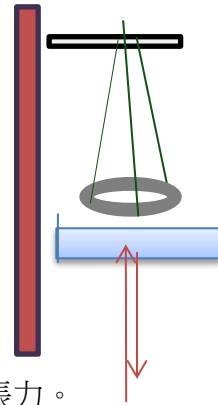
### 一、 測量表面張力

(1) 將自來水或油放入培養皿中，放上電子秤開啟表面張力儀器，讓鐵環非常緩慢降下至液體中，待至鐵環完全落入液體中，紀錄電子秤讀數，接著將鐵環極度緩慢地拉起直至鐵環表面薄膜破裂，紀錄液膜破裂瞬間讀數，接著便可利用公式計算其表面張力。

(2) 計算表面張力

$$\text{公式： } T = \frac{(F-W) \times g}{2\pi(r_1+r_2)} \left( \text{單位：} \frac{\text{dyne}}{\text{cm}} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \text{總重} - \text{液膜破裂瞬間讀數} \\ W = \text{圓環質量(g)} \\ g = 980 \text{ cm/s}^2 \\ r_1 = \text{圓環內徑(cm)} \\ r_2 = \text{圓環外徑(cm)} \end{array} \right.$$



(3) 在自來水中加入洗碗精或鹽，重複(1)(2)測量表面張力。

(4) 將自來水更換為油，重複(1) (2)測量表面張力。

(5) 將油更換為磁流體，重複(1) (2)測量表面張力。

### 二、 實驗步驟:

(1) 實驗 NO.1: 測量油滴和磁流體的平均體積與質量

- 將油滴、磁流體倒入量筒 10ml，用電子秤計算重量，算出密度
- 將液體裝入滴定管，再將滴定管中的液體滴入培養皿 10 滴，用電子秤測量重量，運用 a 步驟的密度，即求出每滴液體平均體積與重量。

(2) 實驗 NO.2: 測量油滴的二次觸水穿透現象的最低高度

- 將滴定管內的油滴入水缸中，使用高速攝影機拍攝，觀察是否產生二次觸水穿透的現象。
- 以 0.5cm 為單位調低高度，重複步驟 a，直至二次觸水穿透現象消失。
- 逐次加入 5ml 洗碗精改變表面張力，重複步驟 a、b。
- 逐次加入 10g NaCl 改變表面張力，重複步驟 a、b。

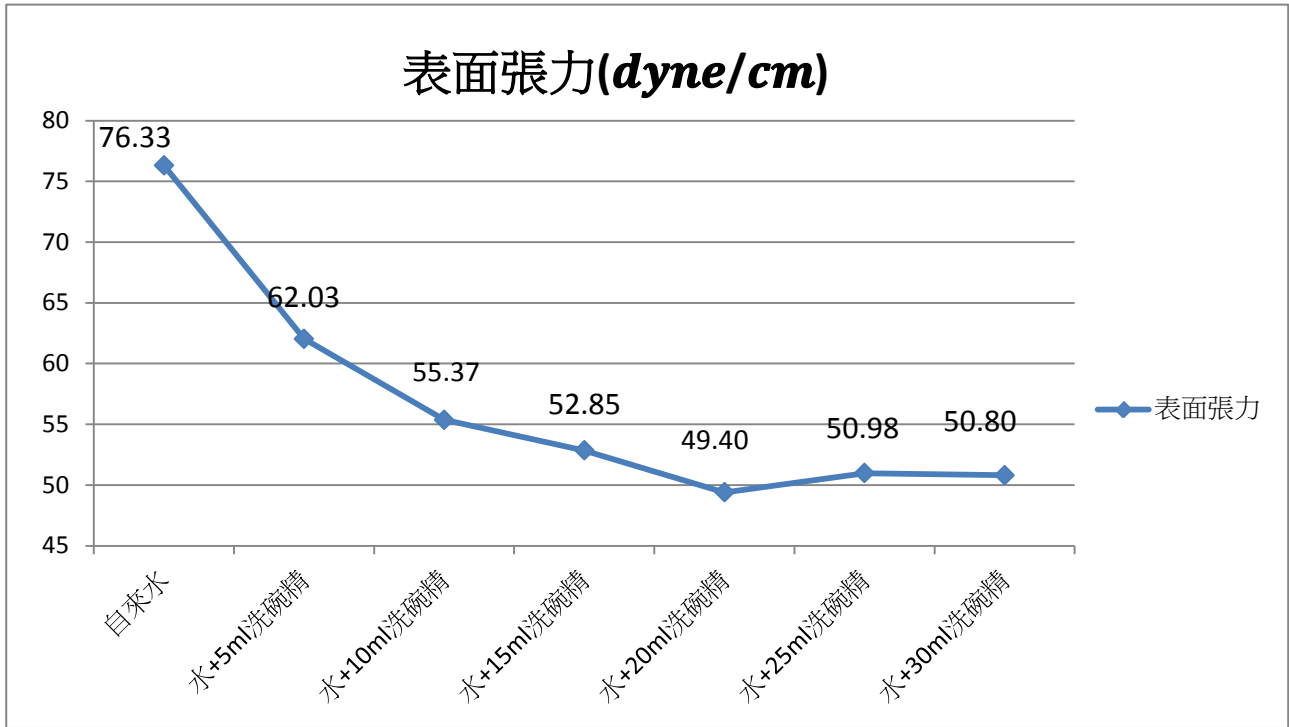
(3) 實驗 NO.3: 測量磁流體的二次觸水穿透現象的最低高度

- 將磁流體滴入水中，用高速攝影機拍攝，觀察是否產生二次觸水穿透的現象。
- 以 0.5cm 為單位調低高度，重複步驟 a，直至二次觸水穿透現象消失。
- 將被滴入磁流體的液體改成 5g 鹽+5L 水，通過 5V 的電，計算改變的表面張力並重複步驟 a、b

