

# 目錄

壹、摘要	P2
貳、研究動機	P2
參、研究目的	P2
肆、研究設備與器材	P2
伍、研究過程與方法	P3
陸、研究結果	P7
一、〈實驗四〉的實驗結果	P7
二、〈實驗五〉的實驗結果	P10
三、〈實驗六〉的實驗結果	P12
四、〈實驗七〉的實驗結果	P14
五、〈實驗八〉的實驗結果	P17
柒、實驗討論	P19
捌、結論	P22
玖、參考資料	P22

# 力爭”向上”的水滴

## 壹、摘要

我們整個研究的主題，是利用板子振動的方式，使板子上的水滴往高處方向移動。實驗發現水滴向上爬升的速率與板子的振動頻率有關，接著我們增加板子的重量，結果讓水滴產生最大爬升速率的振動頻率反而降低。實驗裡，可以向上爬升的水滴直徑都超過 0.2cm，水滴太小或太大都會造成爬升速率較慢或者不會有爬升的效果。另外也發現，採用不同成份液體做為爬升的液滴，會有不同的爬升速率，代表表面張力在水滴爬升的過程中，扮演很重要的角色。把水滴滴在塑膠、不鏽鋼金屬及銅金屬等三種不同的表面上，發現水滴會有不同的爬升速率，表示水滴與接觸面材質之間的附著力會影響水滴的爬升。我們也對液滴向上爬升的現象，進行攝影分析，並提出了解釋。

## 貳、研究動機

無意間，看到上一屆學長姊的科展資料報告[1]，看到他們能以加熱的方式，使水滴在金屬的階梯表面上往高處爬升，便想說，若要使水滴往高處爬升，一定要用加熱的方式嗎？也許不一定吧！其他方式或許也行。因此，我們花了很多時間上網查詢，直到看到了一則相關報導[2]，找到一篇國外的相關網站[3]，發現國外已經有科學家正在做相關的研究，他們能讓水滴在特定的條件下，利用振動的方式使水滴往上爬升，而他們指的特定條件，更是吸引著我們，因為他們都沒有相關的內容說明，加上目前也還沒有理論可以說明這樣的機制，於是我們想找出他們所說的特定條件，並了解水滴在振動的板子上會往上爬升的原因，進而開始了一連串的實驗。

## 參、研究目的

- 一、找到可以使水滴往上爬升的振動條件（條件有：水滴大小、振動頻率、不同的液體、不同的附著力、不同的表面張力）。
- 二、了解水滴往高處爬升的原因。

## 肆、研究設備及器材

- 一. 喇叭，如圖一。
- 二. 訊號產生器一台，如下頁圖二。
- 三. 訊號擴大機一台，如下頁圖三。
- 四. 角鐵數支。
- 五. 鐵絲、螺絲、螺帽組合數個角鐵。
- 六. 延長線
- 七. 尺，最小刻度為 0.1 公分。



圖一

- 八. 不鏽鋼、銅金屬片及塑膠中空板。
- 九. 實驗裝置全圖，如圖四、圖五、圖六。
- 十. 600 萬畫素照相機，具有攝影功能，如圖七。



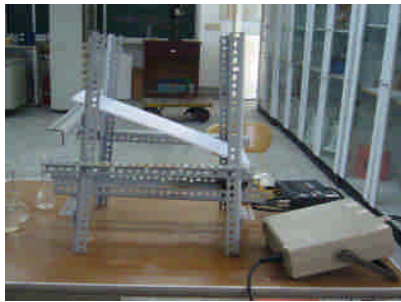
圖二



圖三



圖四



圖五



圖六



圖七

## 伍、研究過程與方法

### 實驗一

此實驗方式並未成功

#### 實驗步驟：

- 1、一開始我們使用八個彈簧和一片不鏽鋼板，不鏽鋼板四個角落上下各接上一條彈簧。
- 2、使不鏽鋼板面傾斜 5 度、10 度、20 度及 30 度。
- 3、上下拉動不鏽鋼板，讓不鏽鋼板產生上下振動。但水滴都一直爬不上去。
- 4、我們討論後認為不鏽鋼板太重，於是改用輕材質的塑膠板。
- 5、經過我們長時間多次實驗與嘗試各種材質的板子，水滴還是一直爬不上去。
- 6、於是我們思考改以其他方式來使水滴振動。

## 實驗二

### 此實驗方式並未成功

#### 實驗步驟：

- 1、我們決定使用減速馬達或電風扇馬達來帶動金屬板子振動，並以角鐵將金屬板架起。
- 2、使不鏽鋼板傾斜 20 度。
- 3、改用輕材質的塑膠板。
- 4、經過我們長時間多次實驗與嘗試各種材質的板子，包括塑膠板子，水滴都一直爬不上去。
- 5、我們思考改以其他方式來使水滴震動。我們想說實驗之所以不成功，可能是振動頻率不夠大，於是我們進行以下的實驗，以力求突破。

## 實驗三

### 此實驗方式並未成功

#### 實驗步驟：

- 1、無意間發現了電鋸，電鋸不僅可以快速振動而且可以控制頻率快慢。應該是一個很好的振動工具。
- 2、於是我們在電鋸上稍微做改變，把振動板子黏附上去。藉由鋸子帶動板子，使板子快速而有規律的振動。
- 3、然而經過我們長時間多次實驗，嘗試各種振動頻率、材質的板子、改變板子傾斜度等方式，水滴還是一直沒有爬上去。
- 4、經過這麼多次實驗以及花了我們很多時間，始終都沒有突破，令我們相當氣餒。
- 5、不過我們仍然不放棄，上網查詢是否還有更好的振動方式，最好是有規律的振動，而且頻率若是可以控制的最好。
- 6、我們也猜測板子重量可能太重，於是去購買塑膠中空板，重量減到最輕。
- 7、我們小組成員與指導老師一直在進行腦力激盪，過程中，老師建議我們可以採用音響的喇叭來做為振動的工具，於是我們進行以下的實驗。

## 實驗四

### 找出可以使水滴向上爬升的振動條件

#### (一)控制變因：

- 1、板子材質為塑膠中空板，板子重量為 82.69 公克。
- 2、液體為蒸餾水。
- 3、坡面角度固定為 21.1°。

## (二)實驗步驟：

- 1、於是我們找來〈一個喇叭〉、〈一個訊號擴大器〉及〈一個塑膠材質的中空板〉，以數個角鐵架起。
- 2、最後借到〈訊號產生器〉，藉由訊號產生器來產生固定頻率，使用訊號擴大器讓喇叭振動，帶動塑膠中空板振動，板子固定相同的傾斜角度。
- 3、實驗裝置全圖如圖四。
- 4、我們慢慢調整頻率產生器的頻率，開始尋找能使水滴往上爬升的振動頻率，但一直沒成功。
- 5、所以我們進一步改變不同水滴大小來測試。
- 6、經過長時間的嘗試，終於在頻率為48Hz時，觀察到〈蒸餾水滴〉向上爬升。
- 7、我們讓水滴在板子上振動，紀錄下振動的時間及測量水滴(初位置~末位置)之間的直線距離，”距離÷時間”即為水滴爬升的速率。
- 8、把水滴攝影下來，在電腦螢幕上以放大圖片的方式來測量水滴的直徑大小。
- 9、測量板子傾斜的角度。

## 實驗五

### 探討板子重量與水滴爬升速率及振動頻率的關係

#### (一)控制變因

- 1、板子表面材質為塑膠中空板。
- 2、液體為蒸餾水。
- 3、坡面角度固定為21.1度。

#### (二)操縱變因

增加塑膠中空板的重量，使得板子的總重量分別為82.69公克、100.25公克、117.81公克及160.65公克。

#### (三)實驗步驟

- 1、實驗裝置與實驗四相同。
- 2、塑膠中空板的重量為82.69公克，測量水滴爬升速率及板子振動的頻率，此實驗結果參考實驗四。
- 3、在塑膠中空板的下方黏上一個物體，使整個板子的重量為100.25公克。
- 4、找出水滴具有最大爬升速率時的振動頻率。
- 5、測量水滴的爬升速率。
- 6、在塑膠中空板的下方黏上另一物體，使整個板子的重量為117.81公克。
- 7、重複步驟4、5。
- 6、接著在塑膠中空板的下方黏上一個物體，使板子整個重量為160.65公克。
- 7、重複步驟4、5。

## 實驗六

使用不同表面張力的液體做為爬升的液滴，  
探討：表面張力對液滴爬升速率的影響。

### (一)控制變因：

- 1、板子材質固定為塑膠中空板，板子重量約為 82.69 公克。
- 2、坡面角度固定為  $21.1^\circ$ ，角度與實驗四相同，並沒有更動。

### (二)操縱變因：

改變液體成份。共有蒸餾水、飽和食鹽水、2M 食鹽水及肥皂水。

### (三)實驗步驟：

- 1、實驗裝置與實驗四相同。
- 2、把飽和食鹽水滴在傾斜的板子上，製作出不同大小直徑的液滴。
- 3、調整訊號產生器頻率，找出水滴最大爬升速率時的振動頻率。
- 4、固定此振動頻率，測量水滴的爬升速率及水滴大小。
- 5、把 2M 食鹽水滴在傾斜的板子上，製作出不同大小直徑的液滴。
- 6、重複步驟 3~4。
- 7、肥皂水滴在傾斜的板子上，製作出不同大小直徑的液滴。
- 8、重複步驟 3~4。

