

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

佳作

080121

開不開，有學問-皮鞋開瓶塞研究

學校名稱：苗栗縣苑裡鎮客庄國民小學

作者： 小五 柯星岑 小五 高翊傑 小五 顏宥睿 小五 陳又豪	指導老師： 周珮真 鄭宏國
---	---------------------

關鍵詞：流體力學、空蝕現象

## 摘要

一則網路影片用皮鞋開酒瓶塞，引起我們的好奇，背後的原理和影響因素是什麼？經討論及資料蒐集，設計實驗並自製撞擊器來控制撞擊力，希望找出原理和影響的因素。發現：撞擊力須透過液體傳遞，且液體量要足夠；撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率；撞擊力傳遞至瓶塞須大於瓶塞及瓶口間的阻力才能使瓶塞移動；瓶身角度須水平置放；墊子的緩衝性太好會吸收撞擊力，可能無法克服瓶塞的摩擦力；不同材質及不同表面性質的瓶塞會影響瓶塞移動的成功率；容易產生氣泡的液體，瓶塞移動成功率較好，黏滯性高的液體則較差。瓶塞移動的主要因素是靠撞擊力的傳遞來推動瓶塞，可以用流體力學的白努利定律來分析，而空蝕現象的發生則有助於瓶塞的移動。

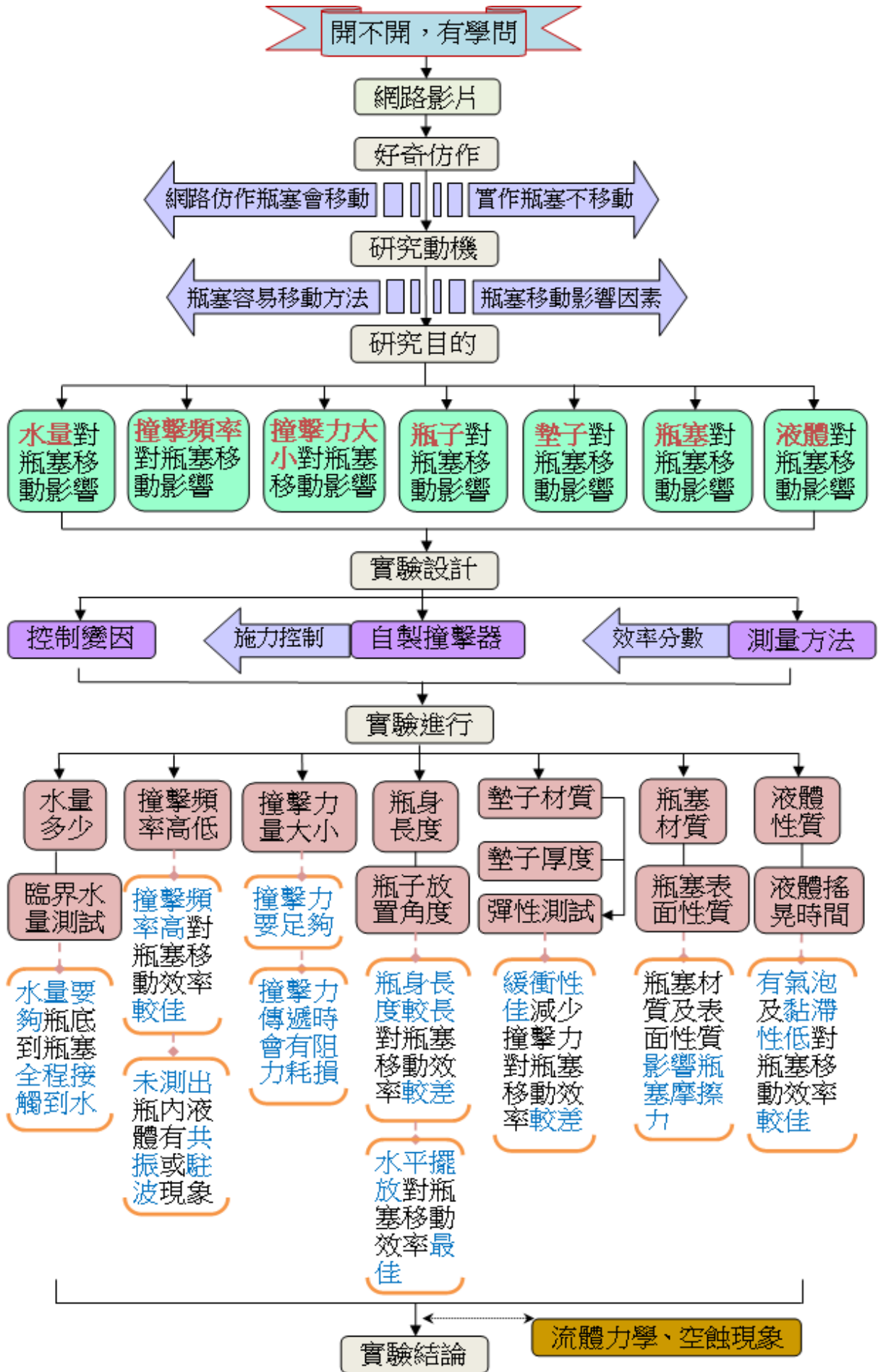
## 壹、研究動機

在網路上看到「用皮鞋開酒瓶塞」的影片，影片中的法國人將紅酒整瓶套入一隻皮鞋中，並以鞋底垂直連續敲擊牆面，結果紅酒的瓶塞就跑了出來。不用開瓶器可以順利開瓶，這引起我們的好奇，為什麼將酒瓶套在皮鞋裡再敲擊牆壁，就可以讓瓶塞跑出來？背後的原理是什麼？我們首先依樣畫葫蘆進行仿作，但結果卻是怎麼敲也敲不出瓶塞來，於是我們上網蒐集資料，發現也有不少人嘗試以皮鞋開瓶，但有人成功、有人失敗，卻很少人去探究背後的原因，這個現象引起我們的興趣，哪些因素會影響皮鞋開瓶的成功率？背後的原理是什麼？因此我們決定以皮鞋開瓶為研究題目，希望能透過實驗找出皮鞋開瓶的原理及了解影響的因素。

## 貳、研究目的

- 一、探討水量對瓶塞移動的影響。
- 二、探討撞擊頻率對瓶塞移動的影響。
- 三、探討撞擊力大小對瓶塞移動的影響。
- 四、探討瓶子因素對瓶塞移動的影響。
  - (一) 不同瓶身長度的瓶塞移動的影響。
  - (二) 不同瓶身角度對瓶塞移動的影響。
- 五、探討墊子對瓶塞移動的影響。
  - (一) 不同材質的墊子對瓶塞移動的影響。
  - (二) 不同墊子的彈性測試。
- 六、探討瓶塞差異對瓶塞移動的影響。
  - (一) 不同材質的瓶塞對瓶塞移動的影響。
  - (二) 瓶塞的表面性質對瓶塞移動的影響。
- 七、探討瓶內液體對瓶塞移動的影響。
  - (一) 不同的液體對瓶塞移動的影響。
  - (二) 搖晃時間對瓶塞移動的影響。
- 八、參考文獻及網路資料，探討流體動力學及空蝕現象與皮鞋開瓶的關係。

## 參、研究架構



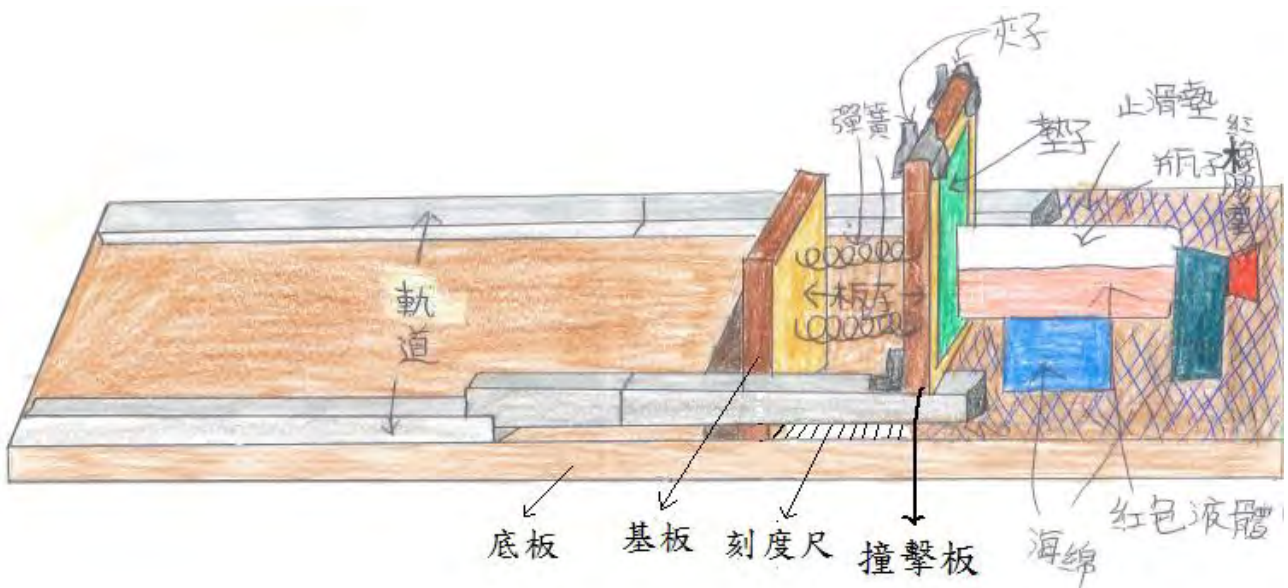
## 肆、研究設備及器材

### 一、研究設備：

撞擊器、實驗玻璃瓶、橡膠塞、矽膠塞、軟木塞、量角器、紅酒、汽水、紅色顏料  
塑膠墊、彈力球、太白粉、電子秤、氣泡紙、紙板、菜瓜布、毛巾、護目鏡  
節拍器、收音麥克風、筆記型電腦、PVC 透明管、角鋼固定架、鐵環、量筒

### 二、自製撞擊裝置：撞擊器

- (一) 將軌道條鎖在底板上
- (二) 量測軌道間距離，裁切基板及撞擊板，將基板固定在底板，撞擊板固定在軌道。
- (三) 在基板及撞擊板之間貼上刻度尺，並安裝二條外徑 2mm 的圓線彈簧。
- (四) 在撞擊板上夾上墊子，並於瓶子放置區鋪設止滑墊及固定用海綿。



圖一 撞擊器



圖二 自製撞擊器流程

## 伍、研究過程與結果

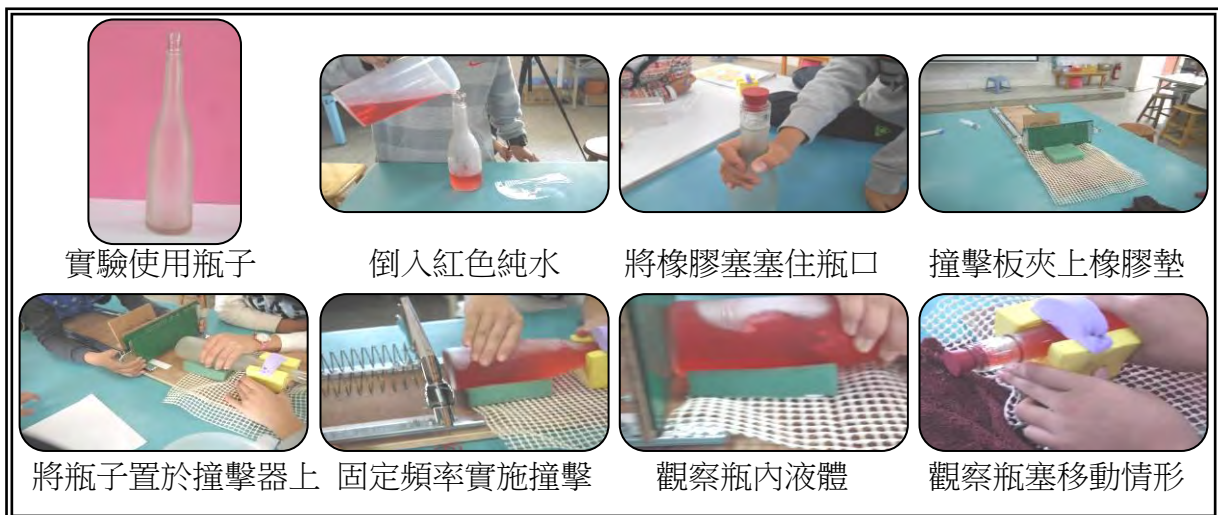
### 一、研究一：探討水量對瓶塞移動的影響

我們一開始想確認要移動瓶塞是否與瓶中的液體量有關？空瓶子是否也可以成功？還是一定要有液體？液體的量是否有影響？所以我們先針對瓶內的液體的量設計實驗。

#### (一) **實驗(一)**▶ 不同水量對瓶塞移動的影響

##### 1. 實驗流程：

- (1) 實驗瓶是圓身長頸的玻璃瓶，長度 29cm，底面圓直徑 7cm，總容量是 500 cc。
- (2) 瓶塞是上徑 2.3 公分、高 2.3 公分、下徑 1.7 公分的橡皮塞。
- (3) 瓶塞塞入瓶口內 0.8 公分。
- (4) 在撞擊器的撞擊板上黏貼 0.2 公分的橡膠墊。
- (5) 將撞擊板上的彈簧壓縮到 12 公分，撞擊頻率是每 5 秒撞一次。
- (6) 瓶子放置在撞擊器上與地面夾角是 0 度。
- (7) 為方便觀察，於水中加入紅色顏料；為了安全，撞擊過程配戴護目鏡。
- (8) 依次撞擊裝有水量為 0cc、150cc、300cc、450 cc、488 cc 的玻璃瓶。
- (9) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。



圖三 研究一實驗(一) 實驗流程圖示

##### 2. 實驗結果：

表一 不同水量下每 5 秒撞擊一次實驗結果

水量 次數	0cc	150cc	300cc	450cc	488cc
第一次	不移動	不移動	不移動	不移動	不移動
第二次	不移動	不移動	不移動	不移動	不移動
第三次	不移動	不移動	不移動	不移動	不移動
第四次	不移動	不移動	不移動	不移動	不移動
第五次	不移動	不移動	不移動	不移動	不移動
成功率	0%	0%	0%	0%	0%

### 3. 實驗發現：

		
<p>0cc 組瓶塞沒有變化，瓶身輕不容易固定住，容易滑動出去。</p>	<p>150cc 組水在靜止時，因水位低，水不會碰到瓶塞。撞擊時，水會因流動有少部份碰到瓶塞，但接觸時間很短。</p>	<p>300cc 組在靜止時，約僅有 1/2 瓶塞面積接觸到水。撞擊時，水接觸瓶塞時間較 150cc 長，但仍有未接觸時間。</p>
		
<p>450 cc 組及 488 cc 組水在靜止時，整個瓶塞都會接觸到水。撞擊時，也是全程皆接觸到水。</p>	<p>實驗瓶最大容量是 500 cc，但滿水量時瓶塞無法塞入，所以用瓶塞可以塞入的最大水量 488cc 當作滿水量。</p>	<p>撞擊時會產生大小不同的氣泡，水量少而空氣多時，產生的氣泡較大，水接觸到瓶塞的面積會相對減少。</p>
		
<p>瓶口產生氣泡有大有小。</p>	<p>撞擊時瓶身出現較大氣泡。</p>	<p>瓶口產生很多細小氣泡。</p>

### 4. 實驗結果推測：

- (1) 實驗一結果顯示瓶塞無法在撞擊 20 次內移動，我們推測是撞擊力量不夠或是撞擊頻率太低的關係，因此後續將在實驗二調整**撞擊頻率**再次實驗，及實驗七探討**撞擊力大小**對瓶塞移動的影響。
- (2) 根據實驗發現，水量的多少會影響水接觸瓶塞底面積的多少，因此在後續實驗將繼續觀察**水接觸瓶塞底面積大小**對瓶塞是否會脫落有關係。
- (3) 撞擊時發現會產生大小不同的氣泡，後續實驗將繼續觀察**氣泡量**是否影響瓶塞移動。

(二) **實驗(二)** ▶ 調整撞擊頻率，觀察不同水量對瓶塞移動的影響

1. 實驗流程：

(1) 流程同實驗一，調整撞擊頻率以每 1 秒撞一次、每 2 秒撞一次、每 3 秒撞一次分別進行實驗。

(2) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。

2. 實驗結果：

※撞擊效率分數說明：

我們的想法是撞擊一次就移動瓶塞是比撞擊兩次才移動來得有效率，因此我們把實驗設計中的撞擊次數上限設定為最高分(設為 20 次)，撞擊一次就成功的撞擊效率即為最高分(20 分)，撞擊二次成功為最高分減一分(19 分)，撞擊三次成功為最高分減二分(18 分)，依此類推，不移動則為 0 分。

【示例】：撞擊次數上限為 20 次

第幾次飛出	1	2	3	4	5	...	18	19	20	不移動
撞擊效率分數	20	19	18	17	16	...	3	2	1	0

表二 不同水量下每 1 秒撞擊一次實驗結果

次數 \ 水量	0cc		150cc		300cc		450cc		488cc	
	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數
第一次	X	0	X	0	X	0	5	16	X	0
第二次	X	0	X	0	X	0	2	19	10	11
第三次	X	0	X	0	X	0	8	13	X	0
第四次	X	0	X	0	X	0	3	18	X	0
第五次	X	0	X	0	X	0	3	18	X	0
成功率	0%		0%		0%		100%		20%	