## 伍、研究結果

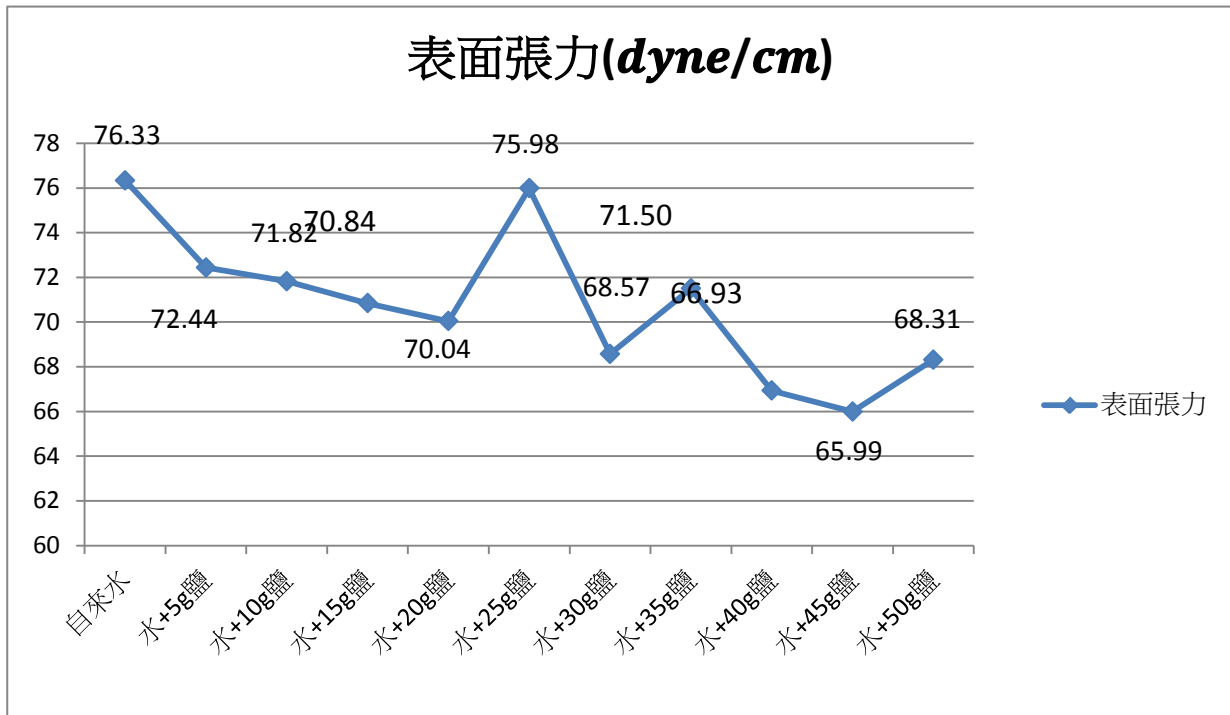
結果一：表面張力

(1)水(5L)+洗碗精(攝氏 25 度)



表面張力 dyne/cm	
自來水(5L)	76.33
水+5ml 洗碗精	62.03
水+10ml 洗碗精	55.37
水+15ml 洗碗精	52.85
水+20ml 洗碗精	49.4
水+25ml 洗碗精	50.98
水+30ml 洗碗精	50.80

(2)水(5L)+鹽(攝氏 25 度)



	表面張力	單位 $\frac{dyne}{cm}$
自來水(5L)	76.33	
水+5g 鹽	72.44	
水+10g 鹽	71.82	
水+15g 鹽	70.84	
水+20g 鹽	70.04	
水+25g 鹽	75.98	
水+30g 鹽	68.57	
水+35g 鹽	71.50	
水+40g 鹽	66.93	
水+45g 鹽	65.99	
水+50g 鹽	68.31	

結果 NO.1：滴入液體的平均體積與質量

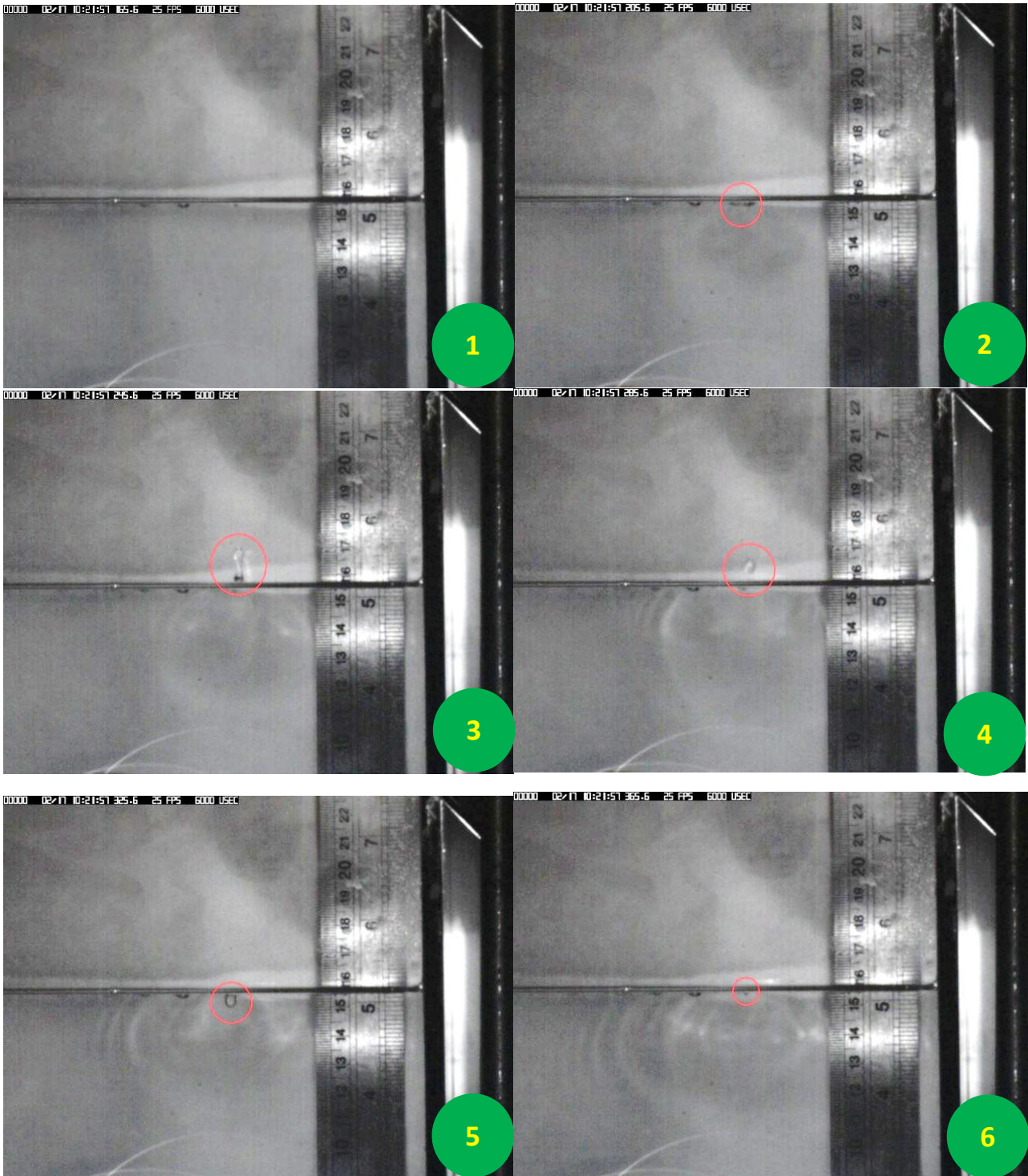
- ∞ 油密度 0.8g/ml
- ∞ 10 滴油滴重量 0.165g
- ∞ 油滴平均體積 0.021ml
- ∞ 油的表面張力  $56.04 \frac{dyne}{cm}$
- ∞ 磁流體密度 0.94g/ml
- ∞ 3 滴磁流體重量 0.06g
- ∞ 磁流體平均體積 0.021ml
- ∞ 磁流體的表面張力  $55.39 \frac{dyne}{cm}$