## 實驗七

水滴滴在不同的表面材質下，  
探討：附著力對水滴爬升速率的影響。

### (一)控制變因：

- 1、板子材質為塑膠中空板，板子的重量固定為 100.25 公克。
- 2、坡面角度為  $21.1^\circ$ ，角度及實驗裝置與實驗四相同，並沒有更動。

### (二)操縱變因：

水滴滴在不同的表面材質，共有塑膠中空板表面、銅金屬表面及不鏽鋼板表面。

### (三)實驗步驟：

- 1、實驗裝置與實驗四相同。差別在於塑膠中空板上方貼了一片銅板，整個板子的重量為 100.25 公克。
- 2、先將蒸餾水滴滴在塑膠中空板上方。
- 3、調整訊號產生器頻率，找出水滴最大爬升速率時的振動頻率。

- 4、測量水滴向上移動的距離及時間，求取速率大小。
- 5、再將蒸餾水滴滴在銅板的上方。重複步驟3、4。
- 6、接著改將不鏽鋼板貼於塑膠中空板表面上，使得板子重量為100.87公克，接近原本100.25公克的重量。
- 7、將蒸餾水滴滴在不鏽鋼板的表面上。重複步驟3、4。
- 8、將蒸餾水加入紅墨汁混合，再將此混合液滴在不鏽鋼表面、銅金屬表面及塑膠中空板上，然後把水滴爬升的運動情形攝影下來。

## 實驗八

使用高速攝影機把水滴向上爬升的過程拍攝下來，

探討：水滴向上爬升的瞬間動作，並了解水滴向上爬升原因。

### (一)控制變因：

- 1、板子材質為塑膠中空板，板子重量為82.69公克。
- 2、液體為蒸餾水與紅墨汁以1：1比例混合而成。
- 3、坡面角度固定為21.1°。
- 4、板子振動頻率固定為48Hz。
- 5、水滴直徑大小約0.2公分。

### (二)實驗步驟：

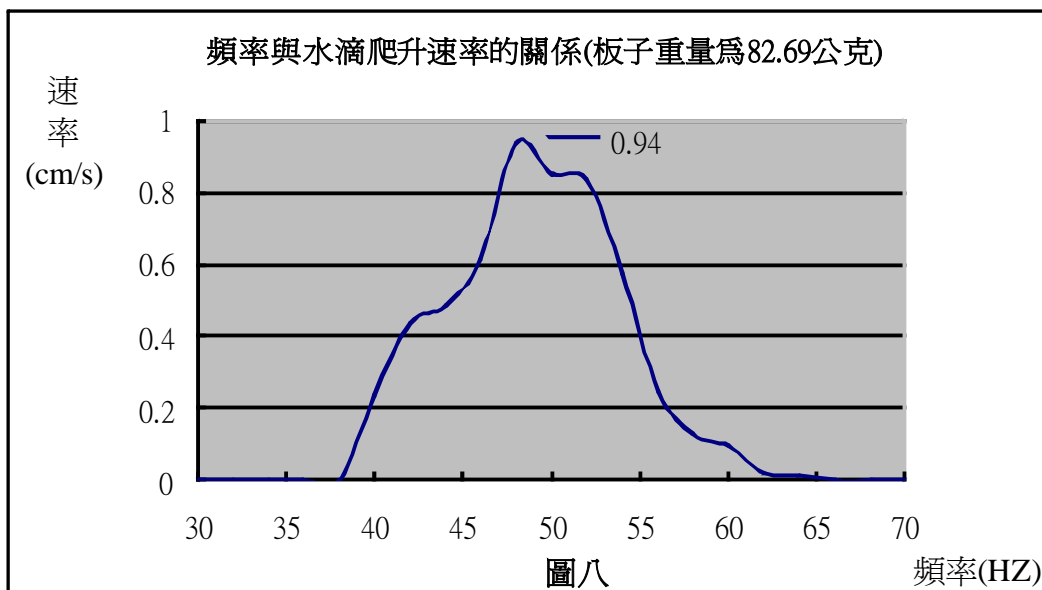
- 1、將水滴滴在塑膠中空板上，確定水滴直徑約0.2公分。
- 2、攝影機設定為拍攝模式設定為每秒1200張。
- 3、按開關使板子振動，並同步拍攝。
- 4、在電腦上使用TotalMedia Extreme軟體觀看影片，並擷取水滴振動過程的照片。

## 陸、研究結果

### 一、〈實驗四〉的實驗結果

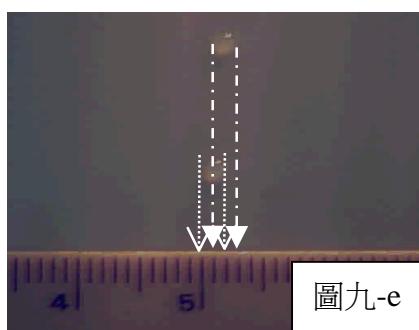
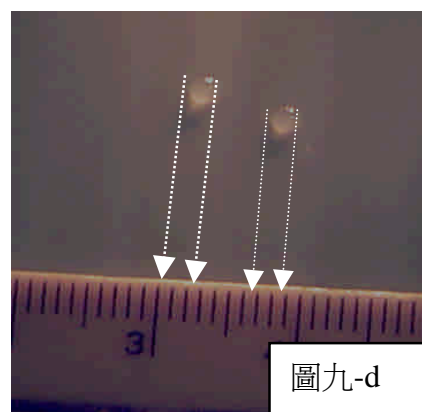
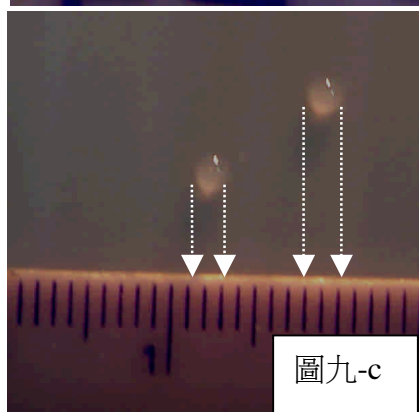
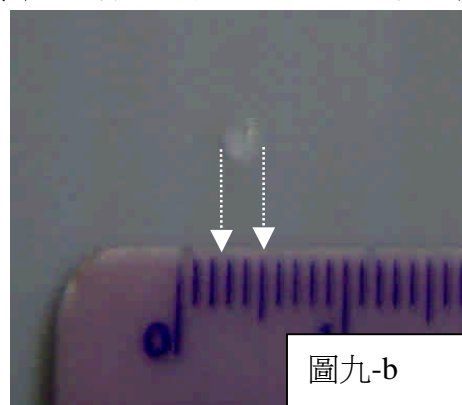
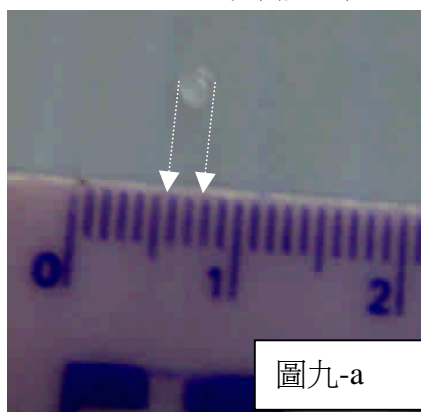
#### (一)頻率與水滴爬升速率的關係

板子振動頻率(Hz)	36	38	40	42	44	46	48	50	52
水滴爬升速率(cm/s)	0.00	0.00	0.23	0.44	0.49	0.61	0.94	0.85	0.83
板子振動頻率(Hz)	54	56	58	60	62	64	66	68	
水滴爬升速率(cm/s)	0.57	0.25	0.13	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	



**(二)會向上爬升的水滴大小：**

方法：使用照相機攝影下來，然後在電腦螢幕上測量水滴直徑大小，結果如表一。





表一

測量次序	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
水滴大小 (cm)	0.22	0.25	0.20	0.24	0.21	0.22	0.19	0.20	<b>0.22</b>
如圖	九-a	九-b	九-c	九-c	九-d	九-d	九-e	九-e	

如果水滴較大或較小，水滴爬升的速率就明顯慢很多。我們發現水滴如果太大，水滴會向下滑動，有時會破裂成小水滴；但如果水滴小很多，則水滴會靜止不動，有些還會脫離板子表面。

以上表一的實驗結果，跟我們在報導中所看到的數據不一樣，報導中說：向上爬升水滴大小直徑為 0.1 公分才會往上爬升[3]，**我們所測得的數據明顯大了兩倍。**

報導中說：「一但振動的力量足夠強勁，就能夠克服水滴被壓扁時所受的表面張力，產生的淨力就會使水滴沿斜面向上運動。**僅僅由水組成的液滴無法承受住這些作用力，它會在向上運動前在外力的作用下四分五裂**」[3]。但**我們實驗的結果，蒸餾水仍然可以沿斜面向上爬升**，不是如英國科學家所說的：僅僅由水組成的液體會在爬升前被震的四分五裂，**從我們實驗中，並沒有看到水滴四分五裂，而且我們水滴的爬升速率還高達 0.94 cm/s。**