表三 不同水量下每 2 秒撞擊一次實驗結果

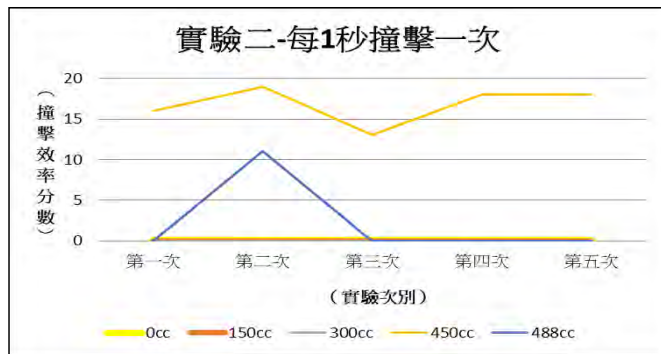
次數 \ 水量	0cc		150cc		300cc		450cc		488cc	
	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數
第一次	X	0	X	0	X	0	2	19	5	16
第二次	X	0	X	0	X	0	2	19	2	19
第三次	X	0	X	0	X	0	3	18	4	17
第四次	X	0	X	0	X	0	6	15	3	18
第五次	X	0	X	0	X	0	2	19	6	15
成功率	0%		0%		0%		100%		100%	

表四 不同水量下每 3 秒撞擊一次實驗結果

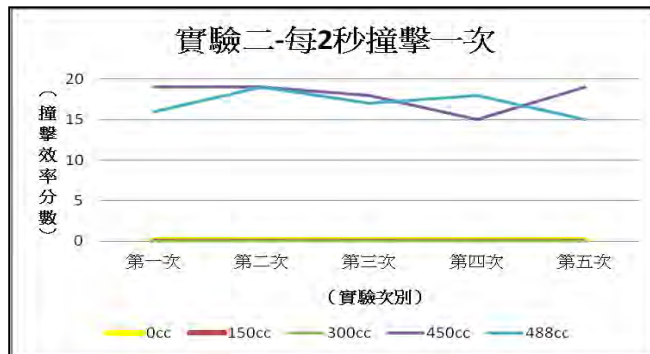
次數 \ 水量	0cc		150cc		300cc		450cc		488cc	
	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數
第一次	X	0	X	0	X	0	8	13	2	19
第二次	X	0	X	0	X	0	4	17	X	0
第三次	X	0	X	0	X	0	4	17	4	17
第四次	X	0	X	0	X	0	8	13	5	16
第五次	X	0	X	0	X	0	6	15	2	19
成功率	0%		0%		0%		100%		80%	

※表中 X 代表不移動。

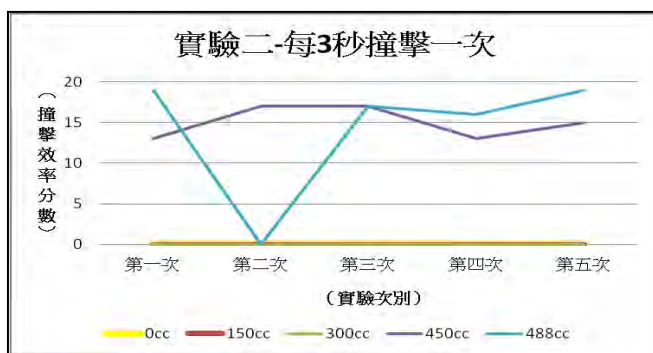
將表一～表四的資料依**撞擊效率分數**的規則製作成統計圖，圖四～圖七。



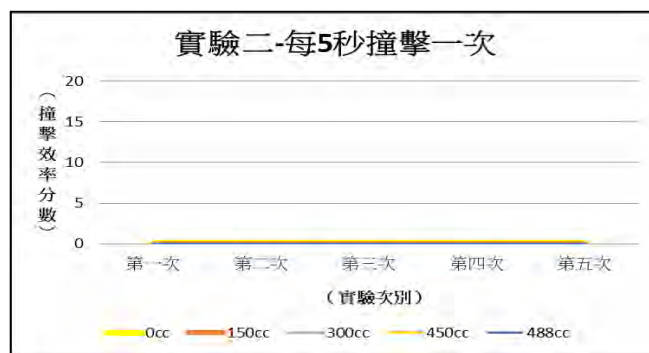
圖四 每 1 秒撞擊一次撞擊效率分數折線圖



圖五 每 2 秒撞擊一次撞擊效率分數折線圖



圖六 每 3 秒撞擊一次撞擊效率分數折線圖



圖七 每 5 秒撞擊一次撞擊效率分數折線圖

- (1) 0cc 組、150cc 組、300cc 組在不同的撞擊頻率下，撞擊 20 次，瓶塞皆不會移動。
- (2) 450cc 組在每 1 秒撞擊一次、每 2 秒撞擊一次、每 3 秒撞擊一次時移動瓶塞的成功率皆是 100%。
- (3) 488cc 組在每 1 秒撞擊一次時移動瓶塞的成功率是 20%，每 2 秒撞擊一次時移動瓶塞的成功率是 100%，每 3 秒撞擊一次時移動瓶塞的成功率是 80%。

### 3. 實驗發現：

- (1) 300cc 組在每 1 秒撞擊一次的實驗中，基於好奇嘗試提高撞擊次數，結果第三次實驗在第 26 次撞擊時移出，但第四次實驗撞擊了 54 次，第五次撞擊了 68 次卻仍然沒有移動，因此整體而言水量 300cc 組瓶塞並不容易移動。
- (2) 450cc 組移動瓶塞的成功率最高，488cc 組移動瓶塞的成功率次之，水量為 450cc 即瓶子容量的九成，後續實驗將以瓶子容量的九成來進行實驗。
- (3) 觀察到 0cc 組、150cc 組、300cc 組，水接觸到瓶塞的面積很小，接觸時間也很短；450cc 組、488cc 組瓶塞則會全程都接觸到水。

### 4. 實驗結果推測：

- (1) 不同水量會影響移動瓶塞的成功率，沒有水或水量太少，不論何種撞擊頻率，瓶塞皆無法移動，因此推論撞擊的力量必須透過水的傳遞去撞擊瓶塞，且水量要足夠，才能使瓶塞移動。



### (三) **實驗(三)** ▶ 探討能使瓶塞移動的臨界水量

依實驗二結果推論，水量要足夠才能使瓶塞移動，因此我們想知道多少的水量算足夠呢？因此將以實驗二的結果為基礎來探討臨界水量。

#### 1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，取 300~450cc 間不同水量，頻率以每 2 秒撞擊一次進行實驗。
- (2) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。

#### 2. 實驗結果：

表五 臨界水量實驗結果

水量 次數	380cc	340cc	320cc	310cc	300cc
成功率	100%	100%	100%	80%	0%



圖八 實驗三水面觀察

#### 3. 實驗發現：

- (1) 觀察發現，320cc 以上水量各組成功率皆為 100%，瓶塞在撞擊全程皆在水面下；310cc 組則有小部份瓶塞露出水面，而成功率為 80%，300cc 組已有將近半個瓶塞面露出，成功率為 0%。
- (2) 本實驗玻璃瓶的臨界水量為 320cc，即水面剛好蓋過瓶塞。

#### 4. 實驗結果推測：

- (1) 撞擊的力量必須透過水的傳遞去撞擊瓶塞，而足夠的水量是指必須讓瓶塞在撞擊過程中，全程都在水面下，以確保撞擊力的傳遞。

## 二、研究二：探討撞擊頻率對瓶塞移動的影響

在研究一的實驗中，發現撞擊頻率對瓶塞移動也有影響，因此接續研究探討。

### (一) **實驗(四)** ▶ 不同撞擊頻率對瓶塞移動的影響

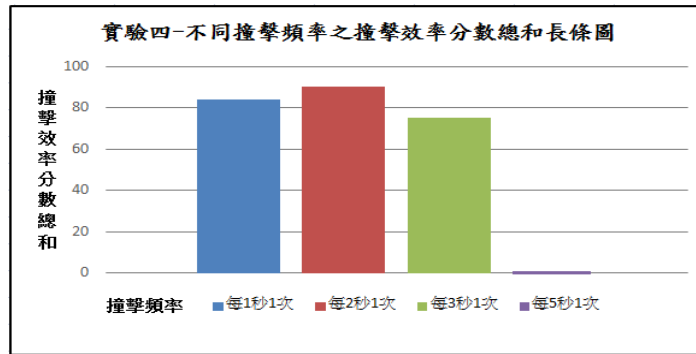
#### 1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，水量 450cc，撞擊頻率以每 1 秒撞一次、每 2 秒撞一次、每 3 秒撞一次、每 5 秒撞一次分別進行實驗。
- (2) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。

#### 2. 實驗結果：

表六 不同撞擊頻率實驗結果

撞擊頻率 次數	每 1 秒 1 次	每 2 秒 1 次	每 3 秒 1 次	每 5 秒 1 次
成功率	100%	100%	100%	0%



圖九 不同撞擊頻率之撞擊效率分數總和長條圖

3.實驗發現：

- (1) 以每 2 秒撞擊一次的效率分數 90 最高；每 1 秒撞擊一次的效率分數 84 次之；每 3 秒撞擊一次的效率分數 75；每 5 秒撞擊一次成功率為 0%。
- (2) 實驗中觀察到不同的撞擊頻率皆有產生氣泡的情形，但是氣泡產生的大小似乎沒有規律，另外發現氣泡比較小且多的時候，移動瓶塞的撞擊效率會比較好。

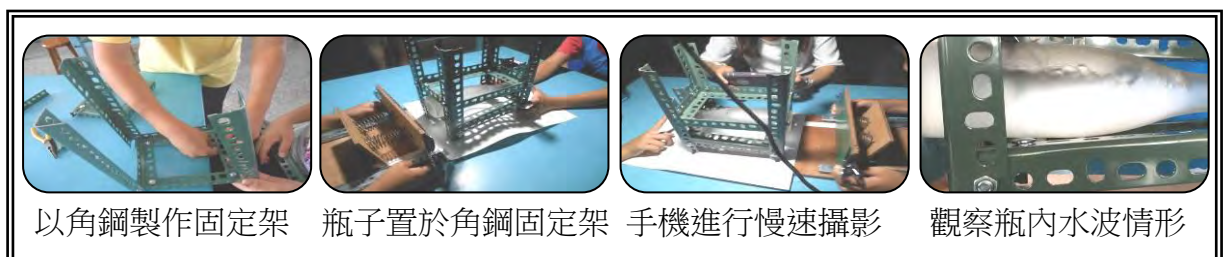
4.實驗結果推測：

- (1) 不同的撞擊頻率也會影響移動瓶塞的成功率，其中以每 1、2 秒撞擊一次的頻率最好，對照實驗一中每 5 秒撞擊一次皆無法成功，推論是撞擊頻率太低可能導致力量不足而無法移動瓶塞，因此推論撞擊頻率是影響瓶塞移動的因素，且撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率。
- (2) 氣泡的有無及多少可能會影響移動瓶塞的情形，後續將進一步探討。

(二) **實驗(五)** ▶ 觀察不同撞擊頻率下，瓶內水波的移動情形

1.實驗流程：

- (1) 將玻璃瓶固定於角鋼固定架上，依不同的撞擊頻率實施撞擊，透過手機慢速攝影，觀察影像。
- (2) 撞擊頻率分別為每 1、2、3、5 秒撞一次，水量為 450cc。

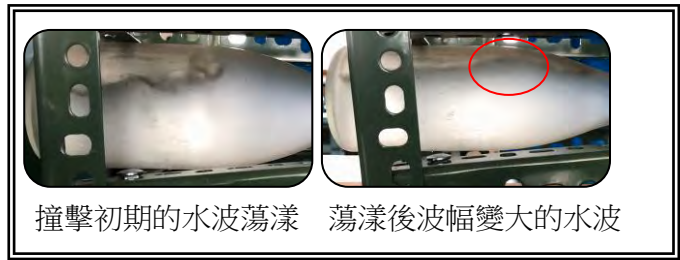


圖十 研究二實驗(五)實驗流程圖示

2. 實驗發現：

- (1) 玻璃瓶受到撞擊時，瓶內液體會受力往前沖撞，產生碎浪、氣泡等混亂的狀態，稱為「**蕩漾**」，此時相當複雜、難以分析。

(2) 撞擊頻率每 1 秒 1 次時，瓶內會一直處於蕩漾的狀態，無法出現完整的水波；撞擊頻率為每 2 秒 1 次、每 3 秒 1 次時，在蕩漾過後，會出現往返的水波，另有觀察到波幅較大的水波；撞擊頻率每 5 秒 1 次時，經蕩漾後，在下次撞擊前，水面是完全恢復平靜的狀態。



圖十一 實驗五水波觀察

3. 實驗結果推測：

- (1) 觀察到波幅較大的水波，經上網查詢資料，可能是產生共振現象、駐波或建設性干涉，經影片反覆觀看，發現水波會前進，因此排除駐波這個可能；而是否是共振現象，將接續研究。
- (2) 對應實驗四結果，每 1 秒撞擊 1 次，瓶內一直處於蕩漾的狀態，產生許多複雜的干涉，推論撞擊頻率高，能量可能較密集，有利於推動瓶塞；而每 2、3 秒撞擊 1 次觀察到波幅較大的水波，可能是建設性干涉或是共振；每 5 秒撞擊 1 次則是時間間隔太久，上一次的撞擊能量可能皆已耗損，才有下一次的撞擊。

(三) **實驗(六)** ▶ 探討瓶內是否產生共振現象

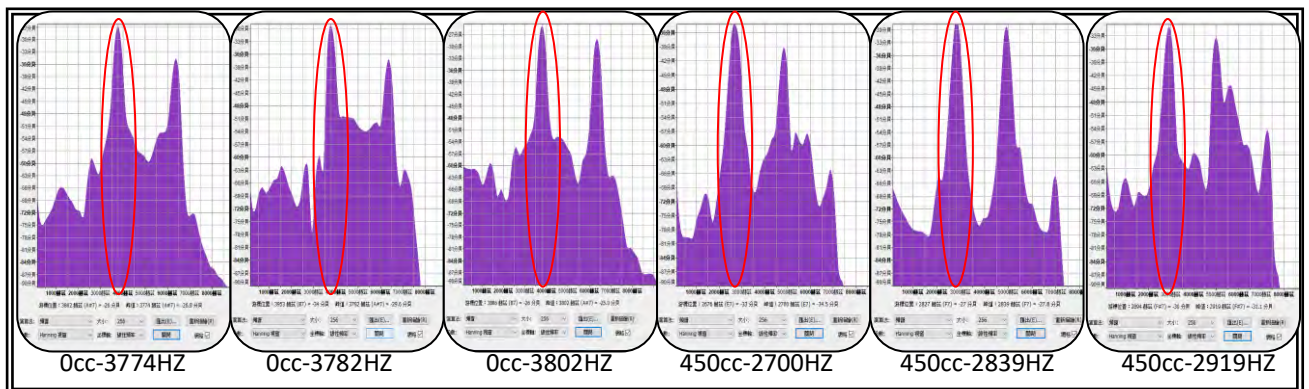
1. 實驗流程：

- (1) 敲擊玻璃瓶，以電腦透過收音麥克風錄下聲音，再以 audacity 軟體進行頻譜分析。
- (2) 玻璃瓶水量為 0cc 及 450cc，各進行三次。



圖十二 研究二實驗(六)實驗流程圖示

2. 實驗結果：



圖十三 實驗六 0cc 及 450cc 頻譜圖

### 3.實驗發現：

- (1) 以頻譜圖最大峰值視為玻璃瓶固有頻率，0cc 組平均 3786 赫茲；450cc 組平均 2819 赫茲。
- (2) 瓶內裝有液體時，玻璃瓶的固有頻率會降低。

### 4.實驗結果推測：

- (1) 以實驗結果來看，玻璃瓶的固有頻率遠高於本實驗撞擊頻率（每 1、2、3、5 秒撞擊一次），因此推論**本實驗並無共振現象**的發生。
- (2) 對應實驗五，觀察到較大波幅的水波，排除共振現象和駐波後，推論可能是水波的疊加，即產生建設性干涉。
- (3) 經上網搜尋資料，建設性干涉並不影響整個系統的能量，所以波幅較大的水波並不能代表有較大的能量發生。

## 三、研究三：探討撞擊力大小對瓶塞移動的影響

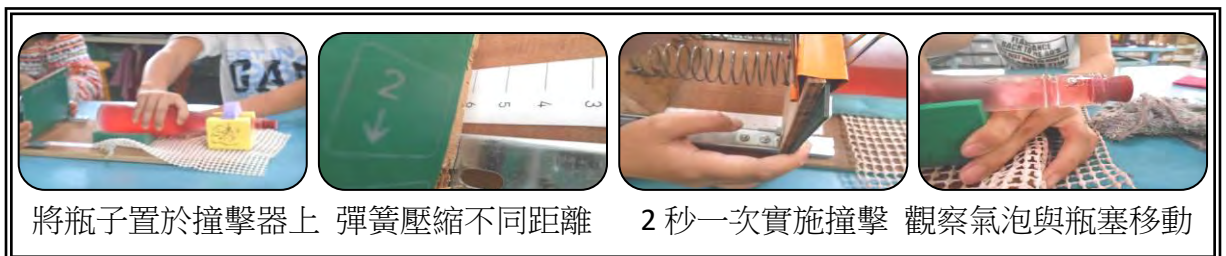
研究一中，我們也推論出撞擊力可能是影響瓶塞移動的因素，因此接續研究。

### (一) **實驗（七）**▶ 撞擊力大小對瓶塞移動的影響

操作變因:不同的彈簧壓縮量產生大小不同的撞擊力。

#### 1.實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，將撞擊板上的彈簧壓縮到 3cm、6cm、12cm 三組不同的撞擊力。
- (2) 撞擊頻率是每 2 秒撞一次，水量為 450cc。
- (3) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。