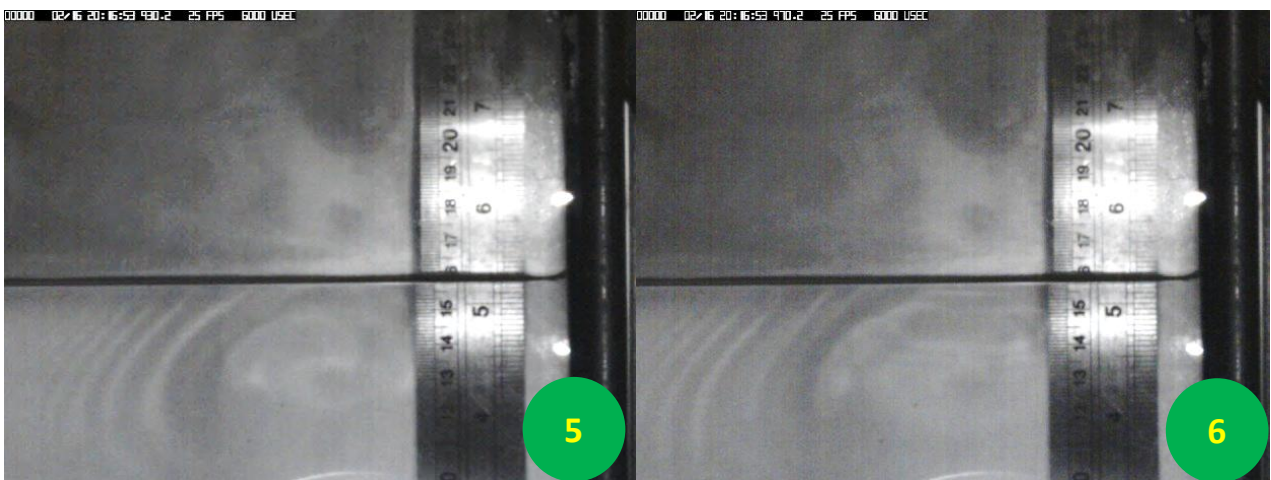
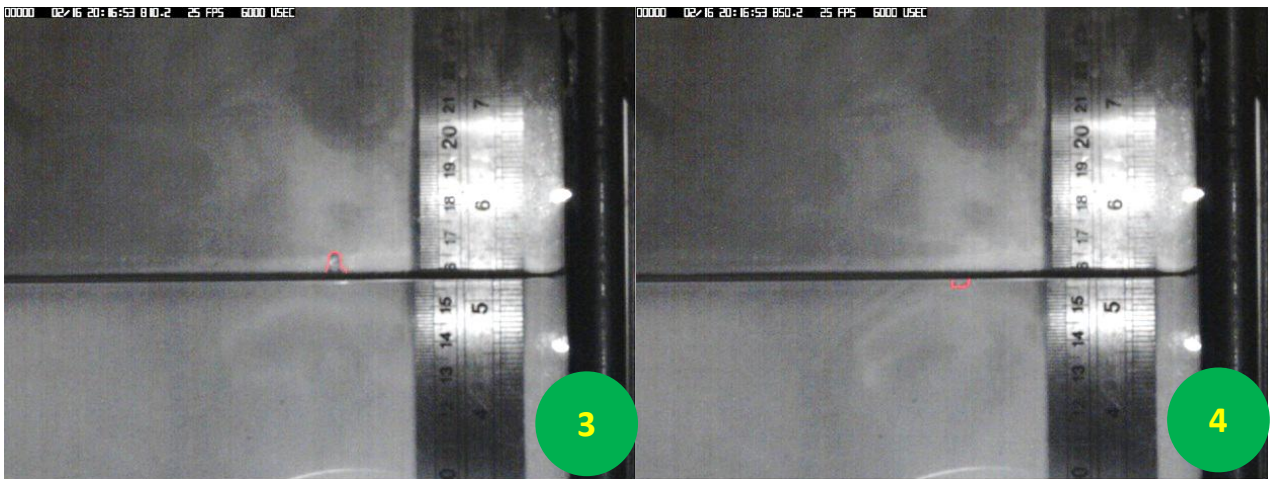
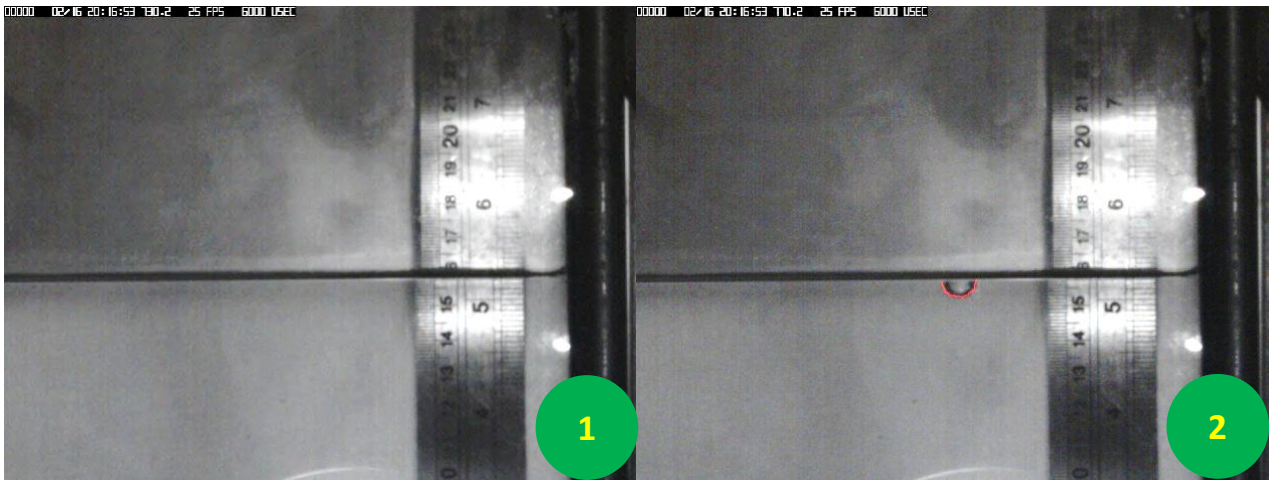
結果 NO.2：油在不同高度滴入不同液體有無產生二次觸水穿透現象

(1) 油滴入水

明顯二次觸水穿透現象 油滴明顯穿透水面(高度 35cm)



不明顯二次觸水穿透現象，現象微弱且無法固定出現  
(高度 24.5cm)





無二次觸水穿透現象，僅出現水波 (水 24cm)



油滴入水

cm \	水
80	有
70	有
60	有
50	有
40	有
30	有
20	無
10	無

發現 20~30 公分有明顯變化

cm \	水
30	有
29.5	有
29	有
28.5	有
28	有
27.5	有
27	有
26.5	有
26	有
25.5	微
25	微
24.5	微
24	無
23.5	無
23	無
22.5	無

20~30 公分間詳細數據

(2)油滴入水(5L)+洗碗精

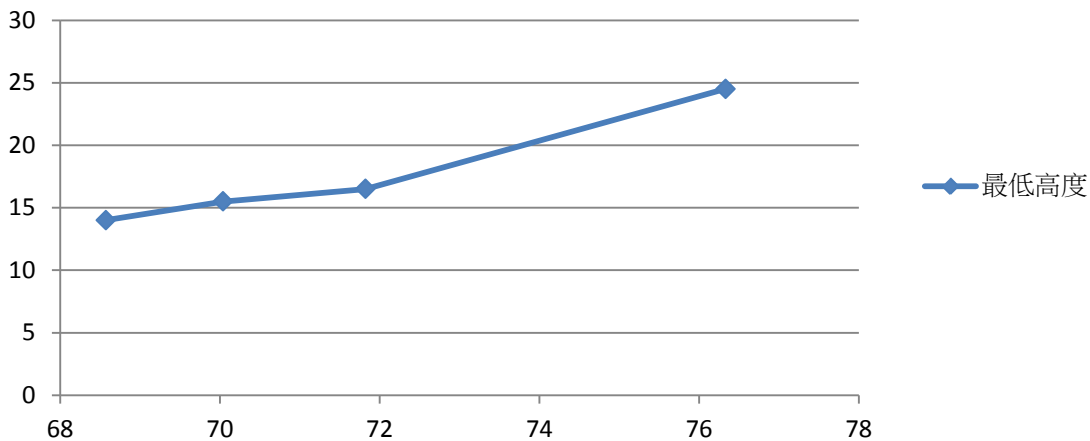
cm \	水+5ml 洗碗精	水+10ml 洗碗精	水+15ml 洗碗精	水+20ml 洗碗精	水+25ml 洗碗精	水+30ml 洗碗精
24	有					
23.5	微					
23	微					
22.5	微	有				
22	無	有				
21.5	無	有				
21	無	有	有			