### (三)計算蒸餾水滴向上爬升的最快速率：

測量次序	1	2	3	4	5	平均
(初位置~末位置)之間的直線距離(cm)	5.15	4.19	4.37	5.52	4.82	
時間(sec)	5.1	5.11	5.14	5.16	5.13	
速率(cm/sec)	1.01	0.82	0.85	1.07	0.94	<b>0.94</b>

### (四)測量板子傾斜的角度：

次數	一.	二.	三.	四.	五.	平均
測量角度	21.8°	21.2°	21.5°	20.9°	21.1°	<b>21.1°</b>

### (五)實驗結果總整理：

- 1、板子使用的材質為塑膠中空板，板子總重量為 82.69 公克。
- 2、水滴為蒸餾水。
- 3、水滴直徑大小約為 **0.22 公分**時，水滴向上爬升的速率較快。
- 4、振動板子的傾斜角度約為 21.1°。
- 5、板子振動頻率為 **48Hz**。
- 6、水滴爬升速率平均為 **0.94cm/sec**。

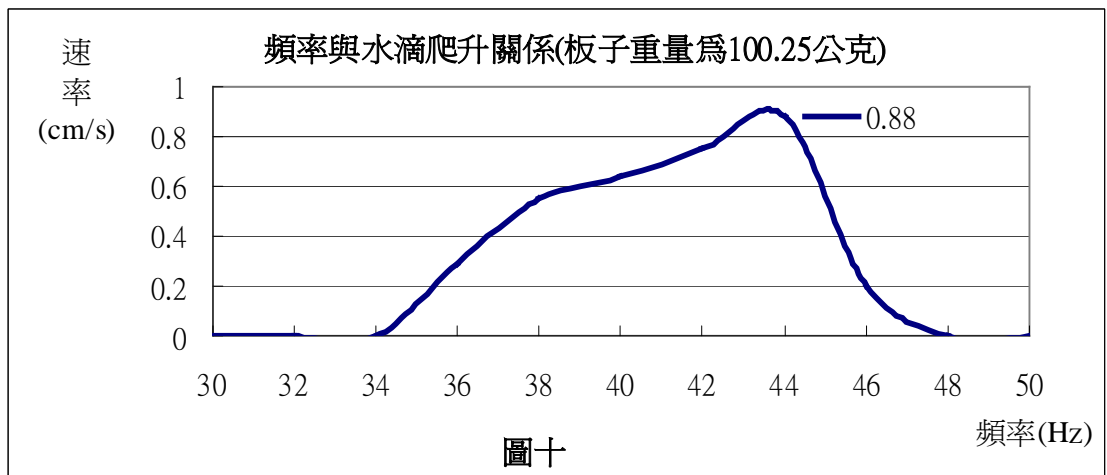
## 二、<實驗五>的實驗結果

### (一) 振動板子的全部總重量為 82.69 公克：

實驗結果：與實驗四的結果相同，板子振動頻率為 48Hz，水滴爬升速率平均為 0.94cm/sec。

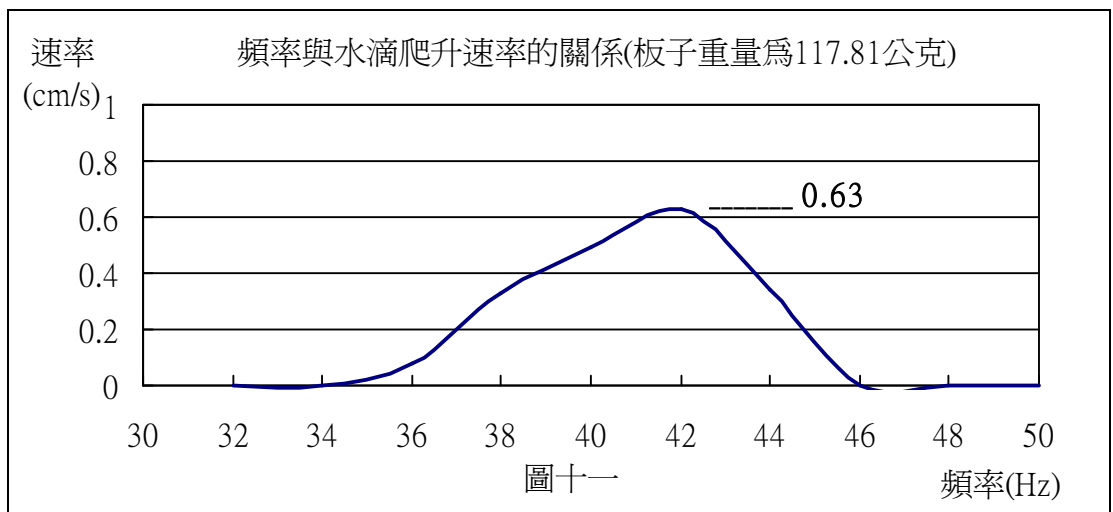
### (二) 振動板子的總重量為 100.25 公克：

板子振動頻率(Hz)	30	32	34	36	38	40
水滴爬升速率(cm/s)	0.00	0.00	0.00	0.29	0.55	0.64
板子振動頻率(Hz)	42	44	46	48	50	
水滴爬升速率(cm/s)	0.75	<b>0.88</b>	0.20	0.00	0.00	



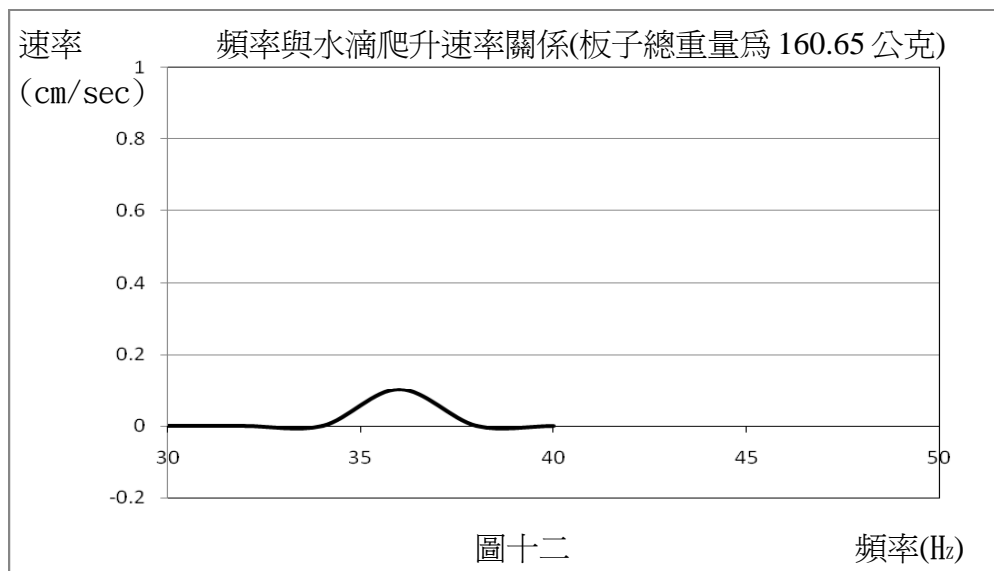
### (三) 振動板子的總重量為 117.81 公克：

板子振動頻率(Hz)	30	32	34	36	38	40
水滴爬升速率(cm/s)	0.00	0.00	0.00	0.08	0.33	0.49
板子振動頻率(Hz)	42	44	46	48	50	
水滴爬升速率(cm/s)	<b>0.63</b>	0.34	0.00	0.00	0.00	