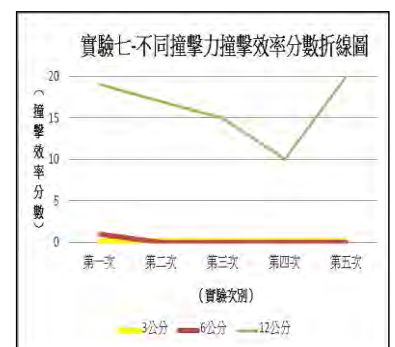
圖十四 研究三實驗（七）圖示

#### 2.實驗結果：

表七 不同彈簧壓縮量實驗結果

壓縮量 次數	3 公分		6 公分		12 公分	
	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數
第一次	X	0	20	1	2	19
第二次	X	0	X	0	4	17
第三次	X	0	X	0	6	15
第四次	X	0	X	0	11	10
第五次	X	0	X	0	1	20
成功率	0%		20%		100%	

※表中 X 代表不移動。



圖十五 實驗七折線圖

### 3.實驗發現：

- (1) 彈簧壓縮 3 公分組及 6 公分組，撞擊力較小，產生水波相對比彈簧壓縮 12 公分組小，傳遞出的力也相對較小。
- (2) 彈簧壓縮 3 公分組及 6 公分組在撞擊過程中，於瓶塞附近雖觀察到有氣泡，但撞擊過程中氣泡比較不會有繼續形成或形成更細小氣泡的情形。
- (3) 12 公分組產生氣泡的情形較多也較快，撞擊時瓶子的震動較大。

### 4.實驗結果推測：

- (1) **撞擊力的大小會影響瓶塞移動的成功率**，推測要有一定撞擊力才能推出瓶塞。我們推論瓶塞與瓶口有一定的摩擦力，會造成瓶塞移動的阻力，當撞擊力大於瓶塞的摩擦力時，才可能將瓶塞移動。
- (2) 後續將針對**瓶塞的摩擦力**這一因素進一步實驗觀察。

## (二) **實驗(八)** ▶ 探討撞擊力與瓶塞摩擦力

### 1.實驗流程：

- (1) 利用彈簧常數公式，求出本實驗用彈簧常數，再利用虎克定律  $F=-KX$ ，求出彈簧撞擊力。
- (2) 以彈簧秤拉起瓶塞，求出瓶塞摩擦力。

### 2.實驗結果：

#### 拉伸彈簧-彈簧常數公式 [編輯]

彈簧常數以k表示，當彈簧被拉長時，每增加1mm行程之負荷(kgf/mm)。

$$K = \frac{G * d^4}{8 * D_o^3 * N_c} \text{ kgf/mm.}$$

G= 線材之剪切模數

琴鋼線 G=8000

不銹鋼線 G=7300

磷青銅線 G=4500

黃銅線 G=3500

d= 線徑

D<sub>o</sub>=OD =外徑

D<sub>i</sub>=ID = 內徑

D<sub>m</sub>=MD =中心徑 =D<sub>o</sub> - d

N = 總圈數

N<sub>c</sub> =有效圈數=N - 2

#### 壓縮彈簧彈力計算公式

請輸入以下數值可求得彈力值與K值

單位:	g/mm
彈簧材料:	琴鋼線
線徑(mm):	2
外徑(mm):	40
有效圈數:	11
彈簧自由長度:	150
彈簧壓縮高度:	30
<input type="button" value="進行計算"/>	
依照您所輸入的條件可獲得以下數值	
K值:	26.508 g/mm

以彈簧常數公式求出本實驗用彈簧的常數K值  $k_1=26.508 \text{ gw/mm}$ 。撞擊板上採兩相同彈簧並排，故  $K = k_1+k_1=53.016 \text{ gw/mm}$

- (1) 利用虎克定律，求出彈簧壓縮產生的力。

壓縮 12cm 時， $F=-KX=53.016 \text{ gw/mm} \times 120 \text{ mm} = 6361.92 \text{ gw}$ 。

壓縮 6 cm 時， $F=-KX=53.016 \text{ gw/mm} \times 60 \text{ mm} = 3180.96 \text{ gw}$ 。

壓縮 3 cm 時， $F=-KX=53.016 \text{ gw/mm} \times 30 \text{ mm} = 1590.48 \text{ gw}$ 。

- (2) 以彈簧秤拉起塞入 0.8cm 的橡膠塞，如右圖，測得橡膠塞的摩擦力約為 1000gw



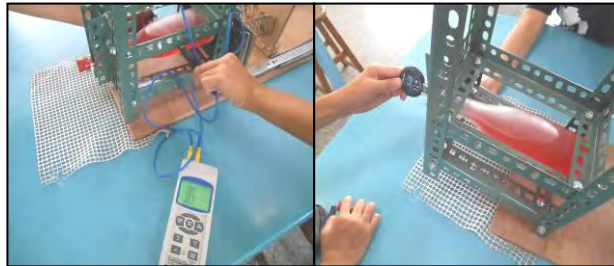
圖十六 瓶塞摩擦力量測

### 3.實驗發現：

- (1) 彈簧壓縮 3、6、12cm 時，撞擊力皆大於橡膠塞的摩擦力，可是依實驗七結果，彈簧壓縮 3、6cm 時，瓶塞移動情形不佳。
- (2) 壓縮 12cm 時，撞擊力雖遠大於瓶塞的摩擦力，但卻沒有每次撞擊就使瓶塞移動。

#### 4.實驗結果推測：

- (1) 撞擊力的能量在瓶內發生阻力損耗，可能是液體與玻璃瓶的摩擦阻力或液體分子間的摩擦，讓撞擊力傳遞到瓶塞時，力量已大幅減損。
- (2) 依據質能守恆定律，能量可能轉換成其他形式的能量，因此我們在玻璃瓶受到撞擊 20 次前後測量瓶子外部及瓶內水的溫度共 3 次，發現瓶子外部的溫度並沒有變化，但是瓶內水的溫度上升了 0.1 度。驗證了部份撞擊能量轉換成熱能的推論。



圖十七 撞擊二十次前後量測瓶溫及水溫

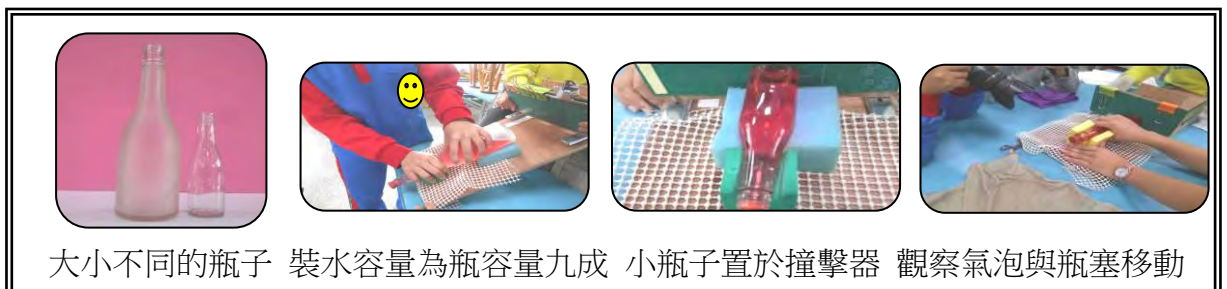
#### 四、研究四：探討瓶子因素對瓶塞移動的影響

市面有大小不同的酒瓶，我們想知道不同大小的瓶子是否會影響瓶塞移動；另網路影片中，皆以酒瓶瓶身套在皮鞋中垂直敲擊牆面，使瓶身呈水平。我們想瞭解撞擊地面或其他角度的可行性，並觀察水與瓶塞接觸面積大小的影響。

##### (一) 實驗(九) ▶ 相同形狀、不同大小的瓶子對瓶塞移動的影響

###### 1. 實驗流程：

- (1) 形狀皆是圓身長頸的玻璃瓶，大瓶組總容量是 500 cc，總長度是 29 公分；小瓶組總容量是 128 cc，總長度是 17.5 公分。
- (2) 大瓶組瓶塞是上徑 2.3 公分、高 2.3 公分、下徑 1.7 公分的橡皮塞；小瓶組瓶塞是上徑 1.6 公分、高 1.7 公分、下徑 1.3 公分的橡皮塞。
- (3) 依比例計算，大瓶組瓶塞塞入瓶口內 0.8 公分；小瓶組瓶塞塞入瓶口內 0.6 公分
- (4) 在撞擊器的撞擊板上黏貼 0.2 公分的橡膠墊，彈簧壓縮到 12 公分。
- (5) 瓶子放置在撞擊器上與地面夾角是 0 度。
- (6) 玻璃瓶內紅色純水量皆為瓶子容量的九成，分別為 450cc 及 115cc。
- (7) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。
- (8) 撞擊頻率分成每 1 秒撞一次、每 2 秒撞一次、每 3 秒撞一次、每 5 秒撞一次。



大小不同的瓶子 裝水容量為瓶容量九成 小瓶子置於撞擊器 觀察氣泡與瓶塞移動

圖十八 研究四實驗(九)圖示

2.實驗結果：

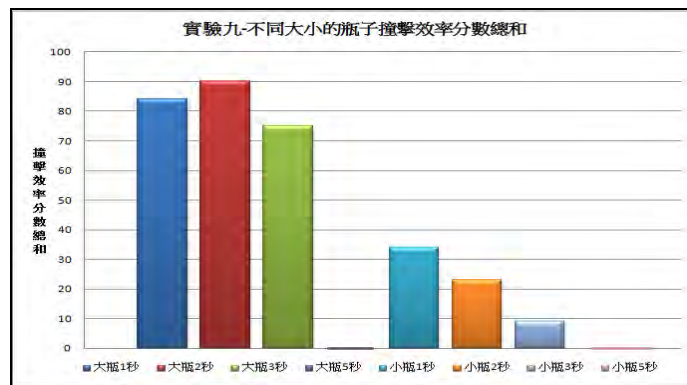
表八 大瓶組實驗結果

撞擊頻率 次數	每 1 秒撞一次		每 2 秒撞一次		每 3 秒撞一次		每 5 秒撞一次	
	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數
第一次	5	16	2	19	8	13	X	0
第二次	2	19	2	19	4	17	X	0
第三次	8	13	3	18	4	17	X	0
第四次	3	18	6	15	8	13	X	0
第五次	3	18	2	19	6	15	X	0
成功率	100%		100%		100%		0%	

表九 小瓶組實驗結果

撞擊頻率 次數	每 1 秒撞一次		每 2 秒撞一次		每 3 秒撞一次		每 5 秒撞一次	
	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數
第一次	X	0	X	0	X	0	X	0
第二次	X	0	X	0	X	0	X	0
第三次	2	19	9	12	X	0	X	0
第四次	6	15	10	11	X	0	X	0
第五次	X	0	X	0	12	9	X	0
成功率	40%		40%		20%		0%	

※表中 X 代表不移動。



圖十九 實驗九不同大小瓶子折線圖

3.實驗發現：

- (1) 整體而言，小瓶組移動瓶塞的成功率低於大瓶組。
- (2) 大、小瓶組皆以每 2 秒撞一次及每 1 秒撞一次的撞擊頻率成功率最好。

4.實驗結果推測：

- (1) 對照實驗四的結論，大致符合撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率。
- (2) 小瓶組成功率明顯低於大瓶組，我們推論是不同長度瓶身會影響瓶塞的移動效率，但是本實驗中，大小瓶組除了長度外，還有很多不同的變因，因此無法據此實驗驗證這項推論，將接續再做研究。

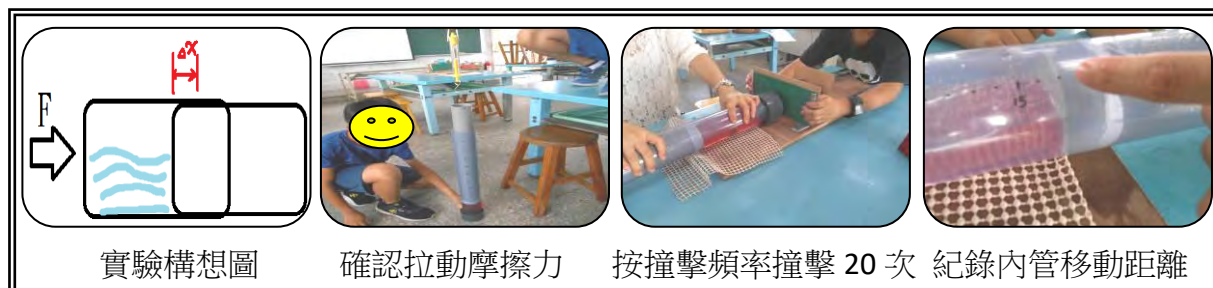
(二) **實驗(十)** ▶ 不同瓶身長度的瓶塞移動的影響

1.實驗流程：

- (1) 以 2-1/2 吋圓筒型的 PVC 透明管為外管，外側以量尺標上刻度，一端套上管帽為

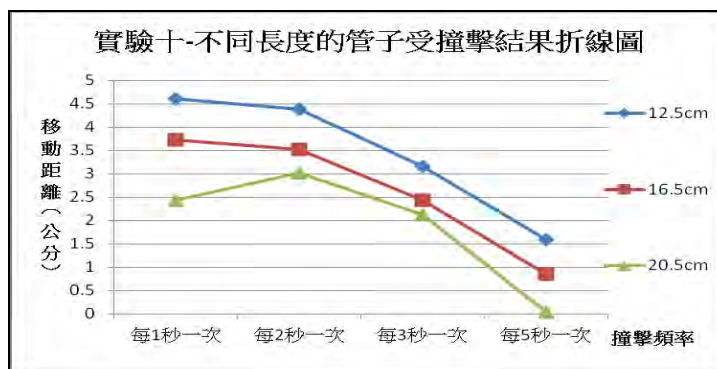
撞擊面，將透明管內倒入 500cc、600cc、700cc 的水，並分別紀錄下刻度為 12.5cm、16.5cm、20.5cm。

- (2) 在透明管另一端以封口塑膠管當內管塞至刻度處，拉動的摩擦力為 1000gw。
- (3) 倒入各組九成的水，分別為 450cc、540cc、630cc。
- (4) 撞擊器以每 1 秒、2 秒、3 秒、5 秒撞擊一次的撞擊頻率分組進行撞擊，每次撞擊 20 下，撞擊完成再紀錄下塑膠管往外移動的距離。



圖二十 研究四實驗（十）圖示

## 2. 實驗結果：



圖二十一 實驗十實驗結果折線圖

## 3. 實驗發現：

- (1) 移動距離以 12.5cm 組最長，20.5cm 組最短；頻率為每 1 秒撞一次的移動距離最長，每 5 秒撞一次的移動距離最短。
- (2) 5 秒撞一次的撞擊頻率下，發現過程中，各組都有出現內管稍微往內移動的情形，20.5cm 組甚至有三次在撞擊後呈現負移動的情形。

## 4. 實驗結果推測：

- (1) 依實驗結果，實驗九推論的不同長度瓶身會影響瓶塞的移動效率得以驗證，**長度越長，能量損耗越多，移動效率越差。**
- (2) 驗證實驗四中撞擊頻率是影響瓶塞移動的因素，且**撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率**的推論。

## (二) **實驗（十一）** ▶ 不同瓶身角度對瓶塞移動的影響

### 1. 實驗流程：

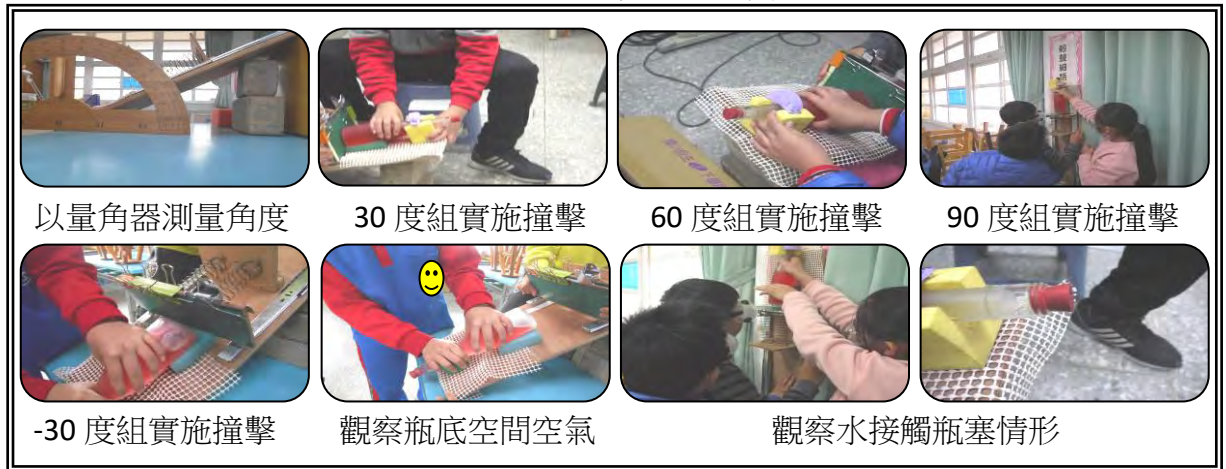
- (1) 流程同實驗一，瓶子放置在撞擊器上與地面夾角，分別為 0 度、30 度、60 度、



90度、-30度五組。

(2) 撞擊頻率是每2秒撞一次，水量為450cc。

(3) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以20次為限，重複實驗5次。



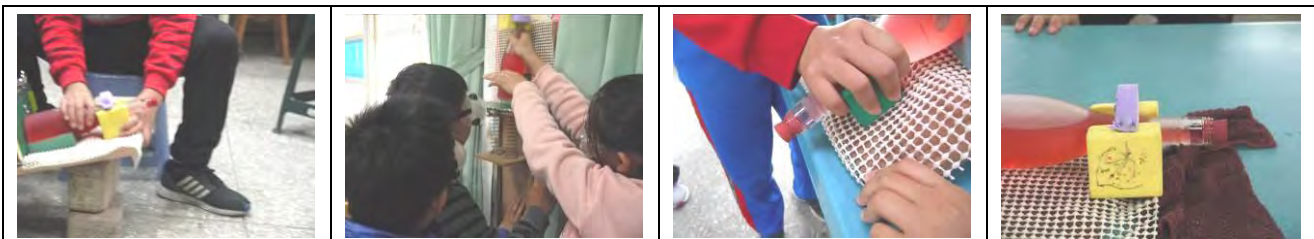
圖二十二 研究四實驗（十一）圖示

2.實驗結果：

表十 不同瓶身角度實驗結果

瓶身角度 次數	0度	30度	60度	90度	-30度
第一次	第2次飛出	不移動	不移動	不移動	不移動
第二次	第2次飛出	不移動	不移動	不移動	不移動
第三次	第3次飛出	不移動	不移動	不移動	不移動
第四次	第6次飛出	不移動	不移動	不移動	不移動
第五次	第2次飛出	不移動	不移動	不移動	不移動
成功率	100%	0%	0%	0%	0%