20.5	無	微	有			
20	無	微	有	有		
19.5	無	微	有	有		
19	無	微	微	有	有	
18.5	無	微	微	有	有	
18		微	微	微	有	有
17.5		無	無	微	有	有
17		無	無	微	有	有
16.5		無	無	微	微	有
16		無	無	微	微	微
15.5			無	無	微	微
15				無	微	微
14.5				無	無	微
14				無	無	微
13.5					無	無
13					無	無
12.5					無	無
12					無	無
11.5						無
11						無
10.5						無
10						無

(3)油滴入水(5L)+鹽

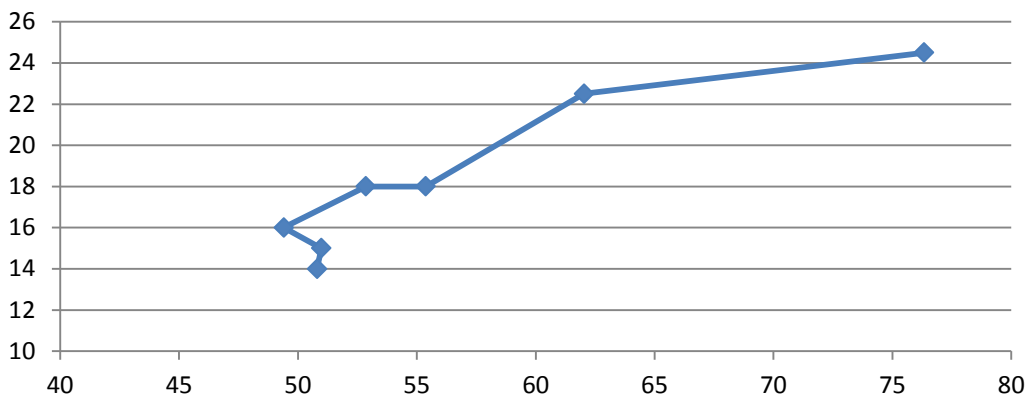
cm	水+10g 鹽	水+20g 鹽	水+30g 鹽
20	有		
19.5	有		
19	有		
18.5	有		
18	有	有	
17.5	微	有	
17	微	有	有
16.5	微	有	有
16	無	微	有
15.5	無	微	有
15	無	無	微
14.5	無	無	微
14		無	微
13.5		無	無
13			無
12.5			無

水(5L)+鹽 表面張力(*dyne/cm*)與最低高度之較



	表面張力	最低高度
水(5L)	76.33	24.5
水+10g 鹽	71.82	16.5
水+20g 鹽	70.04	15.5
水+30g 鹽	68.57	14

水(5L)+洗碗精 表面張力(*dyne/cm*)與最低高度之比較



水(5L)

	表面張力	最低 cm 高度
水	76.33	24.5
水+5ml 洗碗精	62.03	22.5
水+10ml 洗碗精	55.37	18
水+15ml 洗碗精	52.85	18
水+20ml 洗碗精	49.4	16
水+25ml 洗碗精	50.98	15
水+30ml 洗碗精	50.8	14



結果 NO.3 磁流體在不同高度滴入不同液體有無產生二次觸水穿透現象(穿透)

(1)磁流體滴入水(5L)

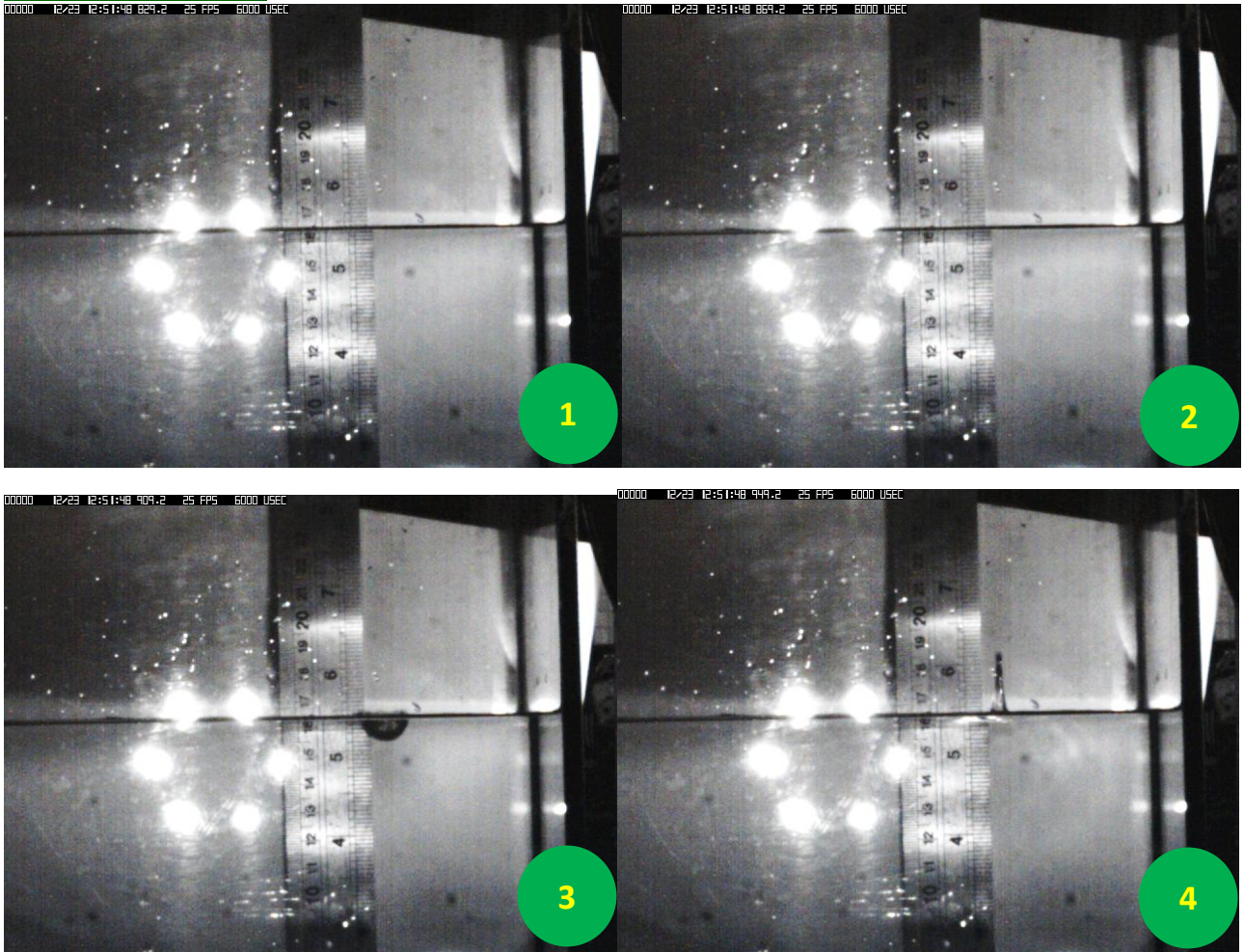
cm	水 5L 不通電
80	彈起碎裂+部分穿透
70	彈起碎裂+部分穿透
60	彈起碎裂+部分穿透
50	彈起碎裂+無法穿透
40	彈起碎裂+無法穿透
30	彈起碎裂+無法穿透
20	彈起碎裂+無法穿透
10	無碎裂+無法穿透

cm	水 5L 不通電
59.5	彈起碎裂+部分穿透
59	彈起碎裂+部分穿透
58.5	彈起碎裂+部分穿透
58	彈起碎裂+部分穿透
57.5	彈起碎裂+部分穿透
57	彈起碎裂+部分穿透
56.5	彈起碎裂+部分穿透
56	彈起碎裂+部分穿透
55.5	彈起碎裂+部分穿透
55	彈起碎裂+部分穿透
54.5	彈起碎裂+部分穿透
54	彈起碎裂+部分穿透
53.5	彈起碎裂+部分穿透
53	彈起碎裂+穿透不明顯
52.5	彈起碎裂+穿透不明顯
52	彈起碎裂+無法穿透
51.5	彈起碎裂+無法穿透
51	彈起碎裂+無法穿透
50.5	彈起碎裂+無法穿透