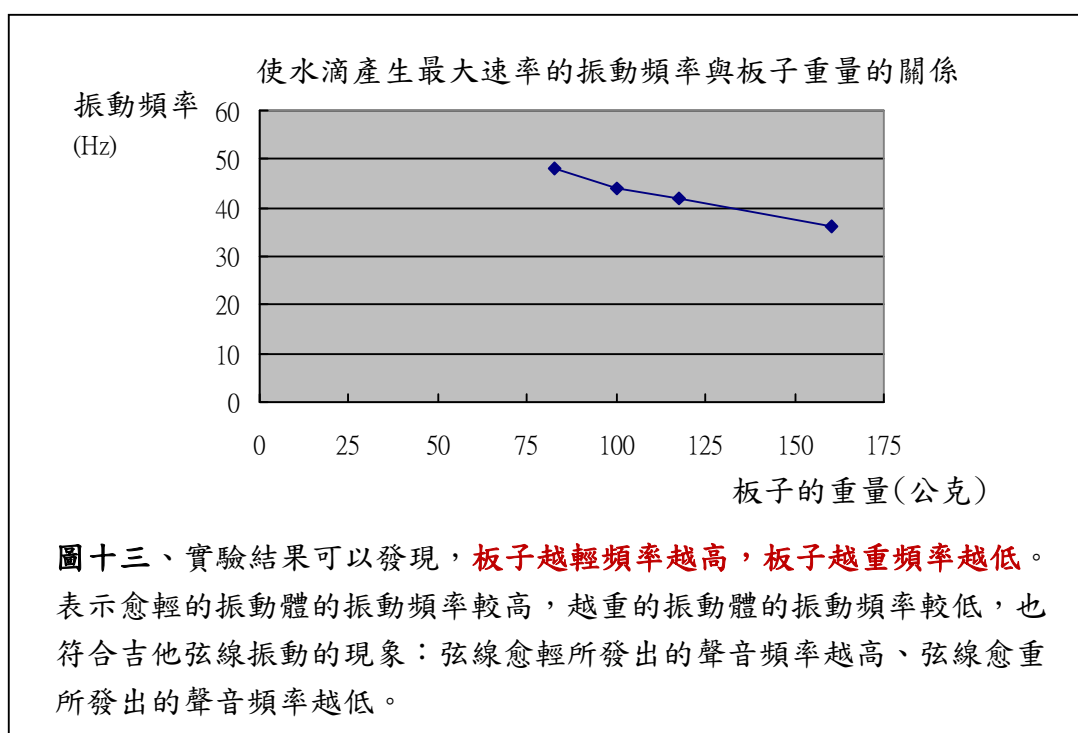
(四) 振動板子的總重量為 160.65 公克：

頻率(Hz)	30	32	34	36	38	40
速率(cm/sec)	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00



(五) 結果整理

振動板子的重量	82.69 公克	100.25 公克	117.81 公克	160.65 公克
最大速率的頻率 (Hz)	48	44	42	36



### 三、〈實驗六〉的實驗結果

#### (一)測量蒸餾水爬升時的振動頻率、爬升速率及直徑大小：

實驗四已經做過這個部分，不再重複，實驗結果參考實驗四。

#### (二)測飽和食鹽水滴爬升時的振動頻率、爬升速率及直徑大小：

1. 振動頻率約為 48Hz 時，飽和食鹽水滴會向上爬升的較快。
2. 測飽和食鹽水滴的爬升速率，速率平均為 1.32cm/sec。

	1	2	3	4	5	平均
(初位置~末位置)之間的直線距離(cm)	6.69	6.63	6.86	6.86	6.97	
時間(sec)	4.99	5.1	5.4	5.16	5.2	
速率(cm/sec)	1.34	1.30	1.27	1.33	1.34	1.32

#### 3. 測飽和食鹽水滴的直徑大小：

得知飽和食鹽水滴直徑約 0.23cm 時，能爬升較快速。

測量次序	1	2	3	4	5	平均
水滴直徑(cm)	0.21	0.21	0.22	0.24	0.26	0.23

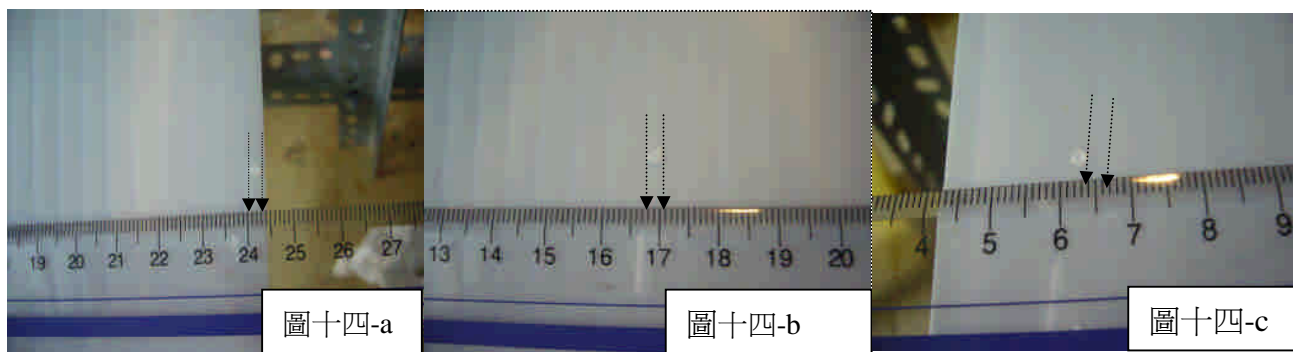
#### (三)測量 2M 食鹽水滴爬升時的振動頻率、爬升速率及液滴直徑大小：

1. 振動頻率約為 48Hz 時，液滴會向上爬升的較快。
2. 測水滴的爬升速率，速率平均為 1.36cm/sec。

	1	2	3	4	5	平均
(初位置~末位置)之間的直線距離(cm)	7.35	7.01	6.93	7.04	6.96	
時間(sec)	5.21	5.19	5.17	5.14	5.23	
速率(cm/sec)	1.41	1.35	1.34	1.37	1.33	1.36

3. 測水滴的直徑大小，得知水滴約在 0.25cm，能爬昇較快，如圖十四。

編號	圖十四-a	圖十四-b	圖十四-c			平均
大小(cm)	0.28	0.24	0.26	0.23	0.25	0.25



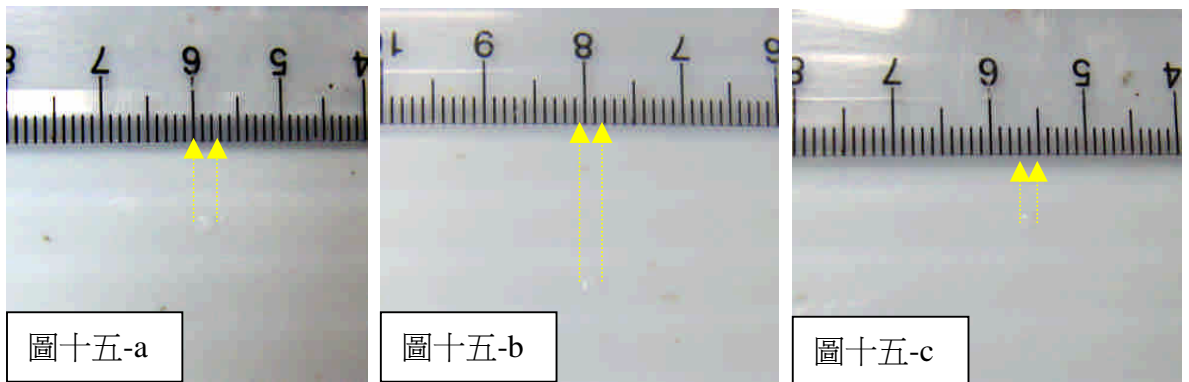
(四)測量肥皂水爬升時的振動頻率、爬升速率及直徑大小：

- 1、振動頻率約為 48Hz 時，肥皂水滴向上爬升的較快。
- 2、測水滴的爬升速率，速率平均為 0.49cm/sec。

	1	2	3	4	5	平均
(初位置~末位置)之間的直線距離(cm)	2.62	2.44	2.39	2.18	2.60	
時間(sec)	5.06	5.09	4.99	4.91	4.99	
速率(cm/sec)	0.52	0.48	0.48	0.44	0.52	0.49