3.實驗發現：



撞擊過程中，觀察到0度組及-30度組的瓶塞會全程完全接觸到水；30度組及60度組的瓶塞則是有極短時間接觸到水；90度組則完全不會接觸到水。



-30度組操作實驗時瓶口朝向斜下方，斜上方瓶內底部的空間為空氣，因此並未全程皆接觸到水。撞擊時瓶內的水沒有前進水波。

#### 4.實驗結果推測：

- (1) 要移動瓶塞，**瓶身角度須以水平方向擺置**，且與實驗二的結論相對應，**瓶內要有足夠的水量以確保瓶塞全程皆在水中**讓撞擊力能傳遞。
- (2) 推論撞擊面與水之間如隔著空氣則無法將撞擊力傳遞出去。
- (3) 瓶內液體的種類是否會影響瓶塞移動，後續將進一步探討。

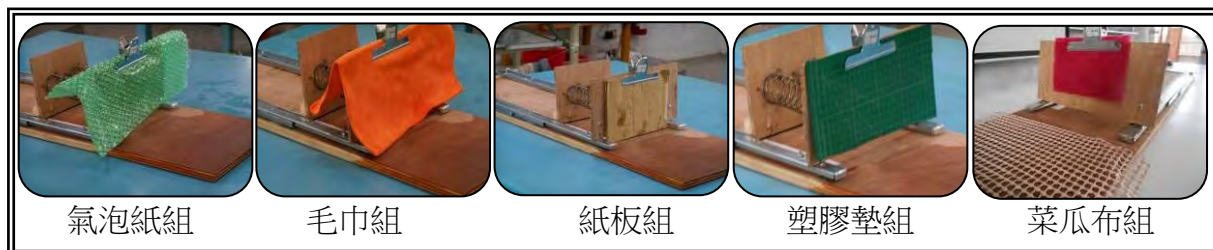
### 五、研究五：探討墊子對瓶塞移動的影響

網路影片中酒瓶套入皮鞋中，隔著皮鞋底部敲擊牆面，除了皮鞋，可否使用其他材質的墊子代替？

#### (一) **實驗(十二)**▶ 不同材質的墊子對瓶塞移動的影響

##### 1.實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，實驗用墊子分別為氣泡紙、毛巾、紙板、塑膠墊、菜瓜布，共計 5 組，分別以原材質的一層及固定厚度進行實驗。
- (2) 撞擊頻率是每 2 秒撞一次，水量為 450cc。
- (3) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。



圖二十三 研究五實驗(十二)圖示

##### 2.實驗結果：

表十一 不同材質墊子實驗結果

材質 次數	氣泡紙 0.5cm	氣泡紙 1 cm	毛巾 0.2cm	毛巾 1cm	毛巾 2cm	紙板 0.5cm	紙板 1cm	塑膠墊 0.2cm	塑膠墊 1cm	菜瓜布 0.5cm	菜瓜布 1cm
第一次	第10次	第4次	第2次	第2次	不移動	第3次	第4次	第3次	第2次	第12次	第2次
第二次	第8次	第8次	第2次	第3次	不移動	第4次	第6次	第6次	第2次	第8次	第4次
第三次	第9次	第4次	第4次	第5次	不移動	第5次	第4次	第3次	第4次	第5次	第3次
第四次	第4次	第2次	第6次	第2次	不移動	第10次	第5次	第4次	第7次	第3次	第4次
第五次	第2次	第1次	第5次	第7次	不移動	第7次	第3次	第6次	第6次	第2次	第4次
成功率	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
撞擊效率 分數 總和	72	86	86	86	0	76	83	83	84	75	88

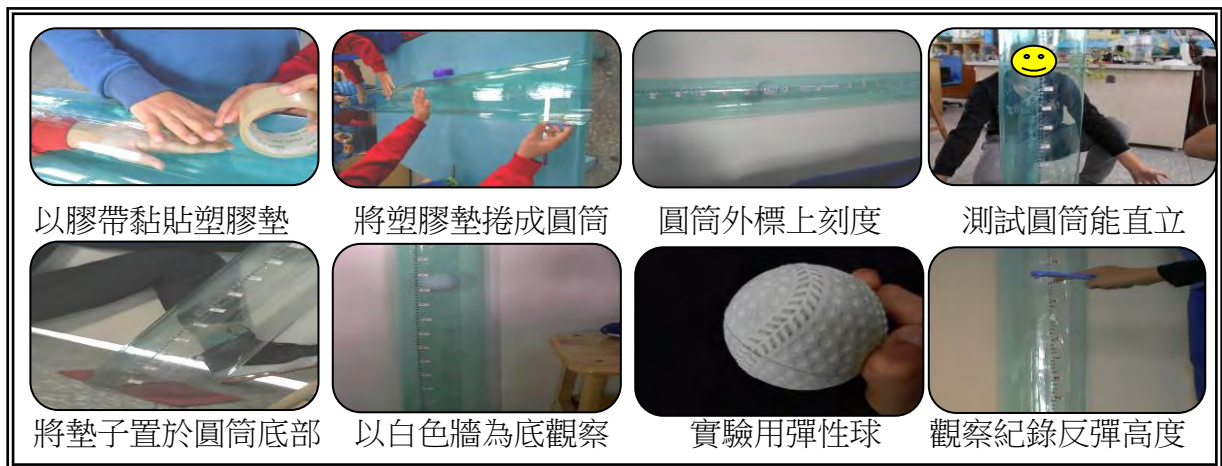
##### 3.實驗結果推測：

- (1) 原本我們預期緩衝性較好的材質，瓶塞移動的成功率會降低，而實驗中使用不同材質，如皆取厚度為 1cm 各組相比較，並無明顯差異，這個結果與我們預設的結果不符合。
- (2) 毛巾 2cm 組相較明顯變厚，推論應該吸收比較多的撞擊力，即緩衝性較佳，所以力量不足以推動瓶塞，此與我們的預設結果相符。
- (3) 後續我們想針對本實驗所使用墊子，測試緩衝性，再進一步作探討。

(二) **實驗(十三)** ▶ 不同墊子的彈性測試

1. 實驗流程：

- (1) 將透明塑膠墊捲成圓筒狀，開口直徑約 15 公分，高度 180 公分，筒外標記高度。
- (2) 將圓筒立起，取彈性球於頂端自由落下，紀錄第一個反彈的高度。
- (3) 球落下或反彈過程如有觸碰圓筒則不採計。
- (4) 圓筒底部分別為地板（無墊子）、氣泡紙 0.5 cm、1cm；毛巾 0.2 cm、1 cm、2cm；紙板 0.5 cm、1cm；塑膠墊 0.2 cm、1cm；菜瓜布 0.5 cm、1cm。
- (5) 各組墊子皆重複實驗 5 次，紀錄球第一次反彈的高度（公分）。



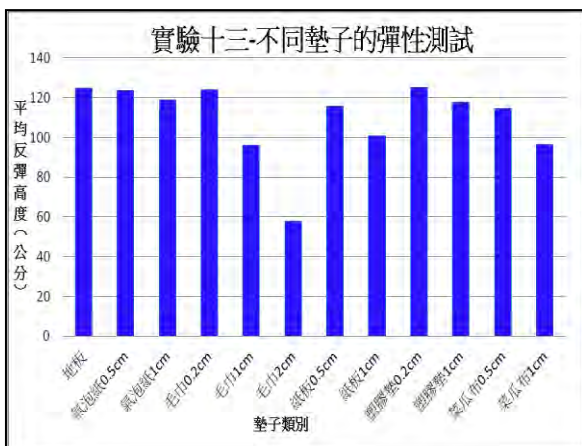
圖二十四 研究五實驗(十三)圖示

2. 實驗結果：

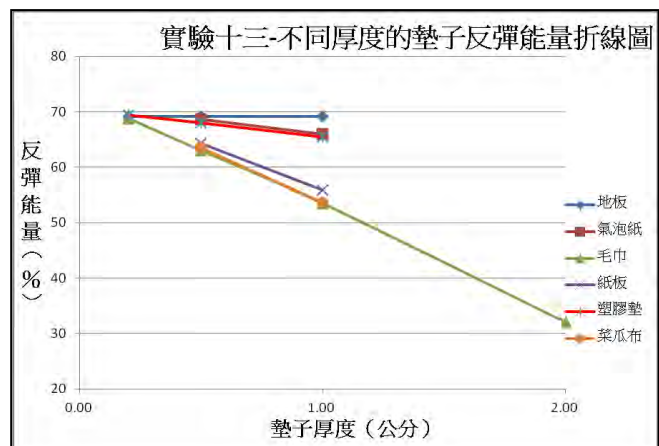
$$\text{反彈能量 (\%)} = \frac{\text{第一次反彈高度}}{\text{初始的落下高度}} \%$$

表十二 不同墊子的彈性測試結果

材質 次數	地板	氣泡紙 0.5cm	氣泡紙 1 cm	毛巾 0.2cm	毛巾 1cm	毛巾 2cm	紙板 0.5cm	紙板 1cm	塑膠墊 0.2cm	塑膠墊 1cm	菜瓜布 0.5cm	菜瓜布 1cm
平均	124.6	123.6	118.8	123.8	96.2	57.6	115.8	100.6	125	117.8	114.4	96.4
反彈 能量 %	69.22	68.67	66	68.78	53.44	32	64.33	55.89	69.44	65.44	63.55	53.56



圖二十五 不同墊子彈性測試長條圖



圖二十六 不同厚度的墊子反彈能量折線圖

- (1) 不鋪墊子，彈性球直接撞地反彈高度平均約 124.6 cm。
- (2) 所有墊子除塑膠墊 0.2 cm 組外，其他組反彈高度都有減少，減少最少的是氣泡紙 0.5 cm 組，反彈高度平均 123.6 公分，僅差 1 cm；減少最多的是毛巾 2 cm 組，反彈高度平均 57.6 cm，減少約 67 cm。
- (3) 塑膠墊 0.2 cm 組反彈高度幾乎等同沒鋪任何東西，可以視為與撞擊地板相同。

### 3. 實驗發現：

- (1) 依據圖二十六，不同材質的 5 組，反彈能量與材質的厚度呈負相關，厚度越厚反彈能量越差，即緩衝性越好。依圖二十六各線圖的斜率，可以看出緩衝性較好的材質是毛巾和菜瓜布，緩衝性較差的材質是橡膠墊和氣泡紙。
- (2) 比對實驗十二的撞擊結果，雖然各材質間的緩衝性有差異，但在撞擊結果上並沒有產生顯著差異。
- (3) 毛巾組因為材料取得方便，操作了 0.2cm、1cm、2cm 組，發現反彈高度明顯隨著厚度增加而降低，比對實驗十二的撞擊結果，0.2cm 及 1cm 兩組並無明顯差異，但是 2cm 組就產生明顯差異，瓶塞無法順利移動。

### 4. 實驗結果推測：

- (1) 對應到實驗八，瓶塞與瓶口有摩擦力，經墊子的緩衝後所剩的力再傳遞到瓶塞處，經阻力損耗後如大於瓶口摩擦力時，瓶塞仍可移動。以此檢視實驗十二的結果，雖然各材質間的緩衝性有差異，但是經墊子緩衝、瓶內阻力損耗後所剩的力皆大於瓶塞摩擦力，所以都能使瓶塞移動，因此瓶塞移動上沒有顯著差異。
- (2) 同材質但厚度增加，緩衝性也會增加，我們推測緩衝性增加會吸收掉較多的力量，因此當緩衝性達到某一個程度時，會造成撞擊力不足，導致最後無法大於瓶塞的摩擦力，便會使瓶塞無法移動。
- (3) 在實驗初期的仿作中，我們將紅酒瓶套入皮鞋中對牆撞擊，結果無法順利將瓶塞移動，可能就是因為該隻皮鞋的緩衝性較佳，使傳遞的力量不足的關係。
- (4) 運用鞋子開瓶時，應避免使用緩衝性太好的鞋底。

## 六、研究六：探討瓶塞差異對瓶塞移動的影響

市面上的紅酒大部分瓶塞都是軟木塞材質，這讓我們好奇瓶塞的材質是否也是影響開瓶的因素？

### (一) **實驗(十四)** ▶ 不同材質的瓶塞對瓶塞移動的影響

#### 1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，操作變因為瓶塞材質，分別為橡膠塞、軟木塞、矽膠塞、直條型軟木塞四組。撞擊頻率是每 2 秒撞一次，水量為 450cc。
- (2) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。

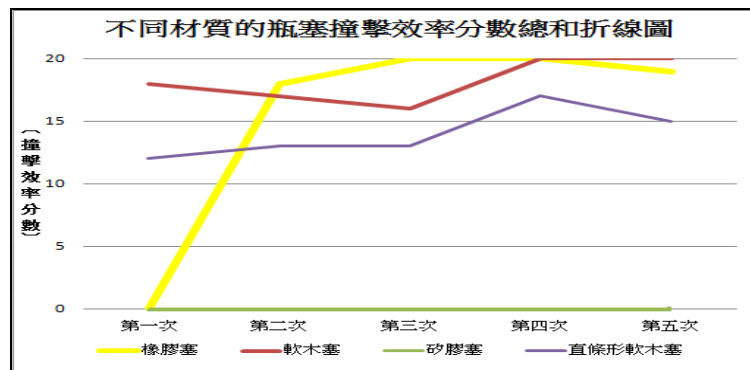


圖二十七 實驗十四用瓶塞

### 3. 實驗結果：

表十三 不同材質的瓶塞實驗結果

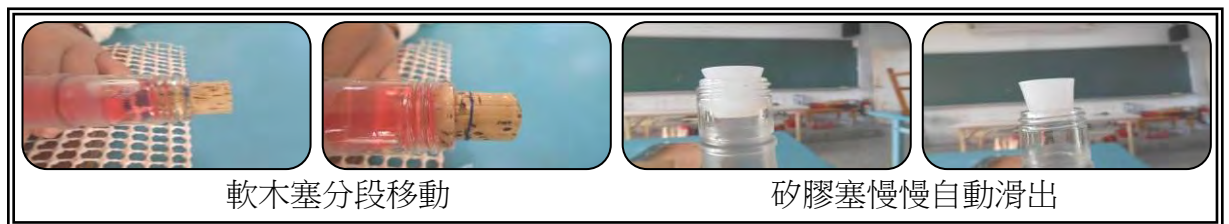
瓶塞材質 次數	橡膠塞		軟木塞		矽膠塞		直條形軟木塞	
	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數
第一次	X	0	3	18	自動彈出		9	12
第二次	3	18	4	17	自動彈出		8	13
第三次	1	20	5	16	自動彈出		8	13
第四次	1	20	1	20	自動彈出		4	17
第五次	2	19	1	20	自動彈出		6	15
成功率	80%		100%		無法順利實驗		100%	



圖二十八 實驗十四不同材質瓶塞撞擊效率分數折線圖

### 3. 實驗發現：

- (1) 直條形軟木塞組撞擊過程中瓶塞會一段一段移動，最後才飛出。
- (2) 軟木塞組有發現幾次受到撞擊反而會縮進瓶內的現象，打出的狀況是直接飛出。
- (3) 橡膠塞打出的狀況會直接飛出，不會分段；橡皮塞第一次沒在 20 次撞擊中打出。
- (4) 矽膠塞無法順利進行實驗，因為塞入瓶口的塞子會自己慢慢滑出。



圖二十九 實驗十四實驗觀察

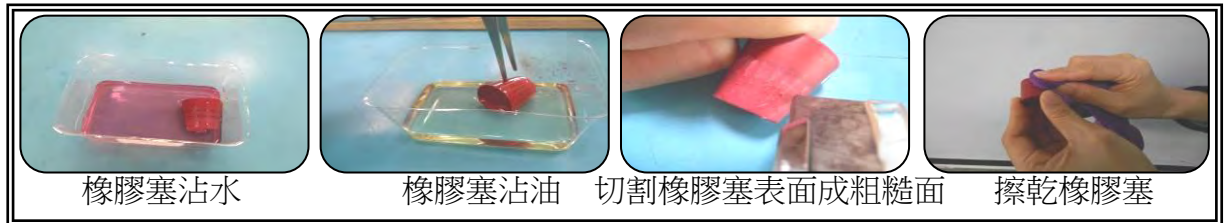
### 4. 實驗結果推測：

- (1) 橡膠塞第一次沒有撞擊移動讓我們覺得奇怪，經觀察討論我們推論是第一次瓶塞為完全乾燥的狀態，可能因此摩擦力較大，而沾過水後摩擦力可能減小。
- (2) 矽膠塞自動滑出可能是因為塞入瓶口造成瓶內空氣受到擠壓，使瓶內壓力增大，矽膠塞受瓶內壓力推擠而滑出；矽膠塞表面較光滑，推論是摩擦力比較小，容易被瓶內壓力推出，因此推測瓶塞的材質也是影響瓶塞移動的因素。
- (3) 直條型軟木塞因長度較長，接觸瓶子的部位較長，被移動後仍有接觸面，因此會有分段擊出的現象；但橡膠塞組、軟木塞組使用塞子皆為梯形，塞緊瓶口時接觸面積較短，受到撞擊後，接觸面會消失，所以會一次飛出。
- (4) 因摩擦力不同，不同材質的瓶塞會影響瓶塞移動的情形。