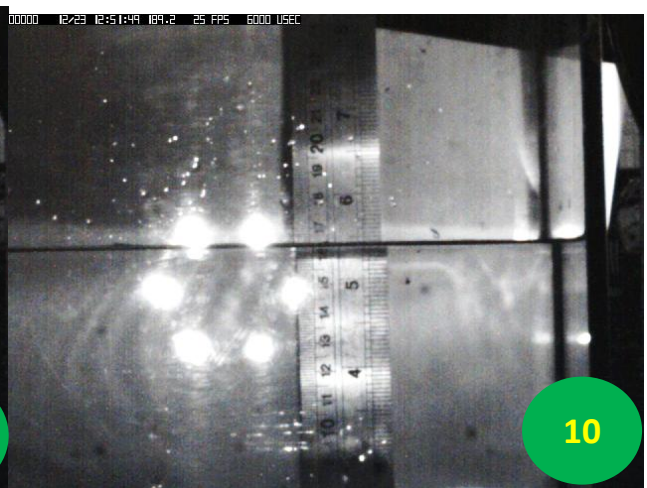
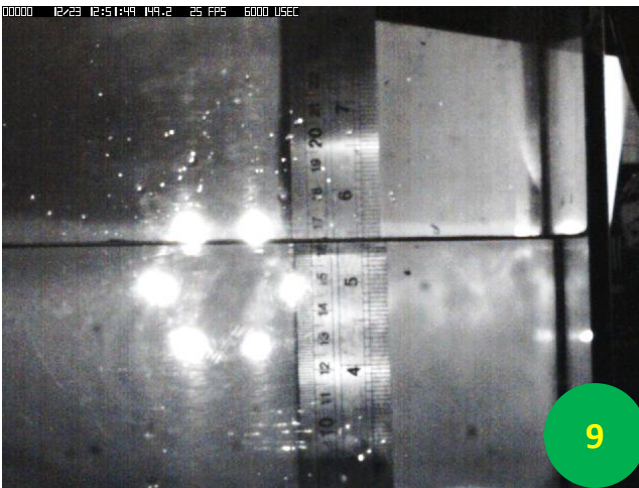
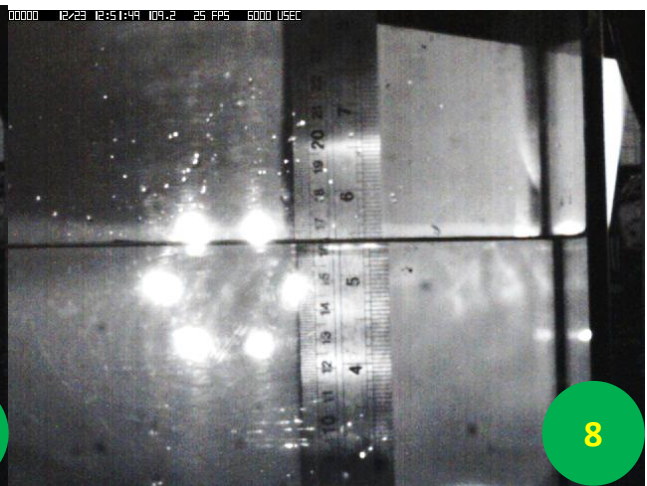
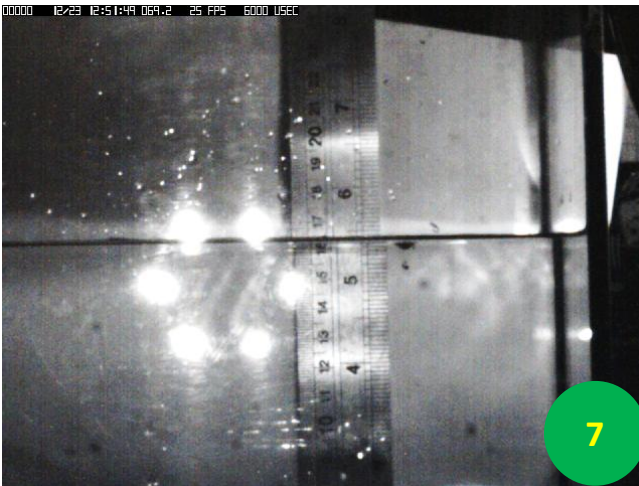
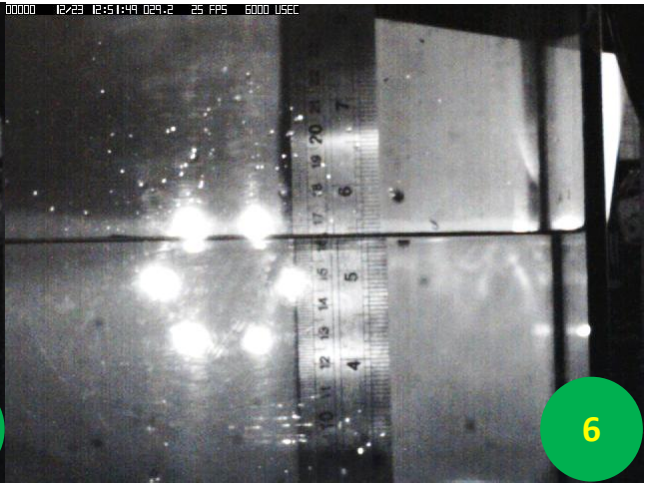
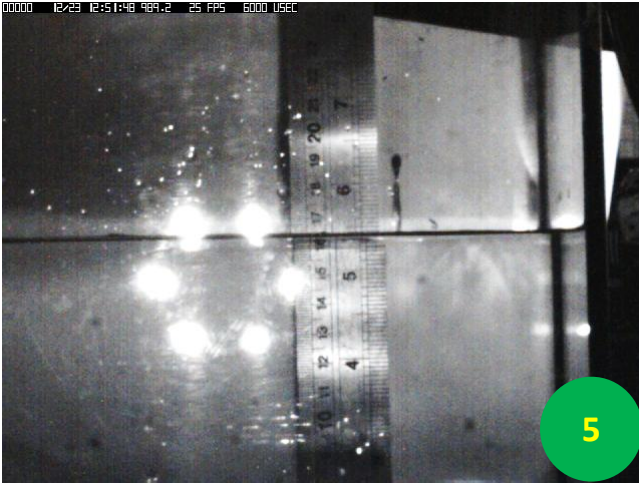
cm	水 5L 不通電
19.5	彈起碎裂+無法穿透
19	彈起碎裂+無法穿透
18.5	彈起碎裂+無法穿透
18	彈起碎裂+無法穿透
17.5	彈起碎裂+無法穿透