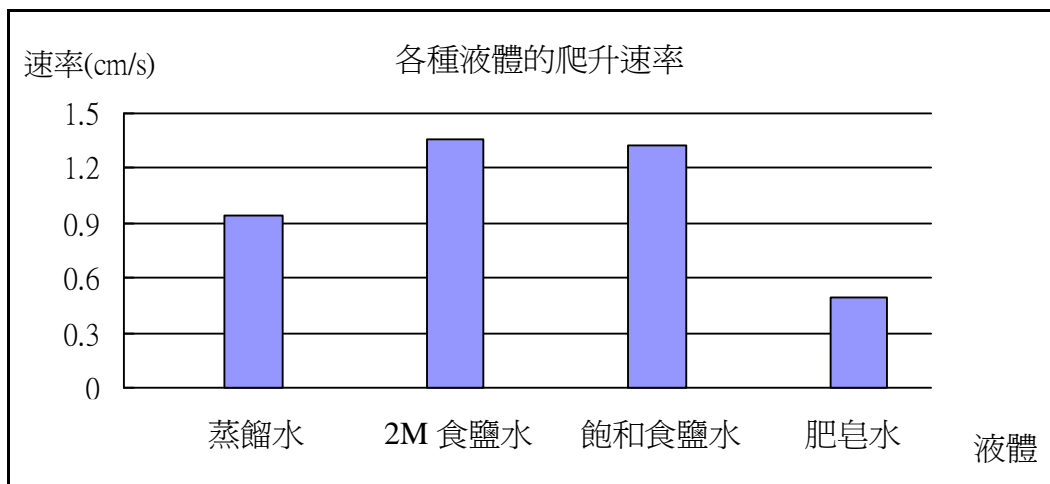
- 3、測水滴的直徑大小，得知水滴約在 0.21cm，能爬昇較快，如圖十五。

編號	圖十五-a	圖十五-b	圖十五-c			平均
大小(cm)	0.24	0.20	0.22	0.20	0.21	0.21



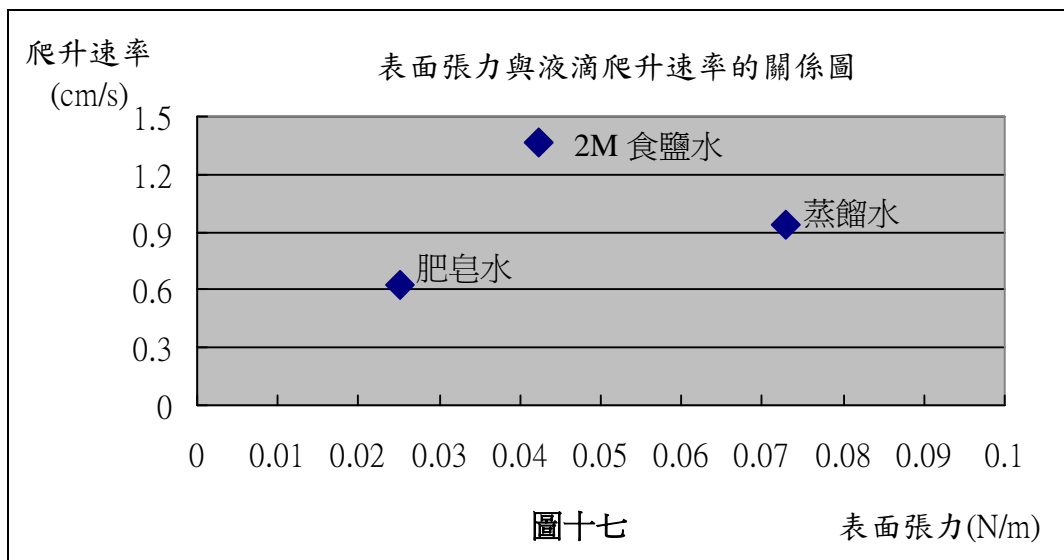
(五)爬升速率總整理：

根據以上四種液體：蒸餾水、飽和食鹽水、2M 食鹽水及肥皂水，所得到的爬升速率結果如圖十六：



圖十六

查資料可知[4][5][6]，蒸餾水的表面張力為  $72.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ，重量百分濃度為 9.13% 的食鹽水溶液(相當於 2M 食鹽水溶液)的表面張力為  $42.4 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ，肥皂水的表面張力大約為  $25 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ，所以我們整理表面張力與液滴爬升速率的關係，如下頁圖十七。



(六)所測得的水滴大小結果總整理：

液體成份	肥皂水	蒸餾水	2M 食鹽水	飽和食鹽水
水滴直徑(cm)	0.21	0.22	0.25	0.23

(七)所測得的振動頻率結果總整理：

不管使用的液體為何，振動頻率皆為 48Hz 時，水滴爬升的速率最快。

#### 四、〈實驗七〉的實驗結果

(一)將蒸餾水滴滴在塑膠中空板上方(板子的重量為 100.25 公克)：

1、測量蒸餾水滴的爬升速率：速率平均為 0.87 cm/sec。

	1	2	3	4	5	平均
(初位置~末位置)之間的直線距離(cm)	4.39	3.91	4.76	3.91	4.83	
時間 (sec)	5.11	4.86	4.99	4.89	5.04	
速率 (cm/sec)	0.86	0.80	0.95	0.80	0.96	<b>0.87</b>

2、板子的振動頻率： 頻率為 44Hz 時，水滴爬升速率最快。

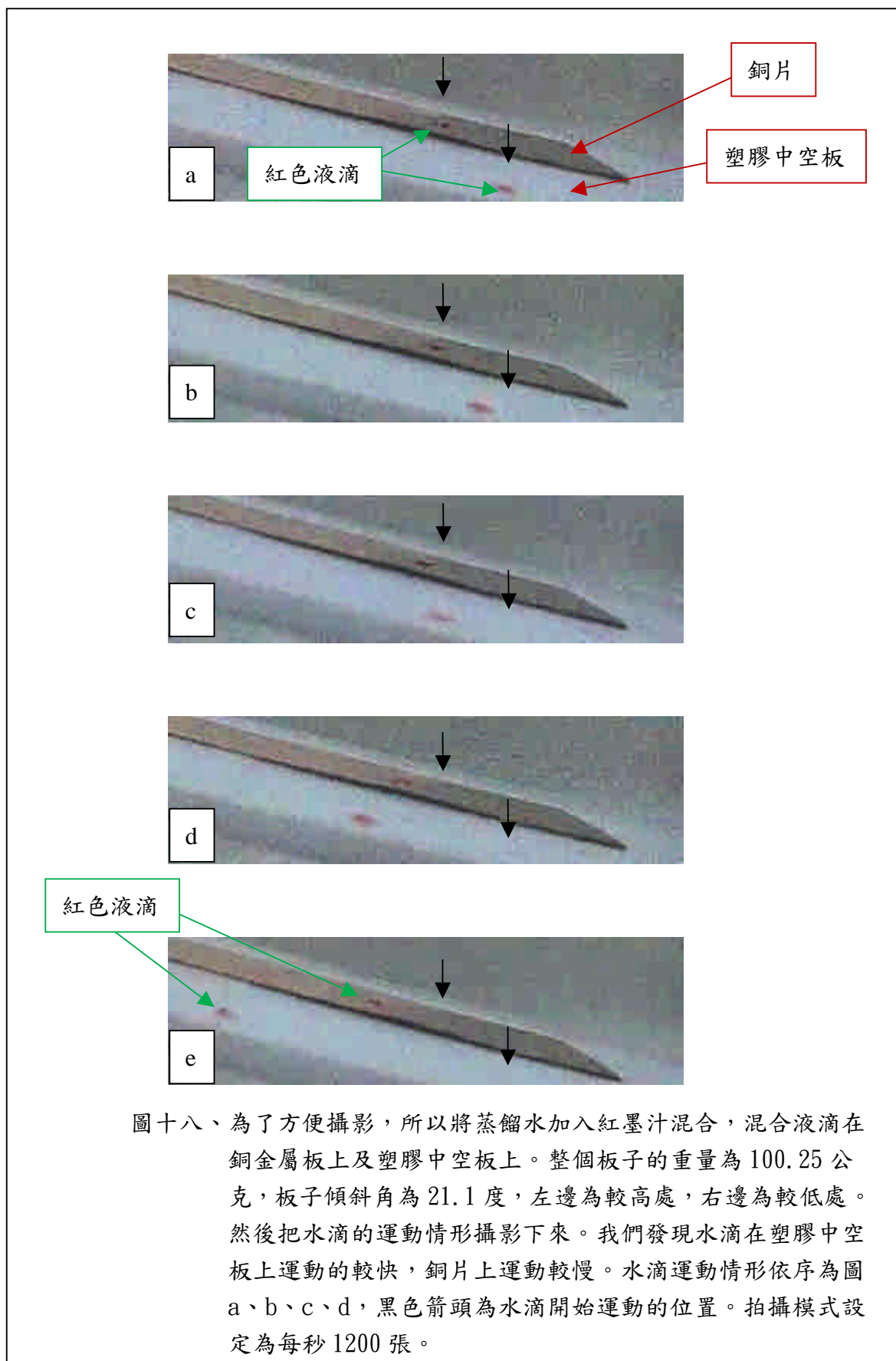
(二)將蒸餾水滴滴在銅板上方(板子的重量為 100.25 公克)：

1、測量水滴的爬升速率：

	1	2	3	4	5	平均
(初位置~末位置)之間的直線距離(cm)	1.43	1.74	1.53	1.66	1.57	
時間 (sec)	5.25	5.25	5.07	5.12	4.91	
速率 (cm/sec)	0.27	0.33	0.30	0.32	0.32	<b>0.31</b>