## (二) 實驗(十五) ▶ 瓶塞的表面性質對瓶塞移動的影響

### 1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，操作變因為橡膠塞的表面性質，分別為塞 0.8cm 沾水組、沾油組、切割組、擦乾組；塞 1.2cm 沾水組、沾油組、切割組、擦乾組，共計八組。
- (2) 撞擊頻率是每 2 秒撞一次，水量為 450cc。
- (3) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。



圖三十 研究六實驗(十五)圖示

### 2. 實驗結果：

表十四 不同的橡膠塞表面性質實驗結果

	塞 0.8cm 擦乾	塞 0.8cm 沾水	塞 0.8cm 沾油	塞 0.8cm 切割	塞 1.2cm 擦乾	塞 1.2cm 沾水	塞 1.2cm 沾油	塞 1.2cm 切割
成功率	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%
撞擊效率分數 總和	56	86	90	88	0	93	65	64

- (1) 塞 0.8cm 深的各組皆能在 20 次撞擊內讓瓶塞移動，擦乾組則不容易移動瓶塞。
- (2) 塞 1.2cm 深的各組，擦乾組五次皆不移動，其他三組以沾水組的效率較好。
- (3) 沾水和沾油組的移動效率較好，切割組次之，擦乾組最差。

### 3. 實驗發現：

- (1) 觀察到沾油組產生的氣泡有左右散開的情形，且氣泡有油狀泡沫，隨著撞擊次數增加，油狀泡沫會隨著增加，泡泡數量多的時候，瓶塞就會移動飛出。
- (2) 切割組的瓶塞只有切出裂痕，但並未切掉，以防破壞瓶塞形狀，但塞入瓶塞後發現切口會因瓶頸而又密合起來，切割的方式並不理想。
- (3) 沾水組泡水後，觀察到橡膠塞表面好像有一層水膜。
- (4) 擦乾組擦乾後，手觸摸表面感到有澀澀的觸感。

### 4. 實驗結果推測：

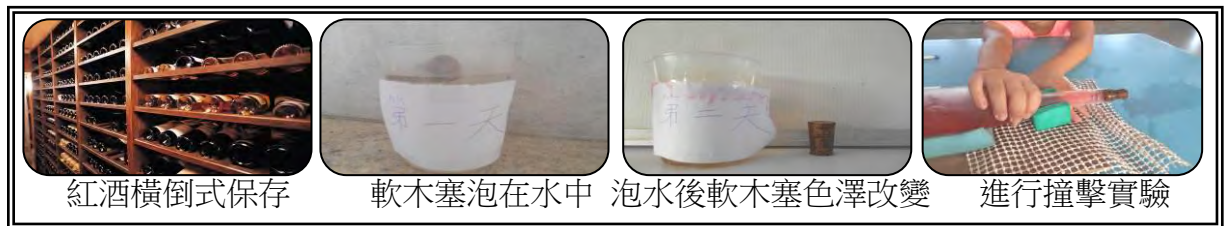
- (1) 瓶塞沾水或沾油會變得比較滑，推論會使摩擦力相對較小，而易於移動。
- (2) 切割組並未如我們預期產生更大的摩擦力，我們認為是我們切割橡膠塞的做法使得接觸瓶塞表面的摩擦力沒有產生太大變化。
- (3) 經此實驗，我們認為改變瓶塞的表面性質會影響瓶塞的移動成功率。
- (4) 再檢視實驗十四，矽膠塞表面光滑，塞入瓶中會自動慢慢滑出，應該是摩擦力太小，小於瓶內壓縮氣體的壓力，因此被推出。

### (三) **實驗(十六)** ▶ 探討酒瓶保存方式對瓶塞移動的影響

市面上賣的紅酒，除了直立陳列還有橫倒式的保存於酒瓶架上，而橫倒式保存的軟木塞長期浸觸著紅酒，是否會因為表面性質改變而容易打開呢？因此我們做實驗探討。

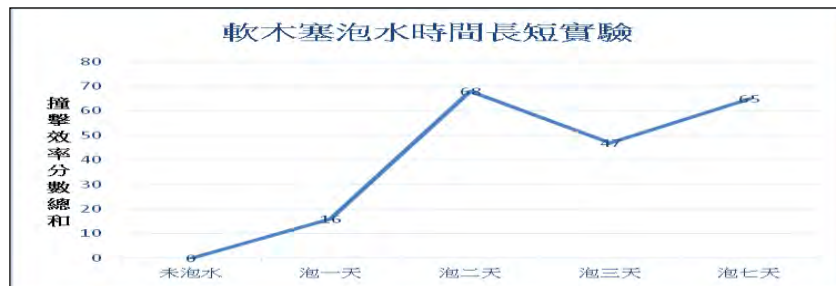
#### 1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，瓶塞使用軟木塞，分成沒有泡水、泡 1 天、泡 2 天、泡 3 天、泡 7 天，共計 5 組。水量 450cc，頻率以每 2 秒撞擊一次進行實驗。
- (2) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。



圖三十一 研究六實驗(十六)圖示

#### 2. 實驗結果：



圖三十二 軟木塞泡水時間實驗結果

#### 3. 實驗結果推測：

- (1) 經過泡水後，撞擊效率提升，與實驗十五結論相符。在泡二天以上的各組差異性變小，推論透過泡水提升瓶塞移動的效率僅能達到一定的效果。
- (2) 市面販售紅酒，橫倒式保存的酒瓶，據本實驗推論開瓶會比較容易一些。

## 七、研究七：探討瓶內液體對瓶塞移動的影響

我們在前面的實驗中發現，撞擊瓶子會有產生氣泡的現象，因此我們想要探討不同的液體及瓶內氣泡的多少會不會影響瓶塞移動。

### (一) **實驗(十七)** 不同的液體及其黏滯性對瓶塞移動的影響

#### 1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，操作變因是不同的瓶內液體，分別有汽水、純水、紅酒、2%太白粉水、5%太白粉水，瓶塞塞入深度分成 0.8cm 及 1.2cm，共計 10 組。
- (2) 液體量為 450cc，撞擊頻率是每 2 秒撞一次。
- (3) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。
- (4) 針對不同液體進行黏滯性實驗：將液體裝於開口有直徑 0.5cm 圓孔的瓶中，反轉垂直流下，測量液體流量從 100cc 到 500cc 歷經的時間。



汽水裝入瓶中有氣泡 太白粉水組實驗 紅酒倒入實驗瓶中 液體黏滯性實驗

圖三十三 研究七實驗（十七）圖示

2.實驗結果：

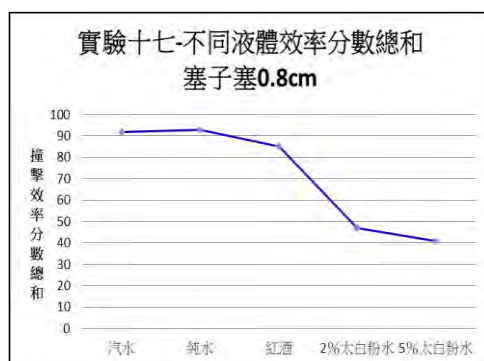
表十五 瓶塞塞 0.8 公分，不同的液體實驗結果

液體 次數	汽水		純水		紅酒		2%太白粉水		5%太白粉水	
	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數
第一次	4	17	4	17	5	16	12	9	7	14
第二次	4	17	1	20	6	15	9	12	X	0
第三次	1	20	2	19	1	20	X	0	5	16
第四次	2	19	1	20	5	16	14	7	10	11
第五次	2	19	4	17	3	18	2	19	X	0
成功率	100%		100%		100%		80%		60%	

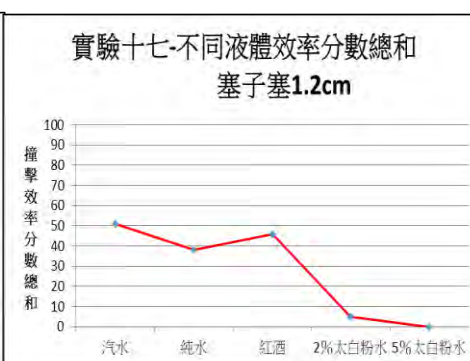
表十六 瓶塞塞 1.2 公分，不同的液體實驗結果

液體 次數	汽水		純水		紅酒		2%太白粉水		5%太白粉水	
	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數	第幾次 飛出	效率 分數
第一次	6	15	4	17	18	3	16	5	X	0
第二次	15	6	X	0	9	12	X	0	X	0
第三次	10	11	5	16	15	6	X	0	X	0
第四次	8	13	16	5	7	14	X	0	X	0
第五次	15	6	X	0	10	11	X	0	X	0
成功率	100%		60%		100%		20%		0%	

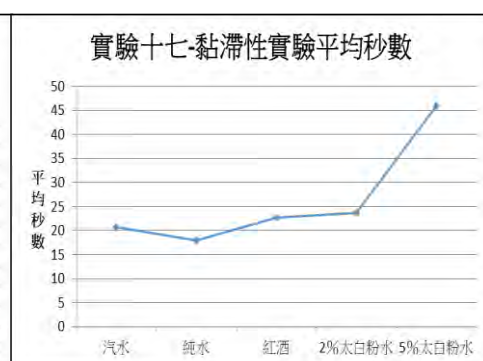
※表中 X 代表不移動。



圖三十四 實驗十七 0.8cm 組



圖三十五 實驗十七 1.2cm 組



圖三十六 黏滯性實驗結果

- (1) 瓶塞塞入 0.8 公分的組別中，汽水組、純水組、紅酒組的瓶塞移動的成功率皆為 100%，2%太白粉水組為 80%，5%太白粉水組為 60%。
- (2) 瓶塞塞入 1.2 公分的組別中，汽水組、紅酒組的瓶塞移動的成功率皆為 100%，純水組為 60%，2%太白粉水組為 20%，5%太白粉水組則為 0%。
- (3) 5%太白粉水的黏滯性最高，2%太白粉水次之；純水的黏滯性最低。



### 3. 實驗發現：

		
<p>汽水組的瓶塞移動情形都是以噴射方式移動，橡膠塞噴射距離約有三公尺遠，在撞擊的過程中觀察到瓶內快速產生很多細小的氣泡。</p>	<p>紅酒組在撞擊過程中瓶內也有很多細小泡沫，但是瓶塞移動的情形並沒有像汽水組噴得那麼遠，噴出的液體呈泡沫狀。</p>	<p>純水組在撞擊過程中瓶內有產生氣泡，但相對汽水、紅酒組，氣泡體積較大，數量較少，噴出的液體沒有呈泡沫狀。瓶塞噴出距離也相對短。</p>
		
<p>2%太白粉水組，看似液體也有流動性，以手觸摸有黏稠感，撞擊過程中也有產生體積較大的氣泡，瓶內產生的波動明顯較為緩慢。</p>	<p>5%太白粉水組成功率最低，液體雖會流動但流速非常緩慢，外觀有膠狀物的感覺，在撞擊過程中波動情形不明顯。</p>	<p>黏滯性實驗中，2%和5%太白粉水有結塊堵住流出口口的現象，尤其是5%太白粉水的結塊明顯。須經過過濾才能順利進行黏滯性實驗。</p>

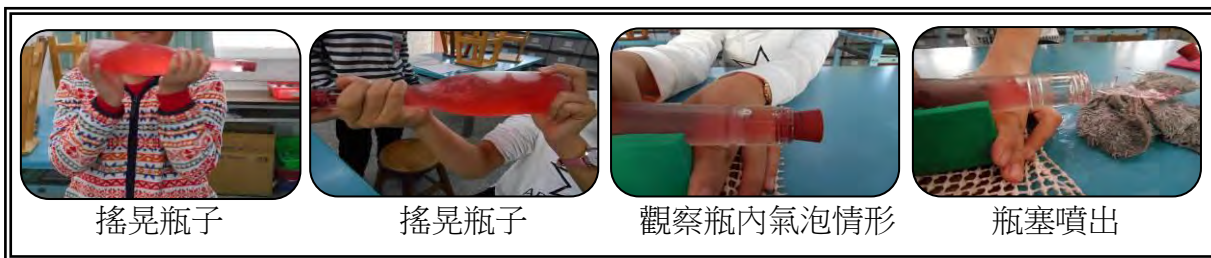
### 4. 實驗結果推測：

- (1) 橡膠塞塞入 1.2 公分相較於 0.8 公分，對於移動瓶塞會產生較大的阻力。
- (2) 汽水組的成功率最高，推論是汽水組在撞擊的過程中形成許多氣泡所造成，經搜尋網路資料，我們推論汽水組的氣泡可能產生**空蝕現象**，造成強大的衝擊波讓瓶塞被噴射而出。
- (3) 太白粉水黏滯性高，屬於非牛頓流體，經外力撞擊會有固化的現象，不利於力的傳遞，因此推論**黏滯性高的液體移動瓶塞的成功率較差**。
- (4) 對照圖三十四至圖三十六，發現黏滯性越高的液體，撞擊效率越差；因此推論**不同的液體會影響瓶塞移動的情形，黏滯性高的液體，瓶塞移動成功率較差**。
- (5) 紅酒的黏滯性高於純水，但是在 1.2cm 的實驗中，紅酒組的移動效率卻比純水組好，透過實驗觀察，我們發現紅酒有產生很多細微的氣泡，因此推論容易產生氣泡的液體，瓶塞移動成功率較好，瓶內的氣泡數量是否是影響瓶塞移動的因素也讓人好奇，我們後續將進一步探討。

(二) **實驗(十八)** 搖晃時間不同而產生氣泡量不同對瓶塞移動的影響

1. 實驗流程：

- (1) 流程同實驗一，操作變因是搖晃時間，分別為沒搖過的純水、搖晃 30 秒的純水、搖晃 5 分鐘的純水。瓶塞塞入深度分成 0.8cm 及 1.2cm，共計 6 組。
- (2) 搖晃方式是模擬撞擊的左右搖晃，搖晃後，確認瓶塞位於設定深度。撞擊頻率是每 2 秒撞一次，液體量為 450 cc
- (3) 瓶塞脫落後記錄撞擊次數，以 20 次為限，重複實驗 5 次。



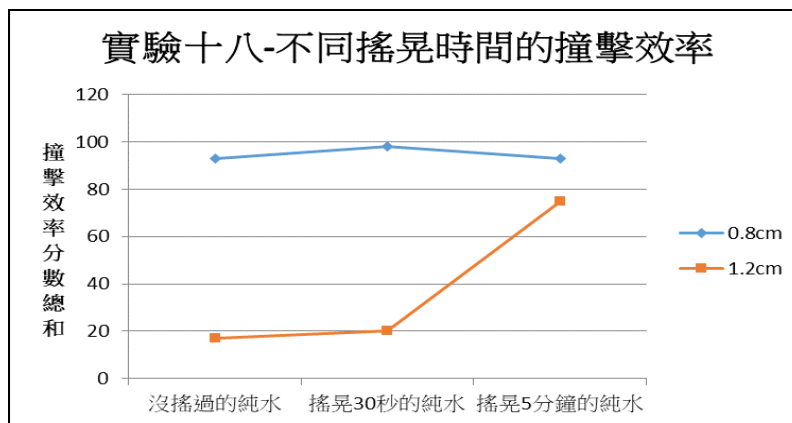
圖三十七 研究七實驗(十八)圖示

2. 實驗結果：

表十七 搖晃時間實驗結果

搖晃情形 次數	沒搖過的純水 0.8cm		沒搖過的純水 1.2cm		搖晃 30 秒 的純水 0.8cm		搖晃 30 秒 的純水 1.2cm		搖晃 5 分鐘 的純水 0.8 cm		搖晃 5 分鐘 的純水 1.2cm	
	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數	第幾次飛出	效率分數
第一次	4	17	X	0	2	19	X	0	1	20	2	19
第二次	1	20	4	17	1	20	7	14	5	16	6	15
第三次	2	19	X	0	1	20	X	0	3	18	5	16
第四次	1	20	X	0	1	20	15	6	2	19	6	15
第五次	4	17	X	0	2	19	X	0	1	20	11	10
成功率	100%		20%		100%		40%		100%		100%	

※表中 X 代表不移動。



圖三十八 實驗十八-不同搖晃時間的撞擊效率折線圖

- (1) 在塞 0.8cm 的情形下，有無事先搖晃瓶子並沒有明顯差異。
- (2) 在塞 1.2cm 的情形下，搖晃 5 分鐘組比其他兩組瓶塞容易移出。

### 3. 實驗發現：

- (1) 觀察到搖晃 5 分鐘組，瓶內會產生較多的氣泡，且瓶塞移出時會噴得比較遠，塞 0.8cm 時會比塞 1.2cm 時噴得更遠些。
- (2) 純水要產生氣泡相較汽水、紅酒是不容易的，純水搖晃 30 秒並無太大變化。
- (3) 塞 0.8cm 組，搖晃 5 分鐘組有發生過幾次大約搖晃 4 分鐘左右時，瓶塞即移動掉出而須重新操作的狀況。

### 4. 實驗結果推測：

- (1) 瓶內液體如果能產生較多氣泡，較容易使瓶塞移動。經查詢資料，我們推論可能產生空蝕現象，產生較強的衝擊波，讓瓶塞移動。
- (2) 對照實驗十七，氣泡產生的多寡與液體性質有關，容易產生氣泡的液體，相較容易使瓶塞移動。
- (3) 空蝕現象的發生並無法掌控，因此我們認為瓶塞移動的主要因素還是靠撞擊力的傳遞來推動瓶塞，而空蝕現象的發生則有助於瓶塞的移動。

## 八、研究八：探討流體動力學及空蝕現象與皮鞋開瓶的關係

上網搜尋資料，我們認為可以用來解釋本實驗有關的理論是流體動力學與空蝕現象。

### (一) 流體：

氣體與液體統稱為「流體」，「流體」可以分成「牛頓流體」及「非牛頓流體」兩類，牛頓流體不論流體所受的力如何，流體都能繼續流動，例如，水就是一種牛頓流體，因為不管它攪拌得多快，它都能繼續表現出流體的性質。而非牛頓流體作用於液體微元上的摩擦力除與目前的運動狀態外還與液體過去的運動狀態有關，也就是說，此種液體有記憶效應，如瀝青，熔融狀態的塑膠，聚合物溶液，懸浮液（比如血液）。其中一種比較廣為人知及易於家中試製的非牛頓流體為玉米澱粉加水的製成品。本實驗中純水、紅酒都屬於牛頓流體，而太白粉水則屬於非牛頓流體。