17	彈起碎裂+無法穿透
16.5	彈起碎裂+無法穿透
16	彈起碎裂+無法穿透
15.5	彈起碎裂+無法穿透
15	彈起碎裂+無法穿透
14.5	彈起碎裂+無法穿透
14	彈起碎裂+無法穿透
13.5	彈起碎裂+無法穿透
13	彈起碎裂+無法穿透
12.5	彈起碎裂+無法穿透
12	彈起碎裂+無法穿透
11.5	無碎裂+無法穿透
11	無碎裂+無法穿透
10.5	無碎裂+無法穿透

彈起碎裂+部分穿透



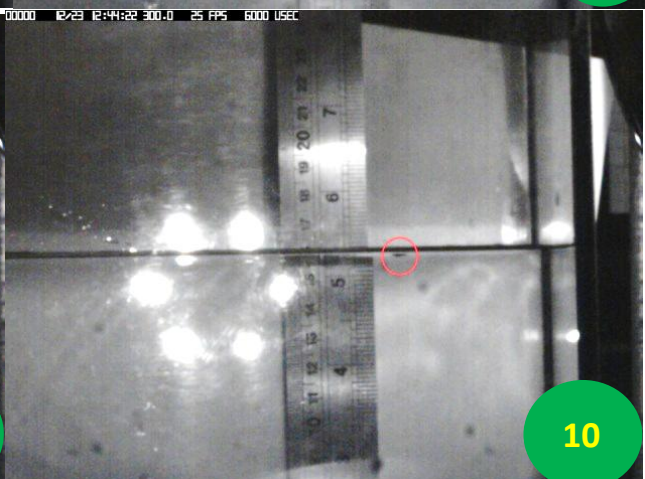
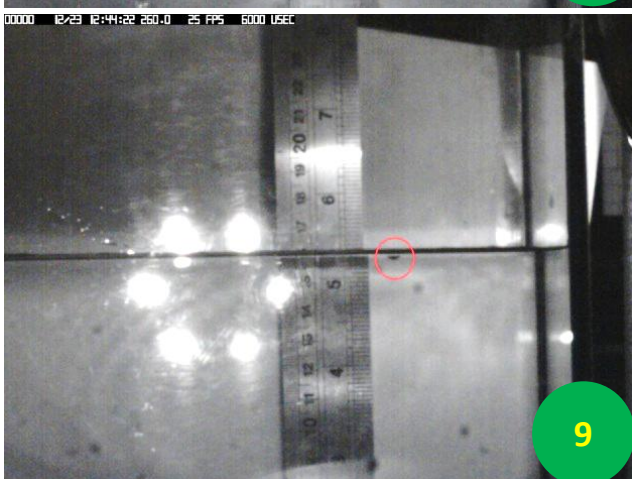
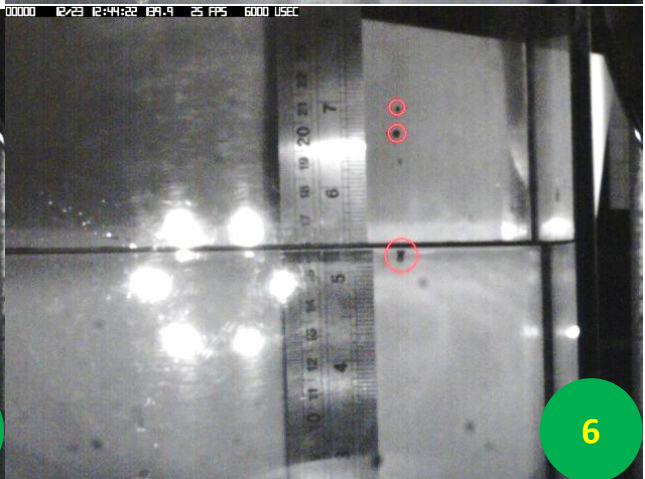
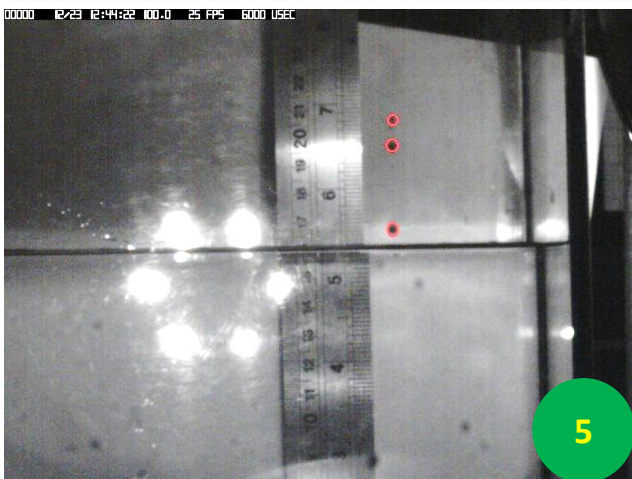
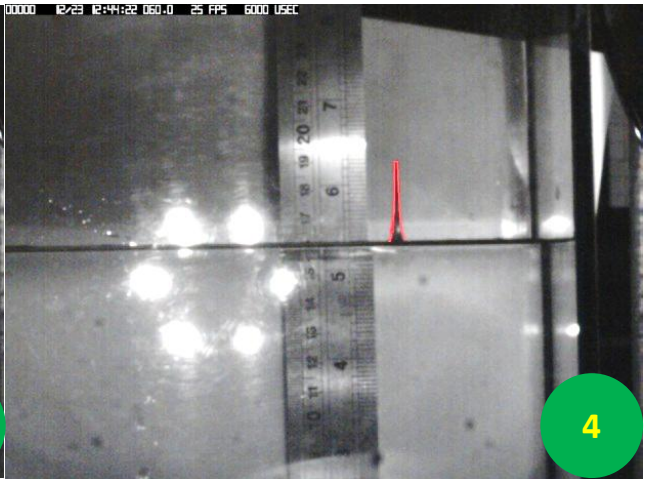
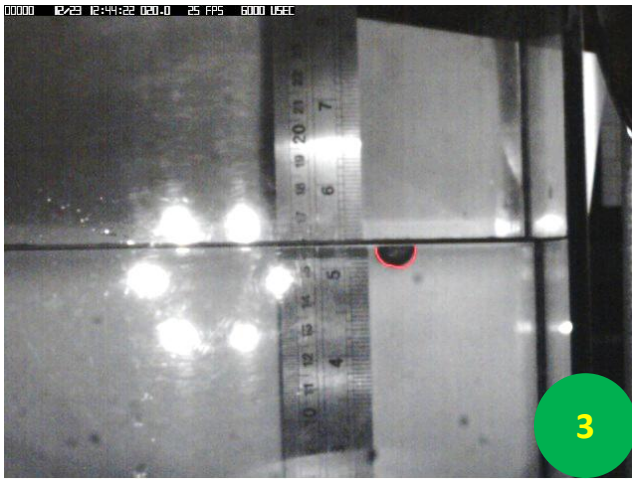




彈起碎裂+無法穿透









磁流體滴入鹽水(5gNaCl+5L 水)

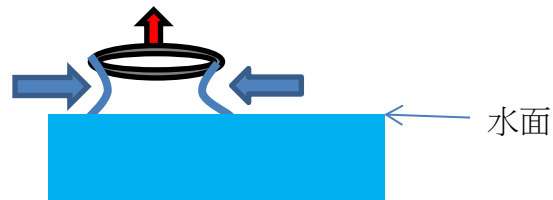
cm	不通電	通電(1 分鐘)
80	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
70	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
60	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
50	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
40	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
30	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+無法穿透
20	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+無法穿透
10	無碎裂+無法穿透	彈起碎裂+無法穿透

cm		
39.5	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
39	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
38.5	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
38	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
37.5	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
37	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
36.5	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
36	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
35.5	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
35	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
34.5	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
34	彈起碎裂+部分穿透	彈起碎裂+部分穿透
33.5	彈起碎裂+穿透不明顯	彈起碎裂+部分穿透
33	彈起碎裂+穿透不明顯	彈起碎裂+部分穿透
32.5	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+部分穿透
32	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+部分穿透
31.5	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+穿透不明顯
31	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+無法穿透
30.5	彈起碎裂+無法穿透	彈起碎裂+無法穿透