2、板子的振動頻率： 頻率為 44Hz 時，水滴爬升速率最快。

3、水滴在銅金屬片與塑膠中空板上，水滴振動過程的圖片：

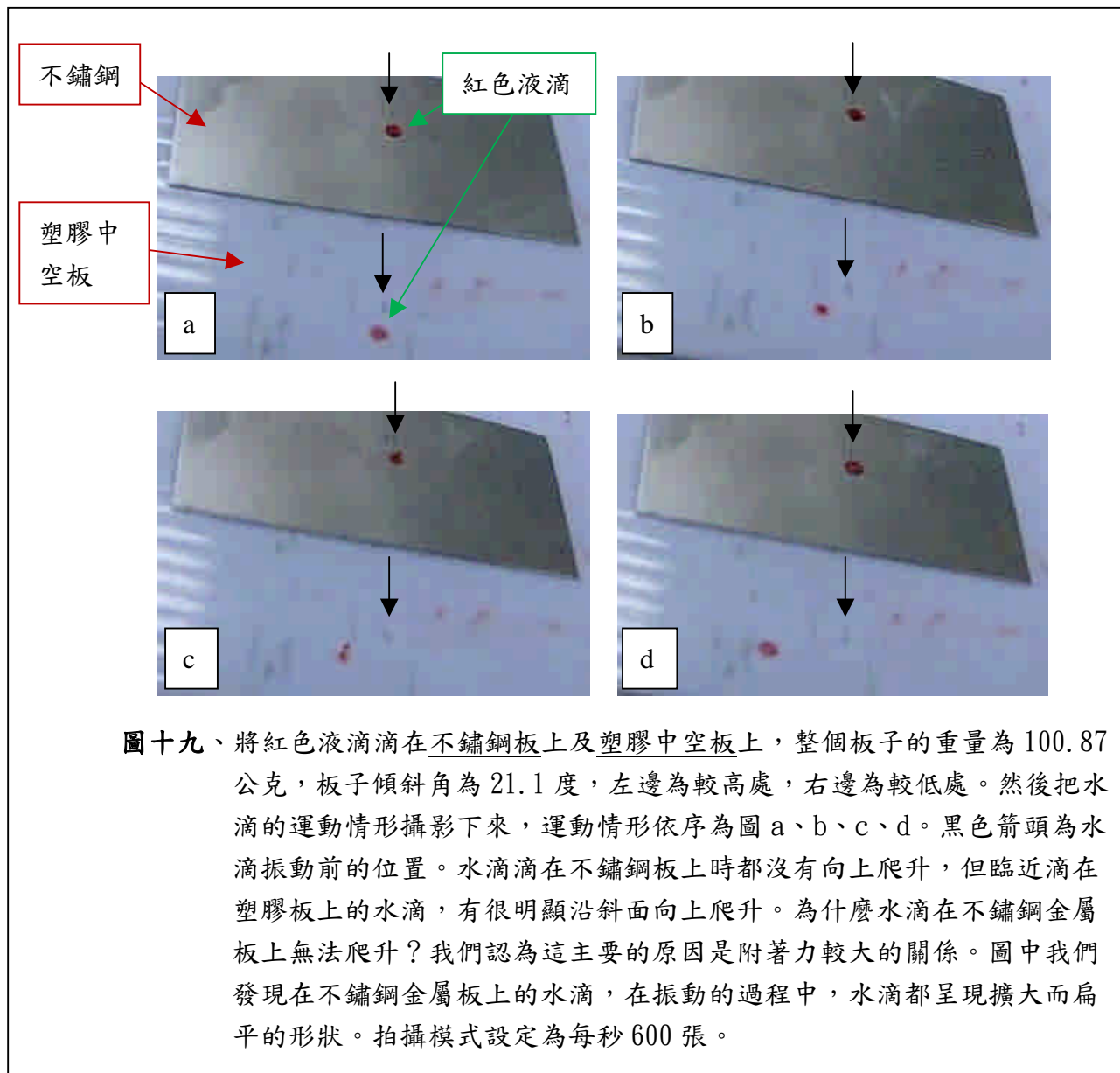


(三)將蒸餾水滴在不鏽鋼板的上方(板子的重量為 100.87 公克)：

1、水滴在不鏽鋼片上的爬升速率：

實驗結果：滴在不鏽鋼板上時都沒有向上爬升。

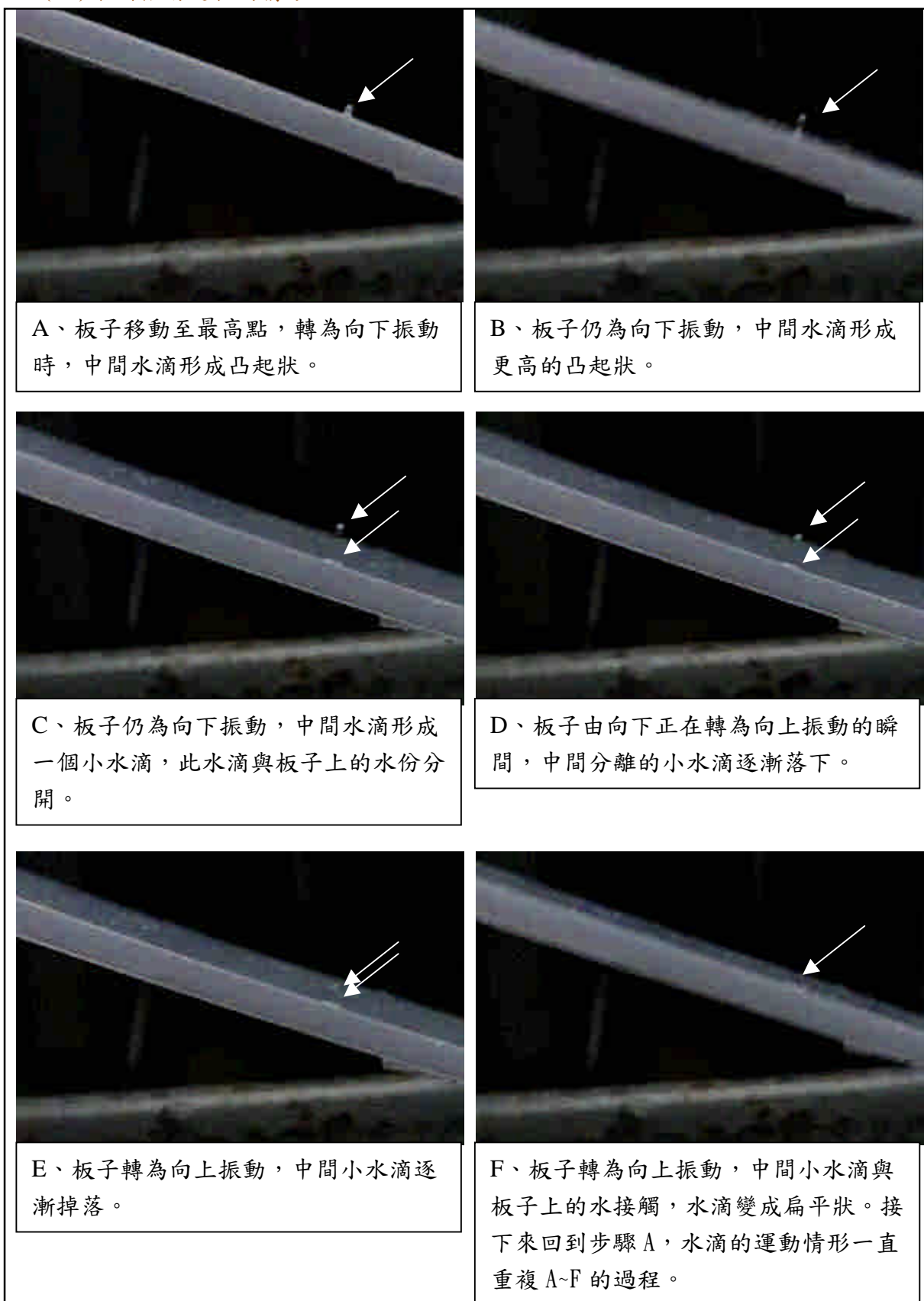
2、水滴同時滴在不鏽鋼金屬片及塑膠中空板上，水滴振動過程的圖片：





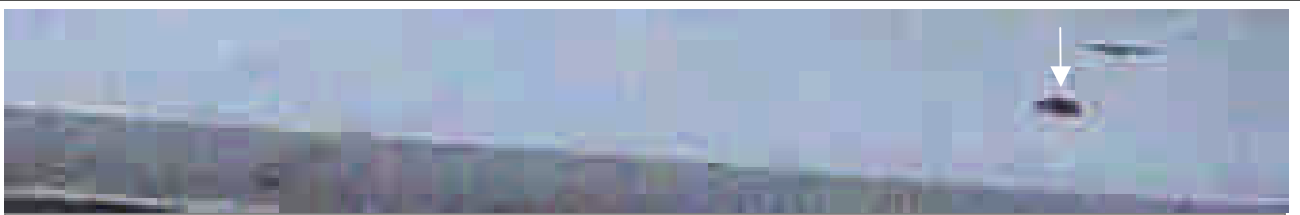
## 五、〈實驗八〉的實驗結果

### (一)水滴振動過程的情形：



圖二十、水滴振動的連續動作依序為A~F。箭頭所指的地方為水滴。

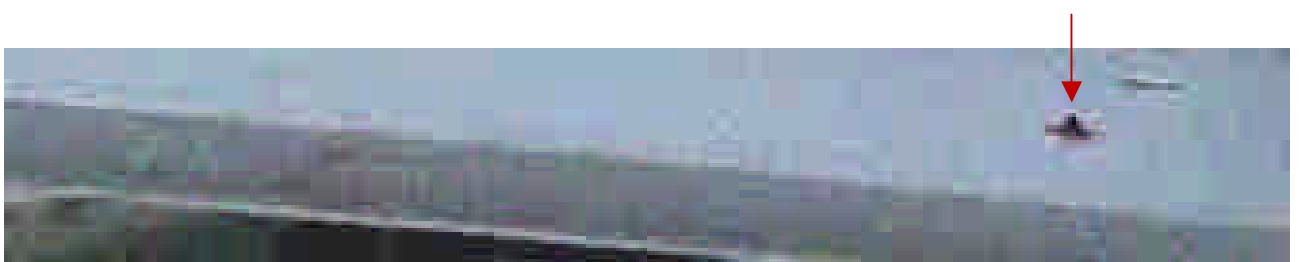
(二)水滴加上紅墨汁：



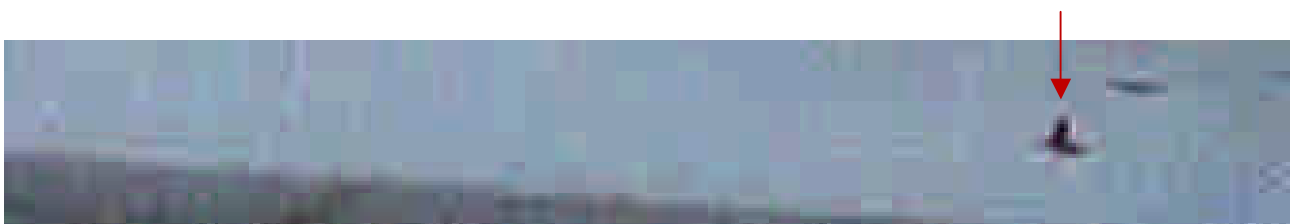
a.板子靜止時，水滴靜止的狀態圖，箭頭處。圖形左方為板子高處，右方為板子低處。



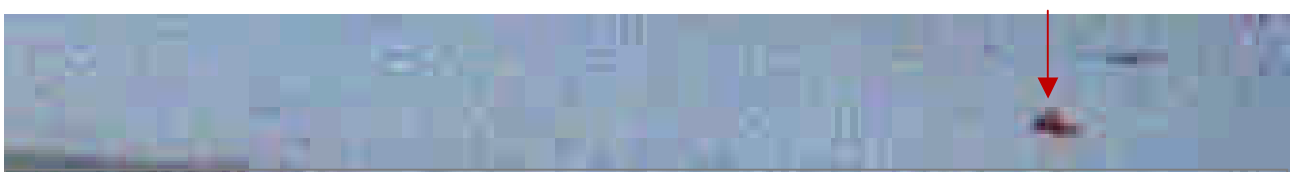
b.板子正由最低點往上方振動，水滴往低處(板子右方)集中，箭頭處。



c.板子正由向上轉為向下振動，水滴變為凸起狀，箭頭處。



d、板子正處於向下振動，水滴向上形成更高的突起狀，此凸起狀向前方(高處，板子左方)移動。水滴由於慣性及附著力的關係，中間才會形成柱狀體。



e、水滴凸起的部分向下掉落，掉落的水會往前擠壓，而達到水滴向前方(高處，板子左方)移動的效果。



f、板子振動到最低點，此時水滴呈扁平狀。接下來的振動情形，又回到 b 圖。

圖二十一、水滴靜止的狀態為圖 a，而水滴振動的連續動作依序為圖 b~f。圖形左方為板子高處，右方為板子低處，整個板子傾斜角為 21.1 度。