### (二) 流體動力學：

流體動力學（Fluid dynamics）是流體力學的一門子學科。流體動力學研究的對象是運動中的流體（含液體和氣體）的狀態與規律。流體動力學的基本公理為守恆律，特別是質量守恆、動量守恆（也稱作牛頓第二與第三定律）以及能量守恆。除了上面所述，流體還假設遵守「連續性假設」（continuum assumption）。流體由分子所組成，彼此互相碰撞，也與固體相碰撞。然而，連續性假設考慮了流體是連續的，而非離散的。因此，諸如密度、壓力、溫度以及速度等性質都被視作是在無限小的點上具有良好定義的，並且從一點到另一點是連續變動。流體是由離散的分子所構成的這項事實則被忽略。

### (三) 空蝕現象：

空蝕現象（Cavitation），又譯氣穴現象、氣蝕現象或空洞現象，指的是在流動的液體中氣相的空穴 - 亦即極小的無液體空間（「氣泡」或「空隙」） - 產生與消滅的一種物理現象，是力作用在液體的結果。液體受到壓力的快速改變時會產生空穴，此時的壓力通常

相當低，除了液體本身的蒸汽壓，可以說是真空。當環境的壓力變高，空穴分裂，產生強力的衝擊波。

本實驗中，撞擊器施力於酒瓶於瓶中形成壓力波，一次次的壓力波在瓶中來回折返，瓶內會出現氣泡，氣泡的體積隨壓力變化而變化，膨脹與收縮的反覆，即有可能產生空蝕現象，產生強力的衝擊波，在實驗過程中有數次觀察到瓶塞移動是以強力噴出的情況，我們認為可能就是產生了空蝕現象。

(四) 白努利定律：

**白努利原理** (Bernoulli's principle)，又稱**柏努利定律**、**白努利定律** (Bernoulli's Law)，是流體力學中的一個定律，描述流體沿著一條穩定、非黏性、不可壓縮的流線移動行為。

白努利定律可以從**能量守恆定律**來推演。說明如下：在一個穩定的水流，沿著直線流向的所有點上，**各種形式的流體機械能總和必定相同**。也就是說，**動能**，**位能**，與**內能**的總和保持不變。換言之，任何的流體速度增加，即代表動態壓力和單位體積動能的增加，而在同時會導致其靜態壓力，單位體積流體的位能、內能等三者總和的減少。

白努利定律形式： $\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + P = \text{constant}$  (常數)

其中：v=流體速度

g=重力加速度

h=流體處於的高度（從某參考點計）

P=流體所受的壓力強度

$\rho$ =流體質量密度

以白努利定律來檢視本實驗：



瓶底受力  $F_1$ ，產生壓力波透過瓶內液體傳遞。

以白努利定律來看酒瓶底部點 1、酒瓶頸部點 2、瓶塞底部點 3，3 個點的白努利定律應相等，列式如下：

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 + P_2 = \frac{1}{2} \rho v_3^2 + \rho gh_3 + P_3$$

因  $h_1 = h_2 = h_3$ ，且點 1 速度為 0，所以  $v_1 = 0$ ；而液體撞擊點 3 受到阻擋折返瞬間速度可視為 0

所以式子可簡化為： $P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + P_2 = P_3 \rightarrow P_2 = P_1 - \frac{1}{2} \rho v_2^2$  因  $v_2 > 0$ ，

所以  $P_2 < P_1$  表示壓力波往瓶塞移動的過程壓力會下降，因為壓力的變化，即有可能產生上述的空蝕現象。

$$\text{另以 } P = \frac{F}{A} \text{ 帶入： } \frac{F_1}{A_1} = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_3}{A_3}$$

$F_1$  為撞擊器的施力， $A_1$  為酒瓶底面積， $F_3$  為瓶內液體對瓶塞的推力， $A_3$  為瓶塞底部面積，因為  $A_1 > A_3$ ，所以  $F_1 > F_3$ ，表示瓶塞受到的推力會小於撞擊器的施力，因此只有當  $F_3$  大於瓶塞的摩擦力時，瓶塞才能產生移動。

## 陸、討論與建議

- 一、皮鞋能開酒瓶的主因是撞擊力透過瓶內液體的傳遞，將力量傳至瓶塞，當傳至瓶塞的力量大於瓶塞與瓶口間的阻力時，就能把瓶塞往外推動。
- 二、瓶內液體的量要足夠，瓶塞在撞擊全程皆須在液體中，才能使瓶底所受的撞擊力傳遞到瓶塞。
- 三、最佳的瓶子放置角度是水平，最能讓瓶塞在撞擊全程中皆接觸到液體。
- 四、不同的液體會影響瓶塞移動的情形，容易產生氣泡的液體，移動效率較好，如汽水、紅酒；黏滯性高的液體，移動效率較差，甚至無法移動。實驗中使用的太白粉水屬非牛頓流體，移動效率很差，後續可以比較牛頓流體、非牛頓流體的差異。
- 五、撞擊力在傳遞的過程中會有阻力耗損，最後傳遞到瓶塞時的力量要大於瓶塞與瓶口間的阻力，才能讓瓶塞移動，但是受撞擊的瓶子有受力的上限，當能成功移動瓶塞的撞擊力大於瓶底的耐受力時，瓶底即有可能破裂，撞擊開瓶的方法就不可行。後續也可以針對阻力耗損的部份作更深入的研究。
- 六、撞擊的頻率會影響瓶塞移動，每次的撞擊會在瓶中產生壓力波，這些壓力波會在瓶內發生複雜的干涉甚至是蕩漾，推論撞擊頻率高會有較佳的瓶塞移動效率。而撞擊頻率是越高越好，還是有限制，後續可以再研究。
- 七、市面販售多種紅酒，酒瓶的大小、形狀、材質有差異性，酒本身也有差異性，這些因素對於撞擊力的傳遞及皮鞋開瓶方法的適用性，後續可以更深入研究。
- 八、撞擊力大愈易使瓶塞移動，但直接拿酒瓶撞擊牆面，會有害怕酒瓶破裂的心理壓力，因此隔著墊子敲擊，除了方便施力，還能減少心理壓力，但是墊子有緩衝性，會吸收掉撞擊力，因此不適用緩衝性太好的墊子。
- 九、瓶子受到撞擊時因瓶內液體流速的變化，進而產生壓力變化即可能發生空蝕現象，產生強大的衝擊波，但空蝕現象的發生是快速、細微的，並無法掌控，也不易明確觀察到。瓶身到瓶頸的直徑變化會形成流速的改變，影響空蝕現象的發生，後續可以針對瓶身的形狀與空蝕現象的關係再做深究。
- 十、皮鞋開酒瓶塞的原理可否運用在製作出改良性的科學遊戲，後續可再做研究。

## 柒、結論

### 一、探討水量對瓶塞移動的影響：

(一) 水是撞擊力的傳遞介質，撞擊時瓶底到瓶塞間皆必須有水以傳遞撞擊力，且水量要足夠，瓶塞須全程都在水中。

### 二、探討撞擊頻率對瓶塞移動的影響：

(一) 撞擊頻率是影響瓶塞移動的因素，撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率。  
(二) 玻璃瓶在撞擊後，可能因建設性干涉產生波幅較大的水波，並無共振現象與駐波。

### 三、探討撞擊力大小對瓶塞移動的影響：

(一) 撞擊力的大小會影響瓶塞移動的成功率，傳遞到瓶塞的撞擊力須大於瓶塞與瓶口間的阻力才能讓瓶塞移動。  
(二) 撞擊力在傳遞的過程中，能量產生大比例的阻力損耗，部份能量轉化成熱能。

### 四、探討瓶子因素對瓶塞移動的影響：

(一) 瓶身長度的會影響瓶塞的移動效率，長度越長，能量損耗越多，移動效率越差。  
(二) 瓶身角度須以水平方向擺置，以確保瓶塞全程皆在水中。

### 五、探討墊子對瓶塞移動的影響：

(一) 緩衝性增加會吸收掉較多的力量，因此當緩衝性達到某一個程度時，會造成傳遞的撞擊力不足以克服瓶塞的摩擦力，便會使瓶塞無法移動。  
(二) 運用鞋子開瓶時，應避免使用緩衝性太好的鞋底。

### 六、探討瓶塞差異對瓶塞移動的影響：

(一) 不同材質的瓶塞會影響瓶塞移動的情形。  
(二) 改變瓶塞的表面性質會影響瓶塞的移動成功率。  
(三) 橫倒式保存的酒瓶，推論開瓶時會比較容易一些。

### 七、探討瓶內液體對瓶塞移動的影響：

(一) 不同的液體會影響瓶塞移動的情形，容易產生氣泡的液體，瓶塞移動成功率較好；黏滯性高的液體則較差。  
(二) 瓶塞移動的主要因素還是靠撞擊力的傳遞來推動瓶塞，而空蝕現象的發生則有助於瓶塞的移動。  
(三) 易於產生氣泡的液體較易使瓶塞移動，這個現象可能是因為發生空蝕現象的關係，但空蝕現象的發生並無法掌控。

八、流體動力學的基本公理為守恆律，特別是質量守恆、動量守恆（也稱作牛頓第二與第三定律）以及能量守恆。流體還假設遵守「連續性假設」(continuum assumption)。流體由分子所組成，彼此互相碰撞，也與固體相碰撞。流體受力後的變化可以運用流體力學中的一個定律-白努利定律來分析。本實驗中瓶塞移動的主因即是撞擊瓶底的力量透過流體進行傳遞將瓶塞推出。

## 捌、參考資料及其他

- 一、維基百科（2013 年 12 月 25 日）。流體動力學。取自  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%81%E9%AB%94%E5%8B%95%E5%8A%9B%E5%AD%B8>
- 二、維基百科（2010 年 3 月 27 日）。空蝕現象。取自  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A9%BA%E7%A9%B4%E7%8F%BE%E8%B1%A1>
- 三、維基百科（2016 年 11 月 29 日）。白努利定律。取自  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 四、鞋品與材料衝擊吸收性能之評估(2015)。財團法人鞋類暨運動休閒科技研發中心-檢驗組服務速報，第 36 期。取自 [http://testing.shoenet.org.tw/newsletter\\_view.asp?id=62#.WpDKTa6WZ1t](http://testing.shoenet.org.tw/newsletter_view.asp?id=62#.WpDKTa6WZ1t)
- 五、壓力場及流體加速度。國家流體力學影片委員會。取自  
[https://www.me.ncu.edu.tw/energy/ME393/2%20pressure\\_field.pdf](https://www.me.ncu.edu.tw/energy/ME393/2%20pressure_field.pdf)

### 附錄

用「皮鞋開酒瓶塞」網路影片截圖



【生活百科及冷知識分享】~用皮鞋開酒瓶塞.

觀看次數：55,493

👍 103 🗨️ 4 ➡️ 🔄 📄

<https://www.youtube.com/watch?v=CGz6dnCevWU>

## 【評語】 080121

本作品把生活中遇到的問題做一個科學化的探討，實驗測量裝置包括了近二十組不同的實驗，表明同學的盡心盡力，唯真實原因理論尚未真正釐清。另外此作品中所測的玻璃瓶固有頻率與撞擊並無關係，以此排除共振效應似乎不太恰當。



# 摘要

一則網路影片用皮鞋開酒瓶塞，引起我們的好奇，背後的原理和影響因素是什麼？經討論及資料蒐集，設計實驗並自製撞擊器來控制撞擊力，希望找出原理和影響的因素。發現：撞擊力須透過液體傳遞，且液體量要足夠；撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率；撞擊力傳遞至瓶塞須大於瓶塞及瓶口間的阻力才能使瓶塞移動；瓶身角度須水平置放；墊子的緩衝性太好會吸收撞擊力，可能無法克服瓶塞的摩擦力；不同材質及不同表面性質的瓶塞會影響瓶塞移動的成功率；容易產生氣泡的液體，瓶塞移動成功率較好，黏滯性高的液體則較差。瓶塞移動的主要因素是靠撞擊力的傳遞來推動瓶塞，可以用流體力學的白努利定律來分析，而空蝕現象的發生則有助於瓶塞的移動。

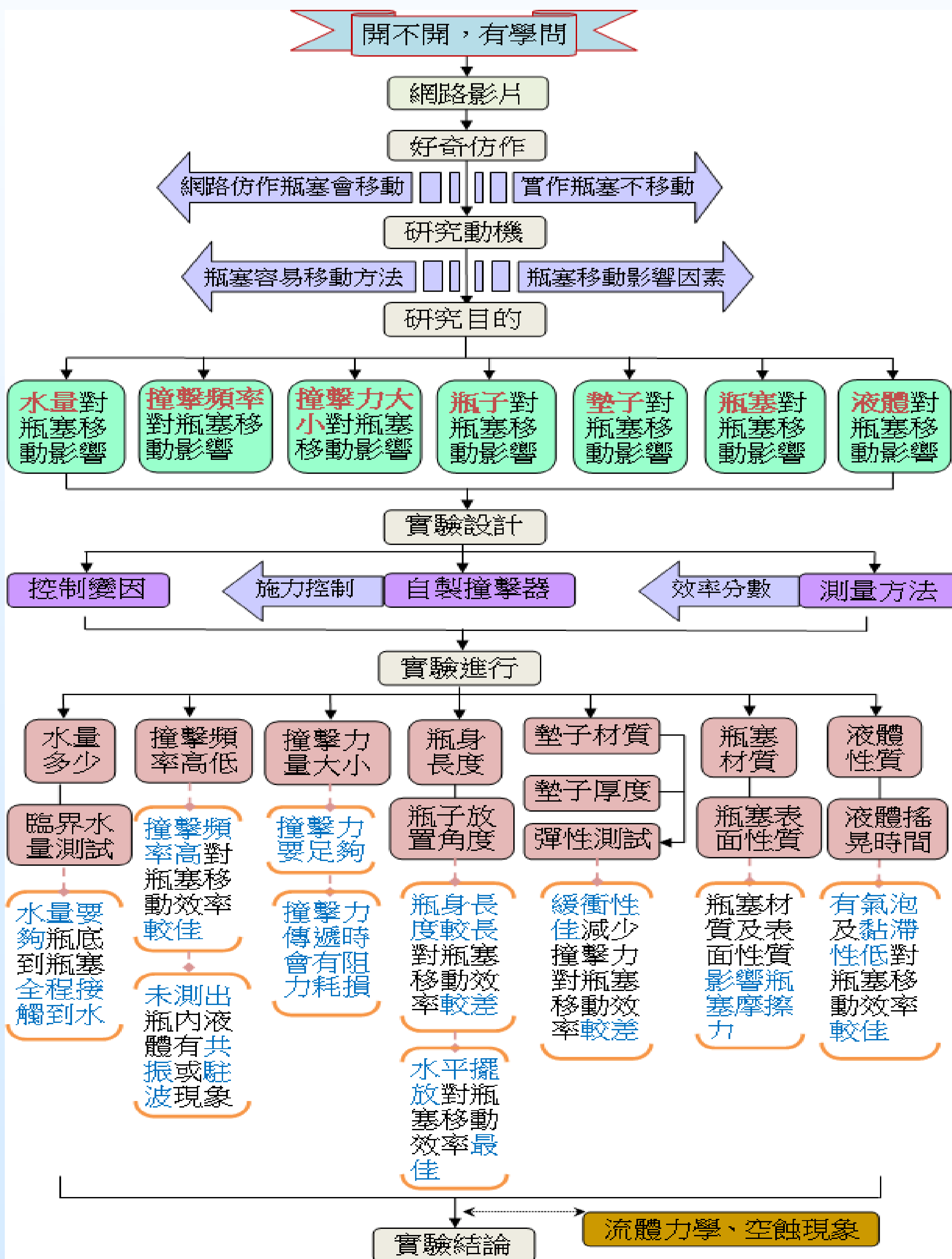
## 壹、研究動機

網路上「用皮鞋開酒瓶塞」的影片，引起我們的好奇。我們仿作但結果卻是怎麼敲也敲不出瓶塞來，上網蒐集資料，發現有人成功、有人失敗，卻很少人去探究背後的原因，這引起我們的興趣，哪些因素會影響皮鞋開瓶的成功？背後的原理是什麼？因此我們以皮鞋開瓶為研究題目，希望透過實驗找出皮鞋開瓶的原理及了解影響的因素。

## 貳、研究目的

- 一、探討水量對瓶塞移動的影響。
- 二、探討撞擊頻率對瓶塞移動的影響。
- 三、探討撞擊力大小對瓶塞移動的影響。
- 四、探討瓶子因素對瓶塞移動的影響。
  - (一)不同瓶身長度的影響。
  - (二)不同瓶身角度的影響。
- 五、探討墊子對瓶塞移動的影響。
  - (一)不同材質的墊子對瓶塞移動的影響。
  - (二)不同墊子的彈性測試。
- 六、探討瓶塞差異對瓶塞移動的影響。
  - (一)不同材質的瓶塞對瓶塞移動的影響。
  - (二)瓶塞的表面性質對瓶塞移動的影響。
- 七、探討瓶內液體對瓶塞移動的影響。
  - (一)不同的液體對瓶塞移動的影響。
  - (二)搖晃時間對瓶塞移動的影響。
- 八、參考文獻及網路資料，探討流體動力學及空蝕現象與皮鞋開瓶的關係。