## 陸、討論

### 一、表面張力的極值

我們發現洗碗精加入水能降低的表面張力有限，大約在  $50 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}}$  上下就幾乎沒有變化，我們推測是因為測量時鐵環上升拉起液膜，液膜會向中間凹陷，鐵環上升到達一定高度時，液膜就會碰到形成泡泡，等於液膜破裂瞬間，在水加入較高濃度洗碗精的實驗中，形成泡泡時鐵環拉起的高度相差無幾，導致測量出的表面張力變化不大，但油滴的二次觸水穿透現象還是會被洗碗精的濃度影響，因為油滴落下時觸碰到的深度比起鐵環較多。



### 二、洗碗精是否會影響油滴的性質

我們推測當油滴落下接觸到洗碗精時，洗碗精包覆油滴，可能影響之後彈跳或穿透水面，在較低高度的實驗下，使第二次入水的油滴無法浮起和水面貼齊。

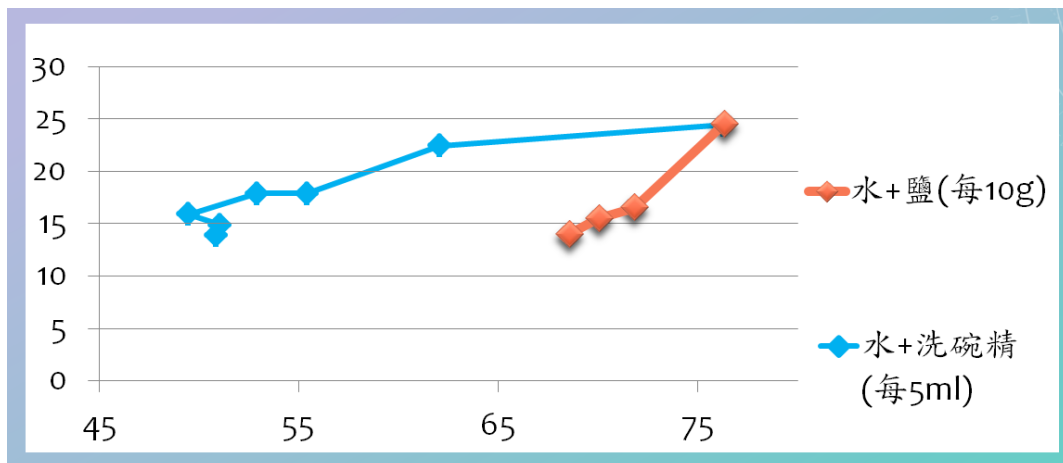
### 三、鹽水表面張力不隨濃度上升而下降

我們重複測量不同濃度的鹽水，發現表面張力並無一定的趨勢，上網查後發現不同濃度的鹽水表面張力上下起伏，我們還在嘗試找出其中的規律。

### 四、濃度和表面張力的關係

水加入洗碗精和鹽相同的點是在濃度低時表面張力變化比較大，我們未來期許能找到現象解釋。

### 五、表面張力與落下高度比較的趨勢，圖中可以看到洗碗精較鹽能影響表面張力

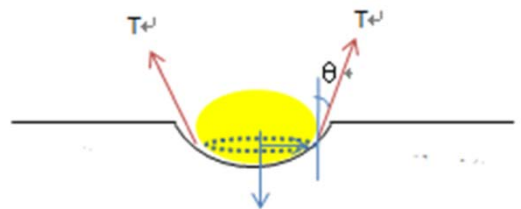


### 六、表面張力的能量公式 (設落下液體皆為橢球體中的扁球面 長=寬，並一半接觸水面時)

$$F_{\uparrow} = T \cos\theta \times (2\pi\gamma)$$

$$T = \frac{2U_1}{S} = \frac{F_{\uparrow}}{\ell}$$

$F_{\uparrow}$  垂直力  $T$  表面張力  $U_1$  表面能  $S/2$ =接觸表面積  $\text{cm}^2$



$$S \approx 4\pi \left( \frac{a^p b^p + a^p c^p + b^p c^p}{3} \right)^{\frac{1}{p}}$$

橢球體表面積公式: a,b,c 橢球體長寬高  $P \approx 1.6075$

七、撞擊中的能量變化(落到水面時位能全部轉成動能)

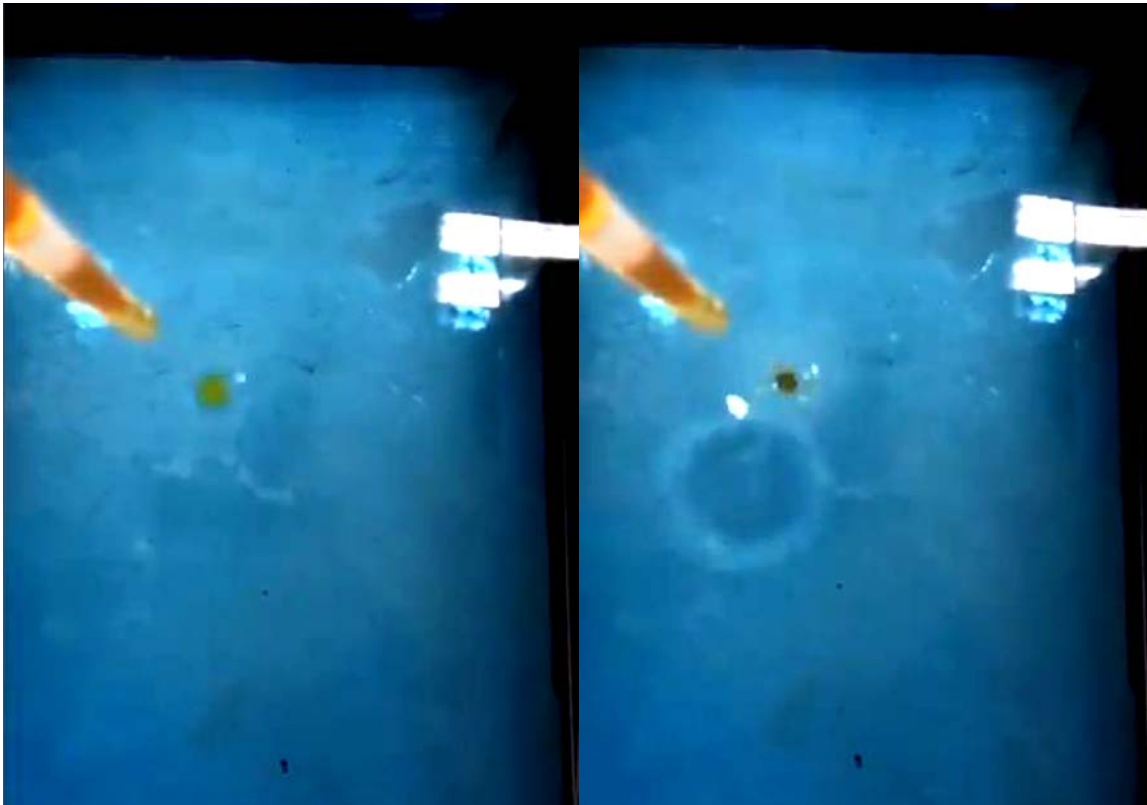
油滴重力位能=動能  $U_2 = m_{油}gh_1$   $m_{油}$  油滴質量  $g$  重力常數  $\sim 980 \text{ cm/s}^2$   $h_1$  最低高度  $\text{cm}$