## 柒、實驗討論

### 討論一、板子的振動頻率與水滴爬升速率及板子重量的關係

實驗五的實驗結果告訴我們，板子越重則使水滴向上爬升的振動頻率越低，而且水滴爬升速率的最大值也隨板子的重量增加而一直在降低。為什麼水滴在某個頻率中才會向上爬升呢？我們認為這是因為共振的原因。符合吉他弦線上的振動情形，當弦線愈輕時，發出的頻率愈高；若弦線愈重時，發出的頻率愈低。

再者，為什麼板子越重，水滴爬升速率的最大值會一直在降低呢？這是因為能量傳遞的問題，喇叭會把能量傳給板子，然後板子再把能量傳給水滴，如果板子越重，就越難把能量傳給水滴，水滴獲得的能量較少，造成水滴較難爬升。

### 討論二、液滴的表面張力與爬升速率的關係

查資料可知[4][5][6]，表面張力大小依序為：蒸餾水 > 食鹽水 > 肥皂水。從我們實驗六的結果、圖十六及圖十七中可知，不同的液體有不同的爬升速率。當表面張力較小時(如肥皂水)爬升速率較慢，表面張力升高後，爬升速率會跟著增加，但當表面張力大到某個程度後，爬升速率又會有下降的趨勢(如蒸餾水)。

我們認為，當表面張力太小時，相對的附著力就會比較大，水滴較難維持球形及彈性會不夠，造成水滴無法向前移動。若表面張力太大，水滴將較難產生如圖二十一之形變，水滴若沒有抖動，將很難爬升。

### 討論三、水滴與振動板子接觸面之間的附著力對水滴爬升速率的影響

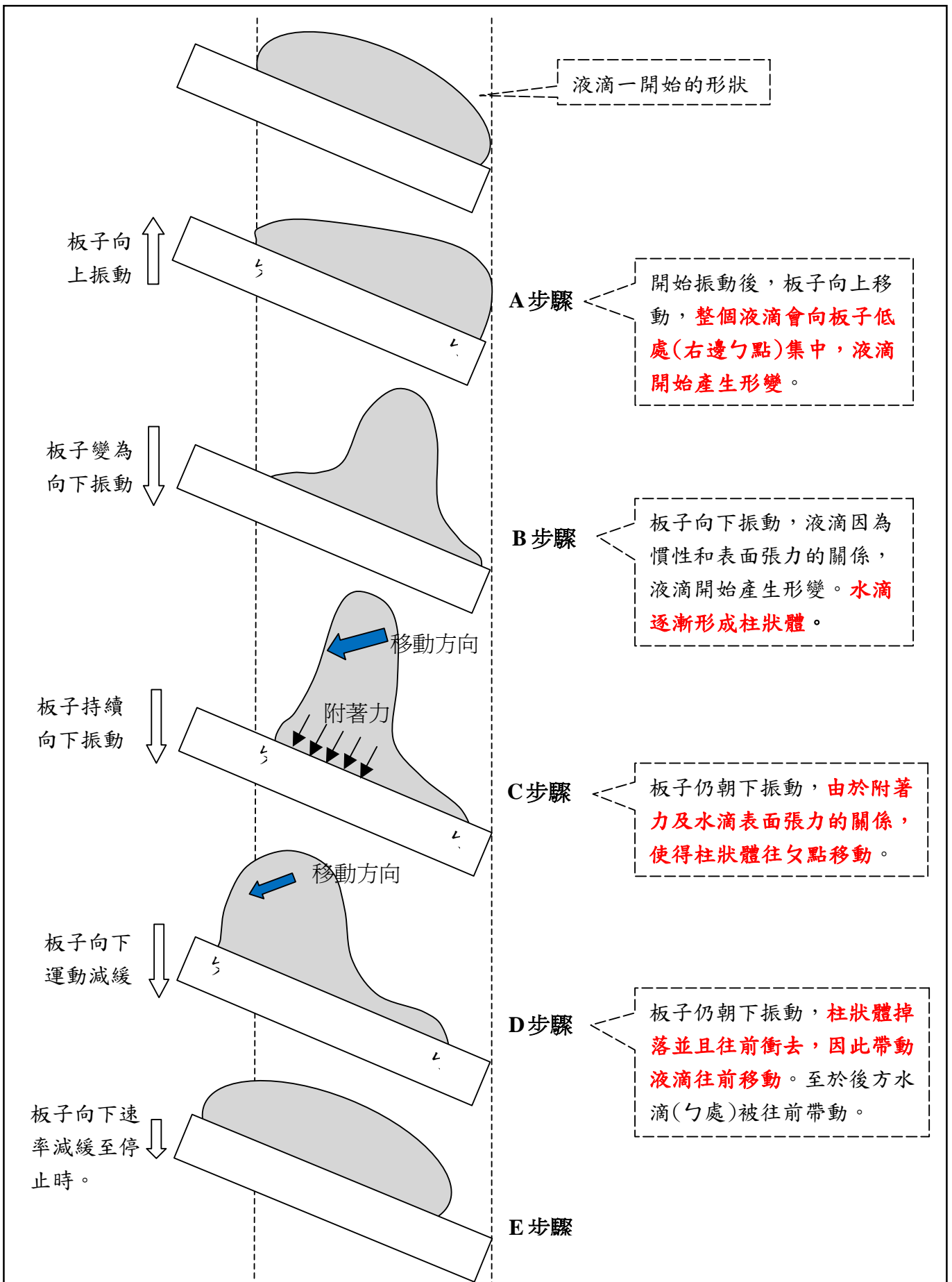
從實驗七實驗結果可知，不同的表面對水滴爬升速率有很大的影響。我們知道，水滴與不同材質的表面接觸時會有不一樣的附著力大小，所以，附著力對水滴爬升速率有很大的影響。

我們認為，附著力太大會造成水滴無法爬升有兩個原因：第一、附著力太大會造成水滴無法移動，就好像一個物體放在地面上，如果摩擦力太大將使得物體很難推動。第二、水滴因為附著力太大，而水滴會被拉扯變成扁平狀，無法在移動過程中維持基本的球形，以致於無法在振動中達到：半球形~柱狀體~又回到半球形的變換，所以當水呈扁平時，水滴是很難向上爬升的。