## 參、研究架構

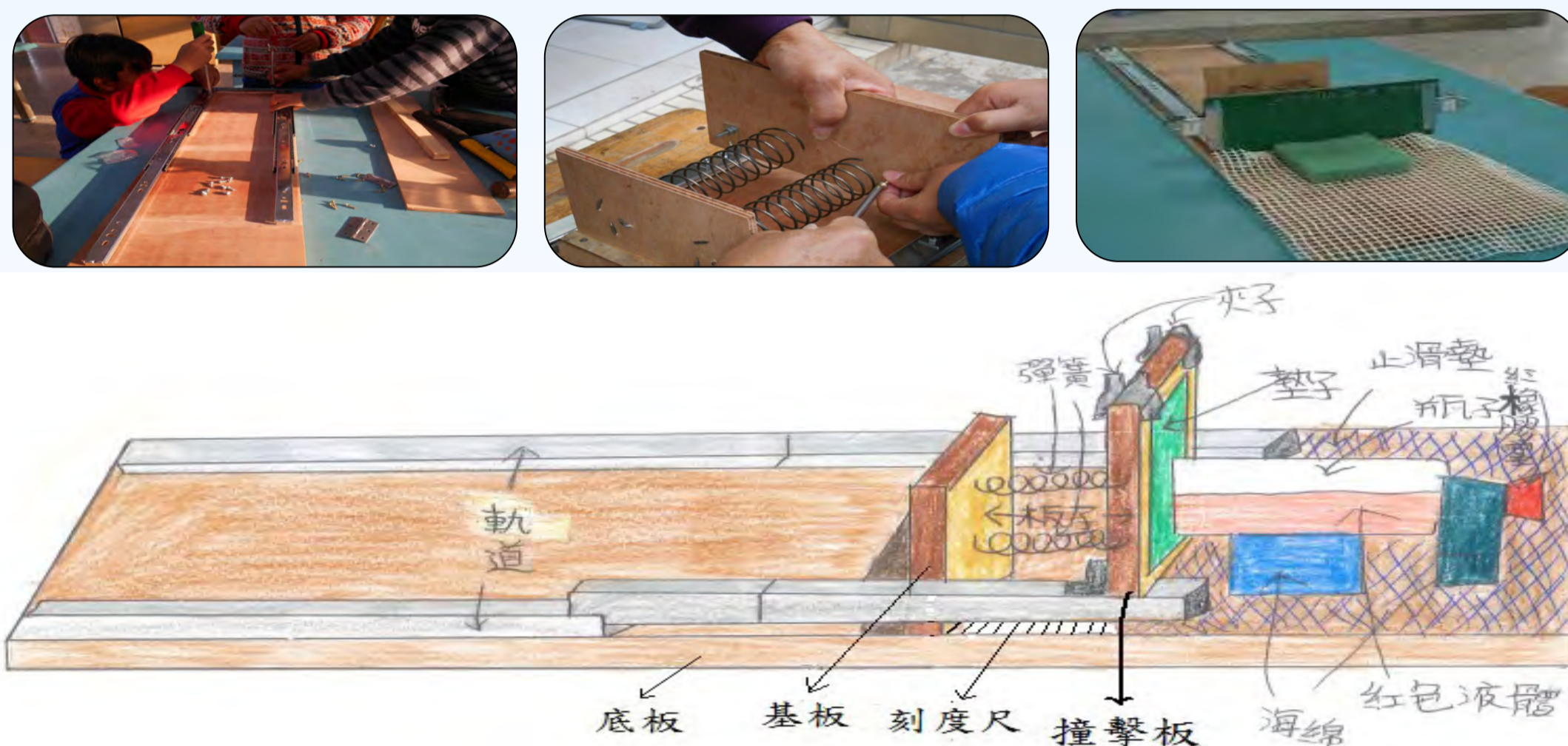


## 肆、研究設備及器材

### 一、研究設備：

撞擊器、實驗玻璃瓶、橡膠塞、矽膠塞、軟木塞、量角器、紅酒、汽水、紅色顏料、塑膠墊、彈力球、太白粉、電子秤、氣泡紙、紙板、菜瓜布、毛巾、護目鏡、節拍器、收音麥克風、筆記型電腦、PVC透明管、角鋼固定架、鐵環、量筒

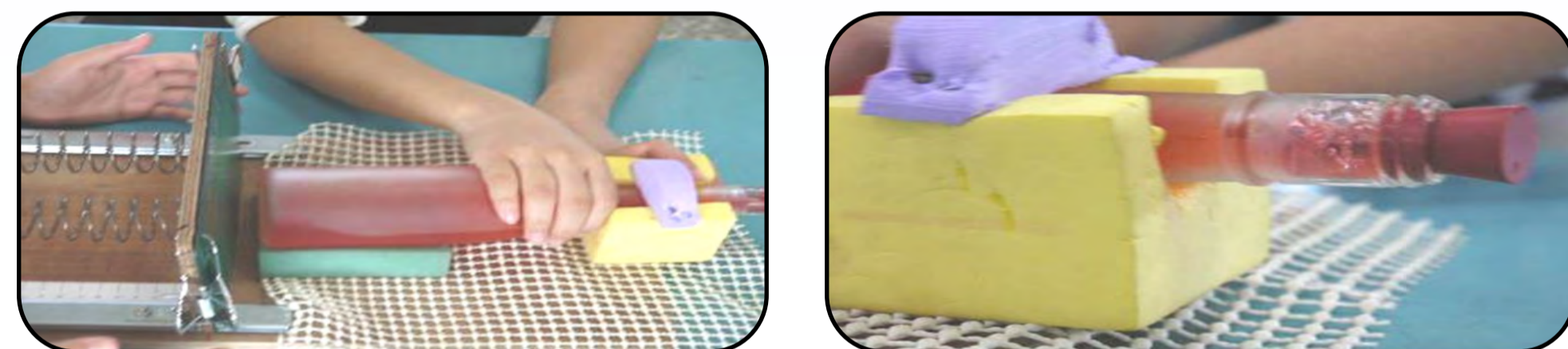
### 二、自製撞擊裝置：撞擊器



## 伍、研究過程與結果

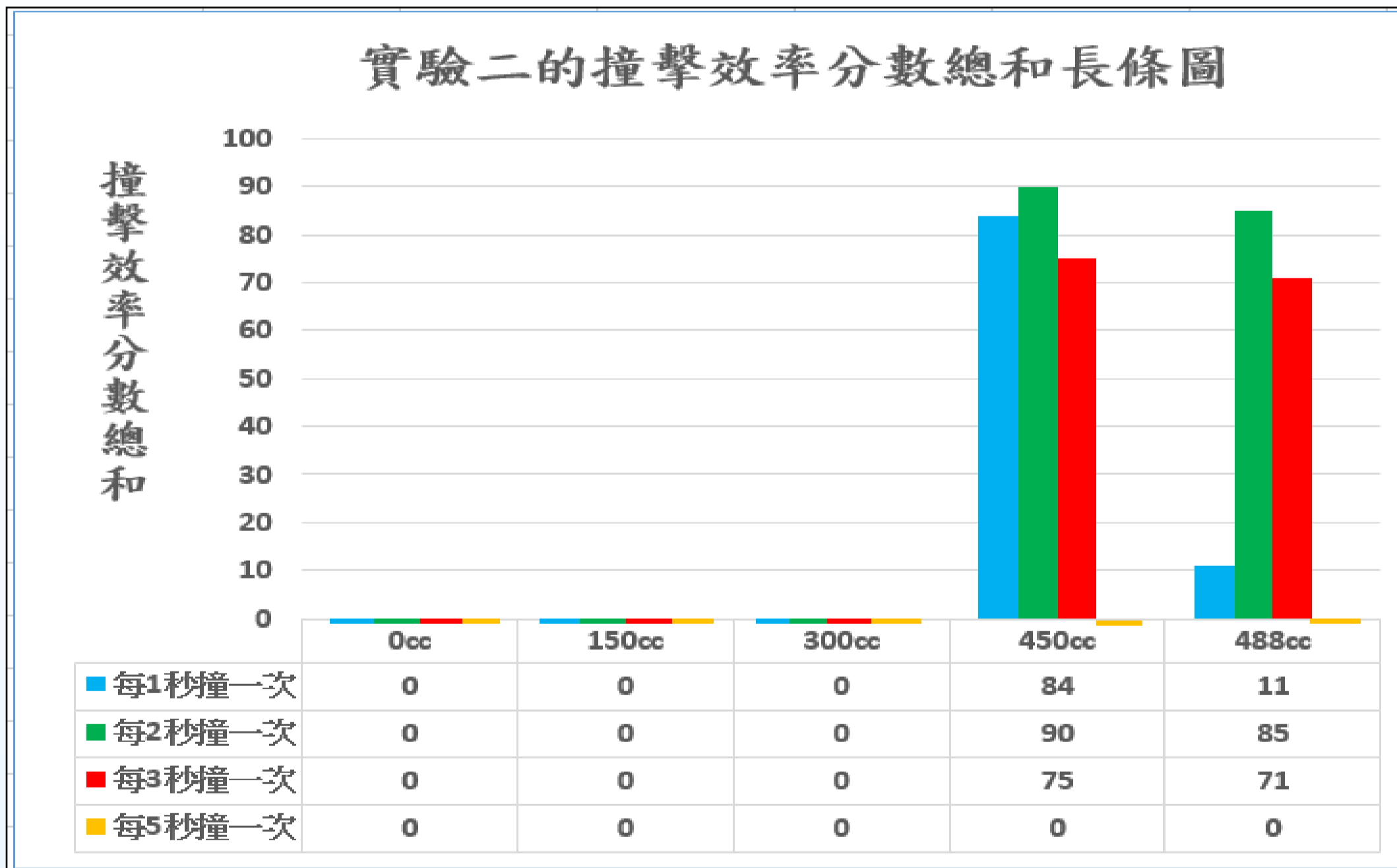
### 研究一：探討水量對瓶塞移動的影響

#### 實驗一：不同水量對瓶塞移動的影響



- ◆ 在每5秒撞擊一次的頻率下，不同水量的各組瓶塞皆不移動。推測是撞擊力量不夠或是撞擊頻率太低的關係。
- ◆ 觀察到水接觸瓶塞底面積及撞擊時產生的氣泡量不同，接續研究是否會影響到瓶塞的移動。

#### 實驗二：調整撞擊頻率，觀察不同水量對瓶塞移動的影響



- ◆ 撞擊的力量必須透過水的傳遞去撞擊瓶塞，且水量要足夠，才能使瓶塞移動。

#### 實驗三：探討能使瓶塞移動的臨界水量

Two photographs showing the experimental setup for Experiment 3. The left photo shows a bottle with 320cc of water, and the right photo shows a bottle with 300cc of water.

水量	380cc	340cc	320cc	310cc	300cc
成功率	100%	100%	100%	80%	0%

左上圖：320cc 水面剛好蓋過塞子  
左下圖：300cc 約有一半塞子露出水面

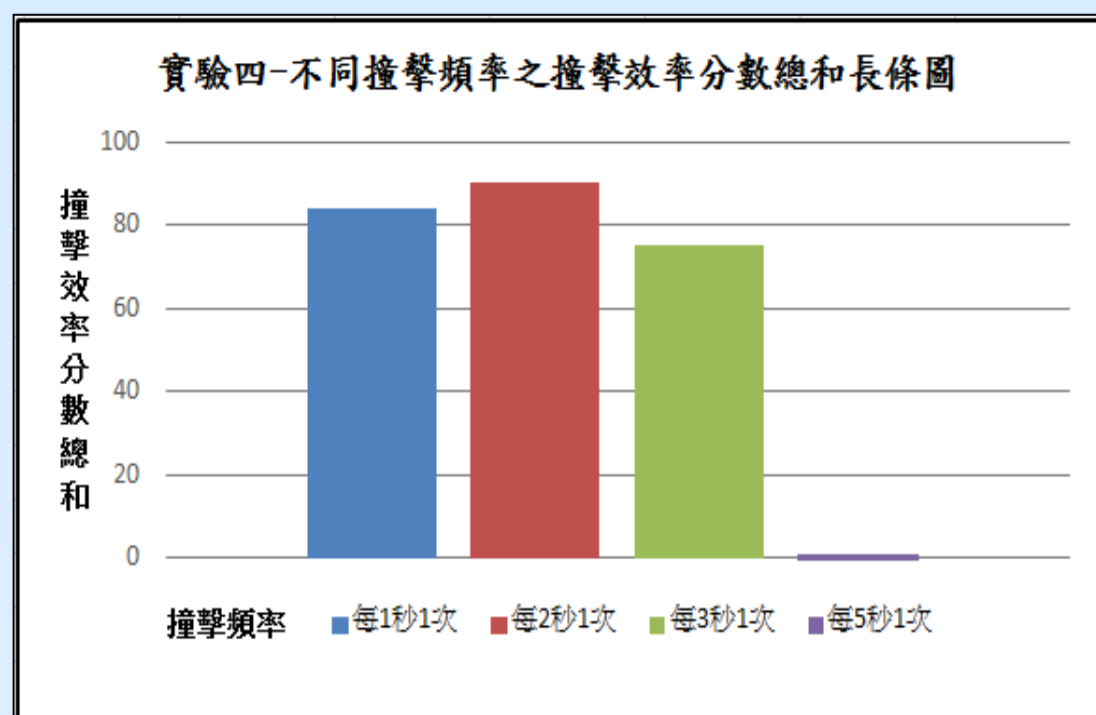
- ◆ 足夠的水量是指必須讓瓶塞在撞擊過程中，全程都在水面下，以確保撞擊力的傳遞。