表面能  $U_1$ -油滴動能  $U_2$ =表面張力給油滴和液面向上的能量  $U_3$

但計算之後發現表面能不只向上給予能量，也會向兩旁給予波能量，甚至也會向下給水面能量，因此這計算方式有誤差，仍需改進。

八、滴入液體時出現的渦旋

我們發現液滴第一次落水時會出現小漩渦，推測是卡門渦街，漩渦造成的水面波動可能引響液滴第二次落水時是否穿透。



卡門渦街 (Kármán vortex street、von Kármán vortex sheet) 頻率公式

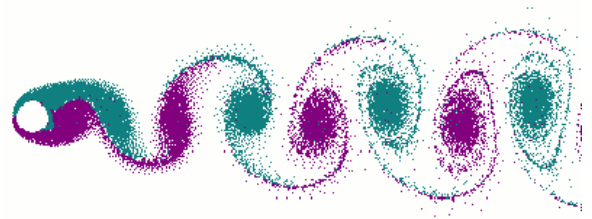
$$f = SrV/d$$

$f$ =卡門渦街頻率

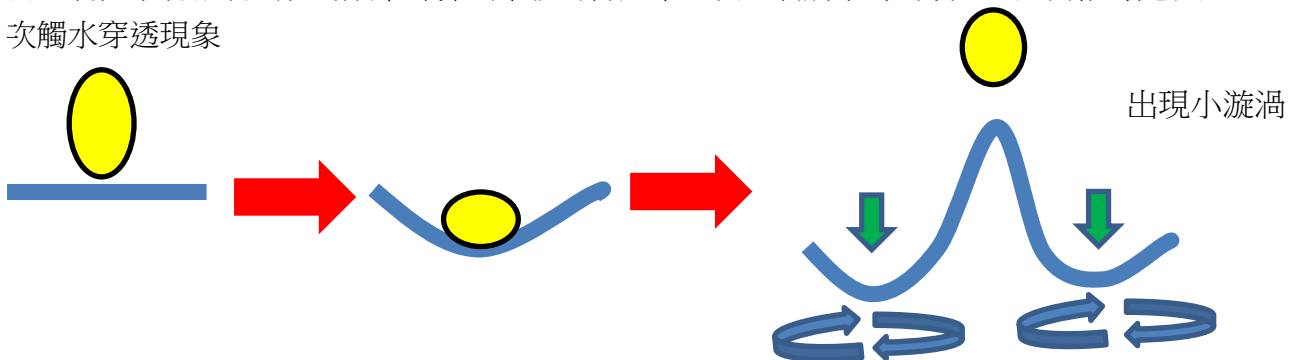
$Sr$ =斯特勞哈爾數 ( $\sim 0.2$ ) (黏滯係數)

$V$ =流體速度 (液滴落下速度)

$d$ =阻流體迎面寬度 (橢球體  $a$ )

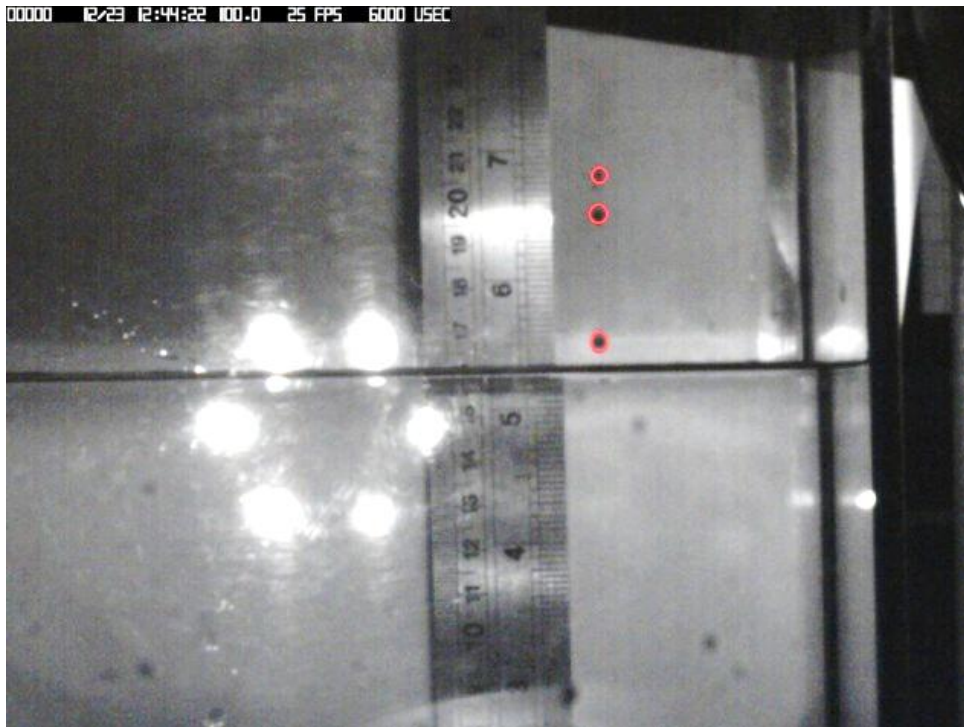


當油滴撞擊將漩渦出現的頻率計算出來就可得知第二次油滴觸水時的波面，進而推導是否產生二次觸水穿透現象



## 九、磁流體和油滴的表面張力相近

但磁流體彈起液柱時較易碎裂，導致無法穿透或部分穿透，原因可能是磁流體為長條狀時較易分開。



## 十、磁流體的磁性分子互相的吸引力會引響表面張力

我們用加熱的方式將磁流體的磁力消除，但成效不佳。

## 十一、磁流體滴入通電後的鹽水較沒通電的鹽水彈起後更碎裂

產生二次觸水穿透的最低高度更低，我們推測是電流產生的磁場引響磁流體成形或是拉得更長，而體積較小的液滴穿過水面需要的能量較低。

## 柒、結論

- 一、表面張力降低，二次觸水穿透現象的最低高度也會隨之降低。
- 二、水加入鹽或洗碗精，表面張力不隨著濃度上升而比例下降。
- 三、二次觸水穿透現象的產生的原因之一是油滴第二次落水時呈球狀，和原先的橢球狀不同。
- 四、第一次觸水後水面所形成的渦漩和波形會引響第二次觸水是否穿透。
- 五、磁流體性質與油迥異，在相同表面張力的情況下，產生現象的最低高度不同。
- 六、磁流體在滴入水中後會彈起碎裂，碎裂後的小液滴比起油滴穿透
- 七、在水中通電會使彈起的磁流體更易碎裂。



## 捌、參考資料及其他

1.中山女高 15 屆數資成發作品

<滴水・水滴—探討水面情況對水滴彈跳情形之影響>

2.板橋高中 25 屆數資成發作品

<空間穿越—油滴二次觸水的穿透現象>

3.中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

<被忽略的神秘力量-表面張力>

4. 維基百科

橢球體公式

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A4%AD%E7%90%83>

卡門渦街

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8D%A1%E9%97%A8%E6%B6%A1%E8%A1%97>

## 【評語】 051805

實驗數據的解讀宜更深入探討，像鹽水進入水中產生錯合物之推論是否有依據，水珠進入水中時的卡門渦街解釋應更深入討論，這個實驗有再改良的價值，可以再努力。