### 討論四、液滴會向上爬升的原因？

從實驗八中可以知道，振動的水滴會發生形變，並會產生柱狀體(或上方形成一個小水滴分離)，形變的過程中使水滴與板子表面的接觸面積，發生忽大忽小的規律性變化，加上形變所產生的柱狀體會往左(即向高處)移動，而造成水滴向前移動，如圖二十一。

為什麼柱狀體的水會往左方(高處、圖二十一)移動呢？我們認為是附著力與表面張力的關係，如下頁圖二十二C步驟。



圖二十二、因為接觸面積由大縮小的過程中，水滴兩邊(C 步驟勺點、勺點)向中間移動。我們觀察到柱狀體會往左方(高處、勺點)移動。因為附著力與表面張力會拉住水滴，其施力方向會造成柱狀體往左方掉落，把左方的水(勺點)往前擠壓，因而造成水滴向左移動(即向上爬升)。水滴的變化結果示意圖為從 A 步驟~E 步驟。

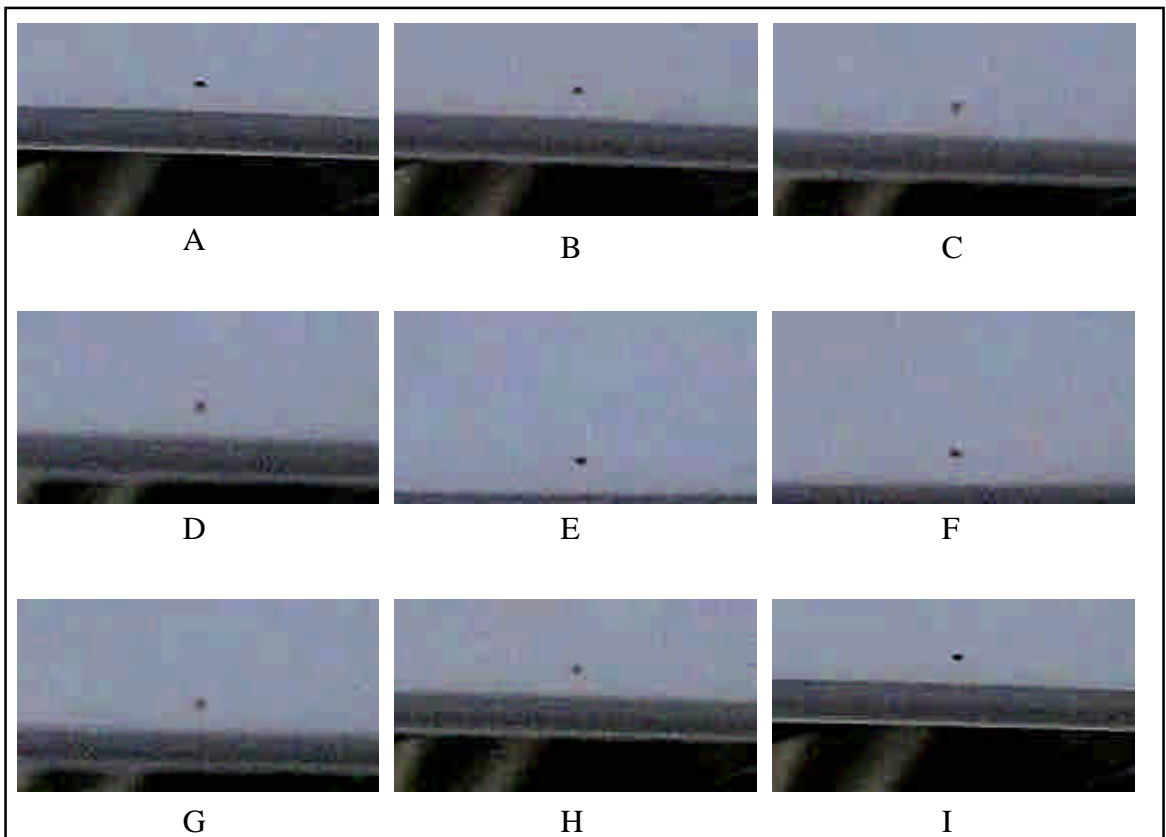
## 討論五、為什麼蒸餾水滴大小直徑約為 0.22 cm 時，水滴最容易爬升？

(一)水滴太”大”時會造成水滴上爬的速率較小或甚至往下移動，原因為何：

我們認為水滴會往上爬升是因為慣性與表面張力的關係，導致水滴會產生形變，導致水滴往上爬，如圖二十、圖二十一及討論四。但是為什麼水滴太大無法向上爬呢？因為水滴太大，導致重力過大，且與板面接觸面積較大亦會導致附著力變大，相較之下，即使水滴產生形變，也無法造成水滴往上運動。

(二)水滴太”小”時會造成水滴不動或脫離表面而彈跳，原因為何：

根據討論四的結果，水滴若不產生形變，是不會向上爬升的，經由實驗觀察，我們認為直徑小於 0.2cm 的小水滴在板子振動時，雖然會產生形變，但與直徑約為 0.22cm 的爬升水滴的振動情形比較，如圖二十、圖二十一，有很明顯的不同。直徑小於 0.2cm 的小水滴並不會形成柱狀體，形變的情形較不嚴重，如下圖二十三 A~I 所示，照片中的振動水滴直徑為 0.1cm，水滴有加紅墨汁染色。



圖二十三、從圖中可知，直徑 0.1cm 的小水滴在振動過程中，雖然形狀有發生改變，但並不明顯，而且與板子接觸的面積大小幾乎沒有什麼變化。如果與圖二十及圖二十一中比較，直徑 0.2cm 的水滴形變就顯得非常劇烈，而且水滴與板子接觸的面積大小變化會忽大忽小。由於直徑 0.1cm 的小水滴在振動過程中受到表面張力及附著力的雙重影響，以致於形變不明顯，與板子接觸面積大小幾乎不變的情況下，表示水滴並沒有滑動，也沒有產生柱狀體的形變，當然水滴無法向上爬升。A 到 E：板子下降，從 E 到 I：板子上升。

## 捌、結論

- 1、水滴在中空板上時，板子的振動頻率為 48Hz 時，水滴向上爬升的速率最快可達 0.94 cm/sec。增加板子的重量，發現使水滴移動最快速率的振動頻率，隨著板子重量的增加而越來越低。這個現象符合吉他弦的振動情形，即弦線越輕，發出的頻率越高。
- 2、液滴太大或太小都不易向上爬升。都液滴太大時，其重量及液滴與接觸表面之間的附著力都會比較大，造成液滴不易移動或者會向下移動。而液滴太小時，由於振動過程中不易產生形變，造成液滴會原地不動或者向下跳動。我們最適合做向上爬升運動的水滴大小為直徑 0.2cm，我們的結果與英國科學家的研究結果並不相同，他們適合爬升的水滴大小為直徑 0.1cm。
- 3、液滴的表面張力會影響水滴向上爬升的速率，當液滴表面張力較小時(肥皂水)，爬升速率較小；當液滴表面張力升高時，爬升速率會跟著增加；但當表面張力大到某個程度時，爬升速率反而會下降(如蒸餾水)。表示說，液滴的表面張力在水滴的爬升過程中，扮演關鍵角色。
- 4、當板子維持一樣的重量時，水滴在不同材質的表面上時，會有不一樣的爬升速率。我們知道，水滴與不同材質的表面接觸時會有不一樣的附著力大小，所以，附著力對水滴爬升速率有很大的影響。
- 5、我們對液滴向上爬升的現象，提出了解釋。液滴杵在振動板子上，由於本身重量、表面張力、慣性作用及本身與板子表面的附著力等因素的影響，水滴會有些許脫離板子表面及本身產生形變的關係，造成液滴向上爬升的原因。有時在形變的過程中，水滴會破裂成兩部分，在原本水滴的上方會形成一顆小水滴，之後小水滴掉下與原水滴再次結合。
- 6、我們認為振動過程中液滴一定要產生形變，加上液滴又受到表面張力、慣性作用、液滴重量、液滴與板子之間的附著力等因素影響，使得液滴可以向上爬升。
- 7、目前板子的傾斜角度為 30 度時，水滴仍然可以向上爬升，我們未來要朝更大角度的方向前進，測出水滴可以向上爬升的最大角度。

## 玖、參考資料

- 1、台中縣第 47 屆科展比賽，國中組理化科物理類，奮發向上的水滴。
- 2、<http://teah.sina.com.cn/d/2007-10-09/13451781339.shtml>
- 3、<http://www.bristol.ac.uk/news/2007/5630.html>
- 4、第 44 屆全國科展，國中組物理科，被忽略的神秘力量-表面張力。
- 5、高中物質科學物理篇(下)，流體力學，南一書局。
- 6、<http://www.ck.tp.edu.tw/~pxhuang/ppt/ch9-Fluid.ppt#36>
- 7、國中自然與生活科技第三冊第三章，波動與聲音，翰林出版社。
- 8、國中自然與生活科技第四冊第二章，莫耳濃度，南一出版社。
- 9、國中自然與生活科技第四冊第五章，力與壓力，南一出版社。
- 10、國中自然與生活科技第五冊第二章，力與運動，翰林出版社。