※撞擊效率分數示例：撞擊次數上限為20次

第幾次飛出	1	2	3	4	5	...	18	19	20	不移動
撞擊效率分數	20	19	18	17	16	...	3	2	1	0

## 研究二：探討撞擊頻率對瓶塞移動的影響

### 實驗四：不同撞擊頻率對瓶塞移動的影響



◆推論撞擊頻率是影響瓶塞移動的因素，且撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率。

◆氣泡的有無及多少可能會影響瓶塞移動的情形。

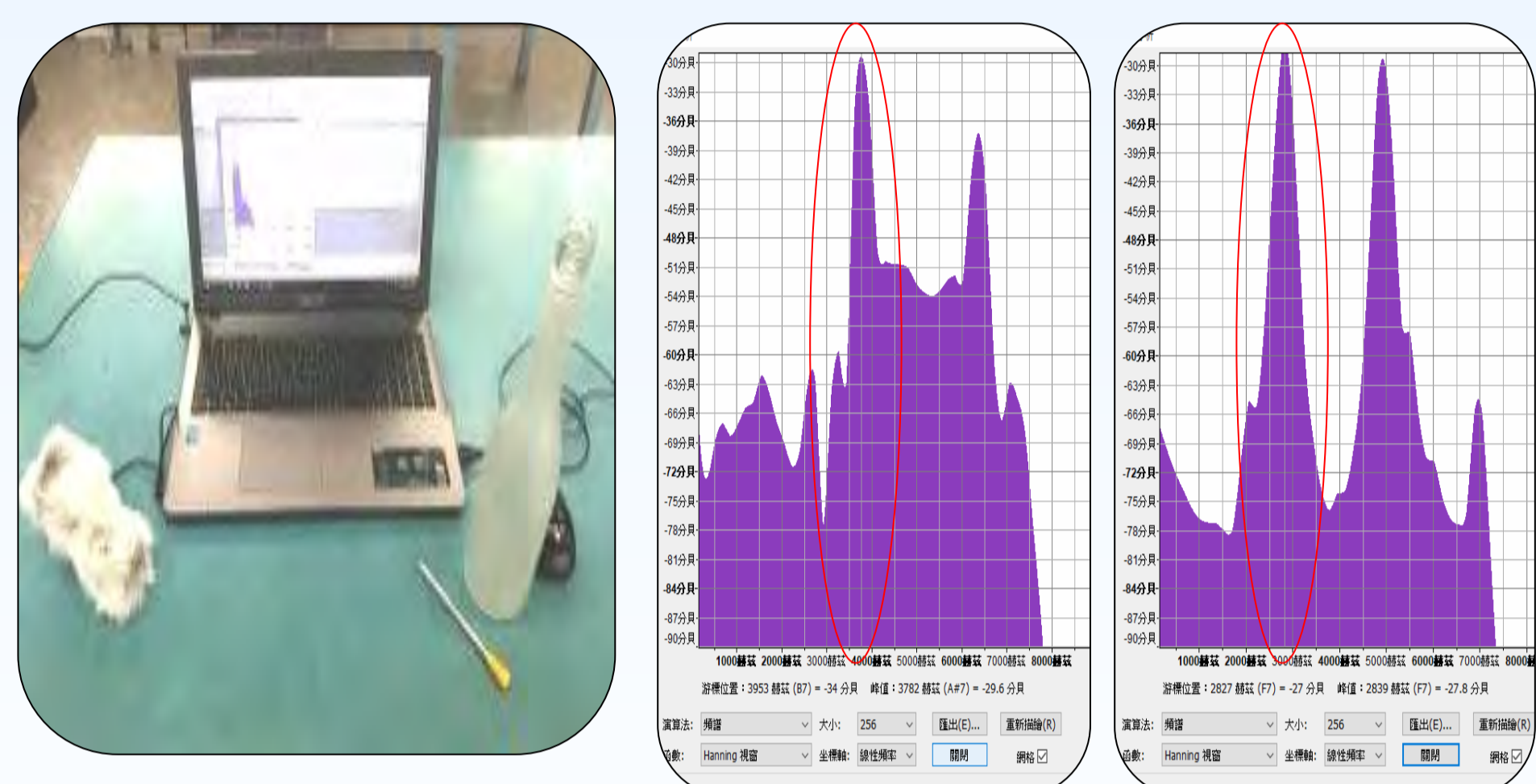
### 實驗五：觀察不同撞擊頻率，瓶內水波的移動情形



撞擊時產生的蕩漾

觀察到波幅較大的水波

### 實驗六：探討瓶內是否產生共振現象

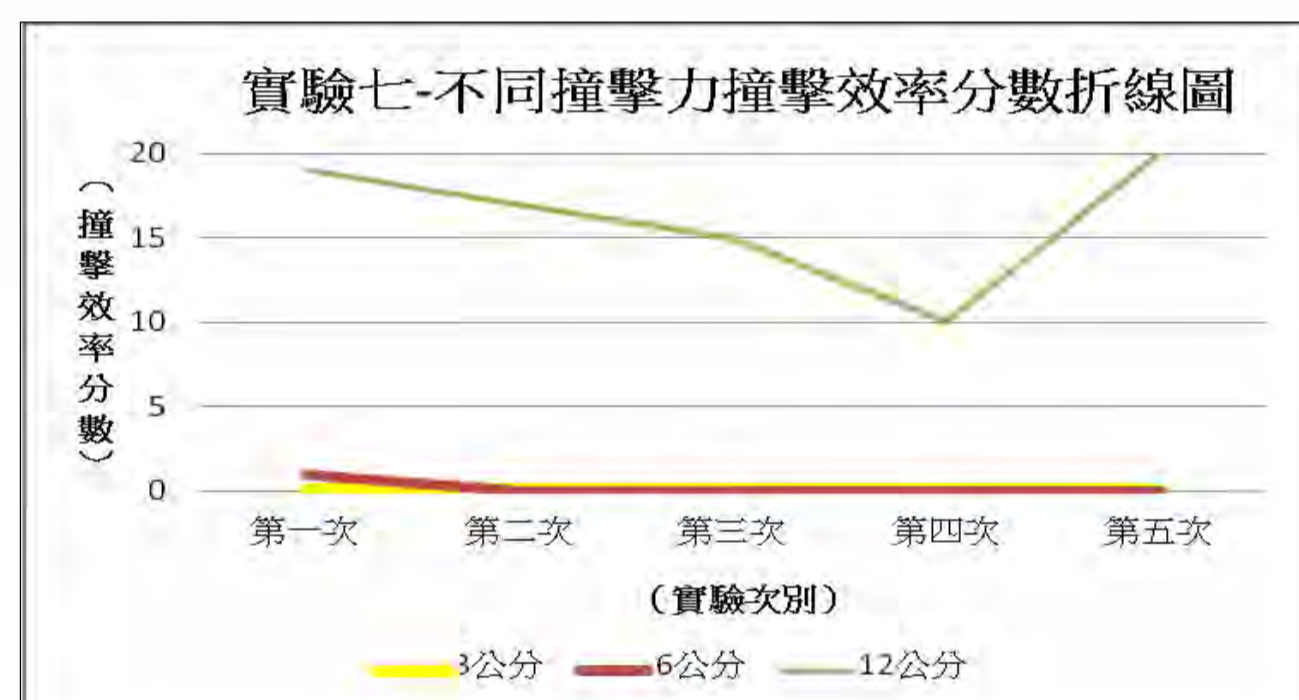


◆本實驗並無共振現象。推論波幅較大的水波可能是水波的疊加，即產生建設性干涉。

0cc 組平均 3786 赫茲；450cc 組平均 2819 赫茲

## 研究三：探討撞擊力大小對瓶塞移動的影響

### 實驗七：撞擊力大小對瓶塞移動的影響



彈簧壓縮 3cm、6cm、12cm，產生不同撞擊力。

◆撞擊力的大小會影響瓶塞移動的成功率。

### 實驗八：探討撞擊力與瓶塞摩擦力

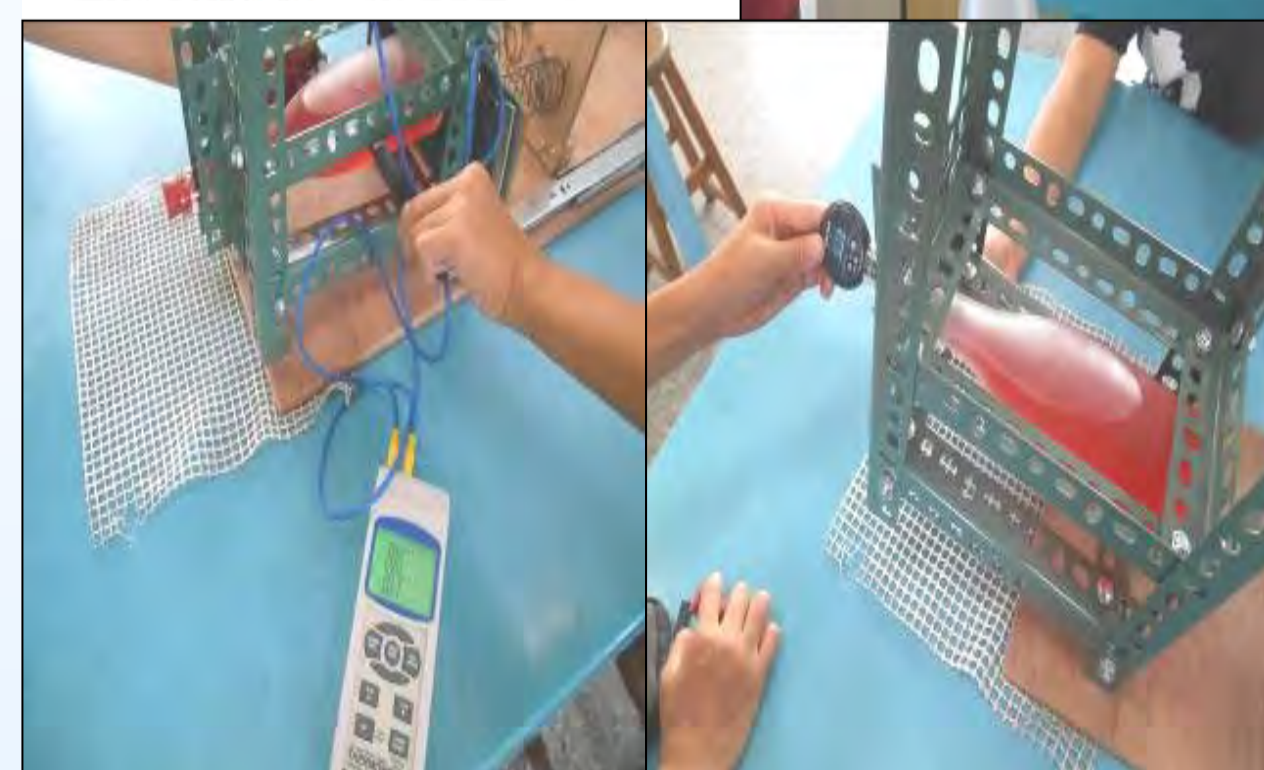
拉伸彈簧-彈簧常數公式

彈簧常數  $k$  以  $N/m$  表示，當彈簧被拉長時，每增加  $1m$  的長度，彈簧力增加  $k$  牛頓。

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_0^3 \cdot N_c} \text{ (kgf/mm)}$$

$G$  = 線材之剪切模數  
 琴鋼線  $G=8000$   
 不銹鋼線  $G=7300$   
 磷青鋼線  $G=4500$   
 黃銅線  $G=3500$

$d$  = 線徑  
 $D_0=OD$  = 外徑  
 $D_i=ID$  = 內徑  
 $D_m=MD$  = 中心徑  $= D_0 - d$   
 $N$  = 總圈數  
 $N_c$  = 有效圈數  $= N - 2$

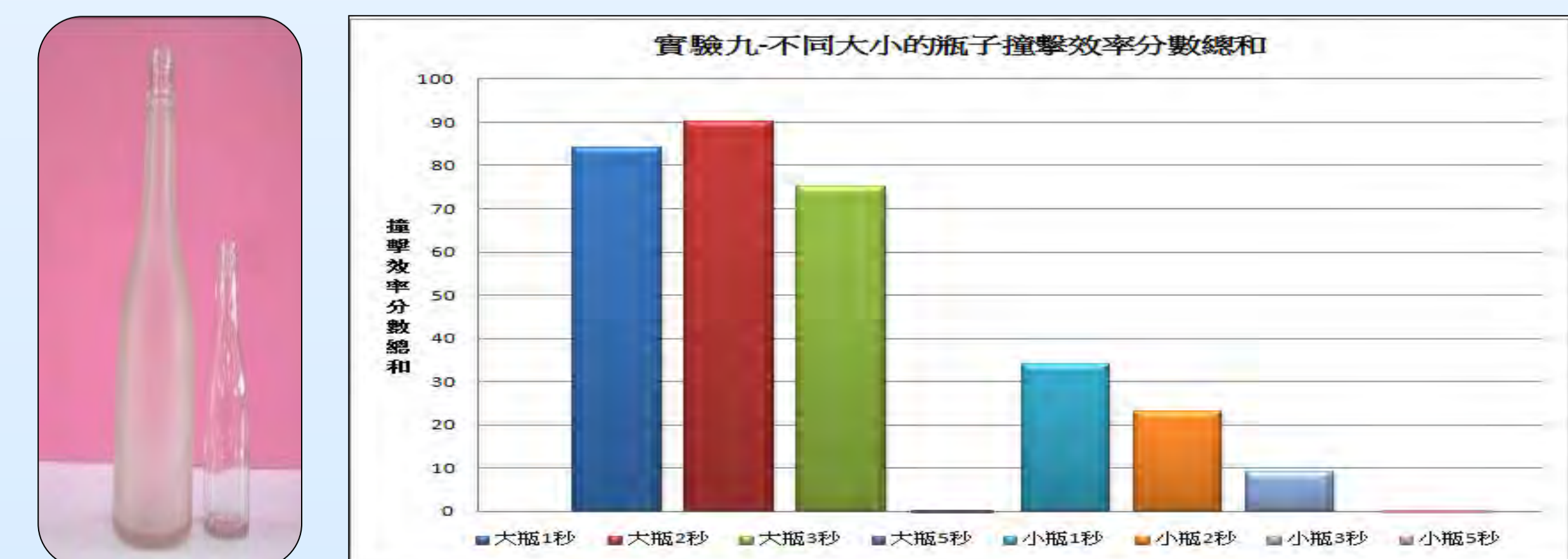


利用虎克定律， $F=-KX$  求出  
 壓縮 12cm， $F=6361.92gw$   
 壓縮 6cm， $F=3180.96gw$   
 壓縮 3cm， $F=1590.48gw$   
 以彈簧秤測量塞入 0.8cm 橡膠塞的摩擦力約 1000gw。

◆撞擊 20 次前後測量瓶子外部及瓶內水的溫度，瓶子外部的溫度並沒有變化，但是瓶內水的溫度上升了 0.1 度。

## 研究四：探討瓶子因素對瓶塞移動的影響

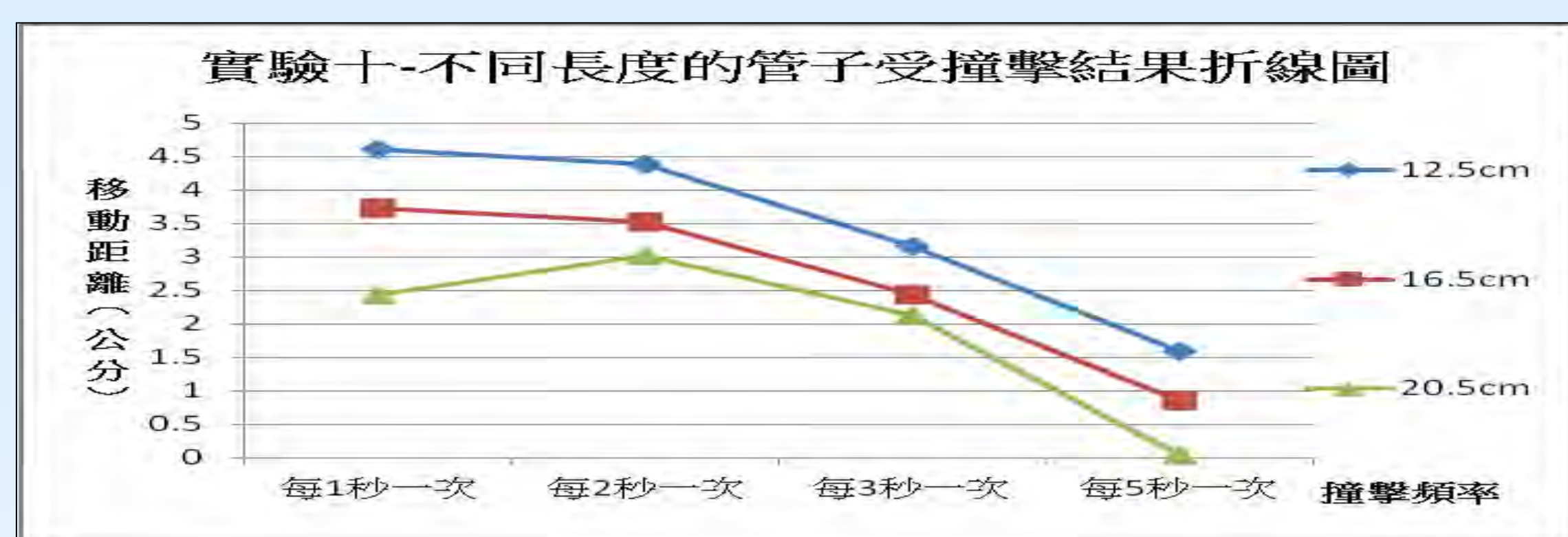
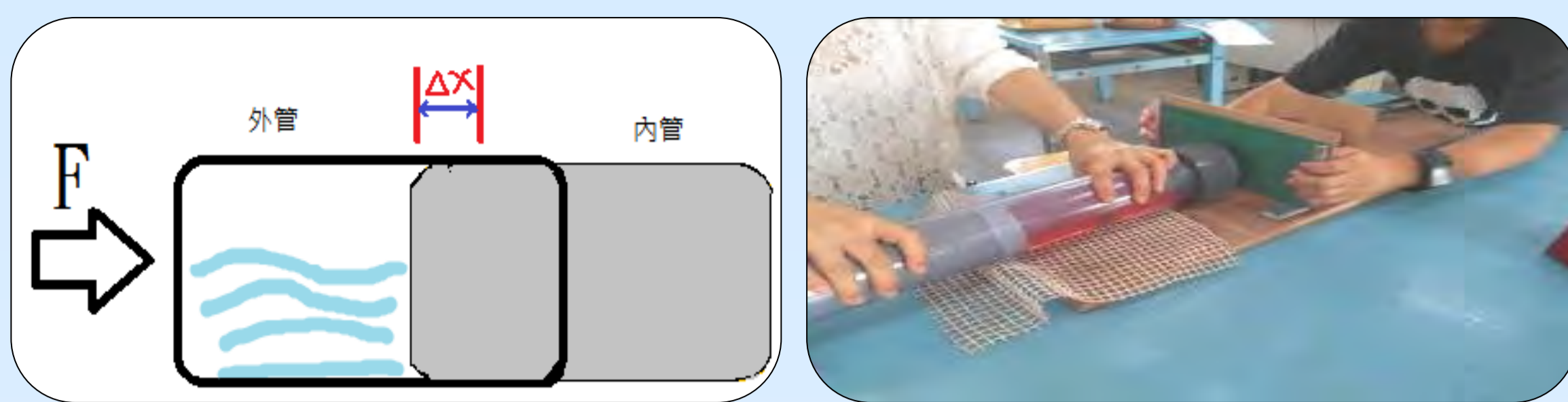
### 實驗九：相同形狀、不同大小的瓶子對瓶塞移動的影響



◆大致符合撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率。

◆小瓶組成功率明顯低於大瓶組，我們推論是不同長度瓶身會影響瓶塞的移動效率，但本實驗大小瓶組除了長度外，還有很多不同變因，因此無法據此驗證這項推論。

## 實驗十：不同瓶身長度的影響



◆不同長度瓶身會影響瓶塞的移動效率，長度越長，能量損耗越多，移動效率越差。

◆驗證實驗四中撞擊頻率是影響瓶塞移動的因素，且撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率的推論。

## 實驗十一：不同瓶身角度對瓶塞移動的影響



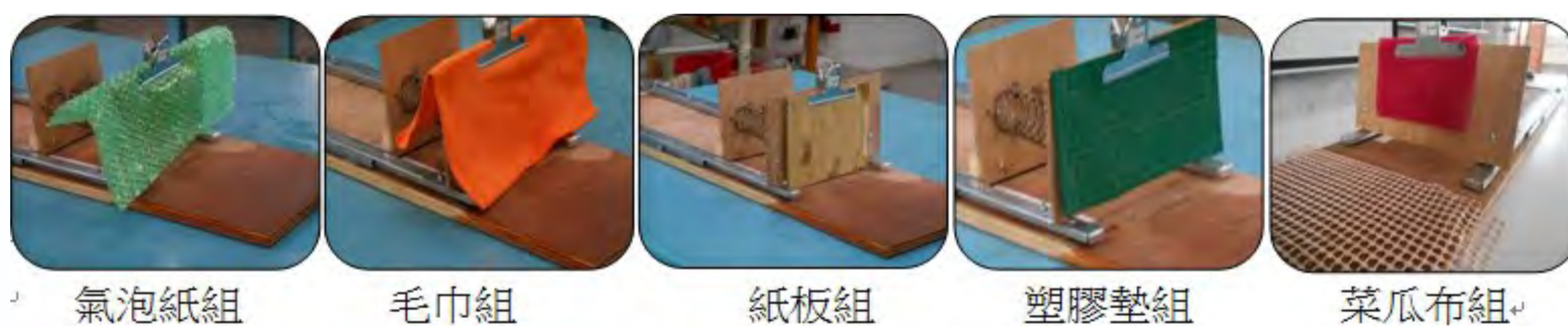
瓶身角度	0度	30度	60度	90度	-30度
成功率	100%	0%	0%	0%	0%

◆瓶身角度須以水平方向擺置，與實驗二的結論相對應，瓶內要有足夠的水量以確保瓶塞全程皆在水中。

◆推論撞擊面與水之間如隔著空氣則無法傳遞撞擊力。

## 研究五：探討墊子對瓶塞移動的影響

### 實驗十二：不同材質的墊子對瓶塞移動的影響

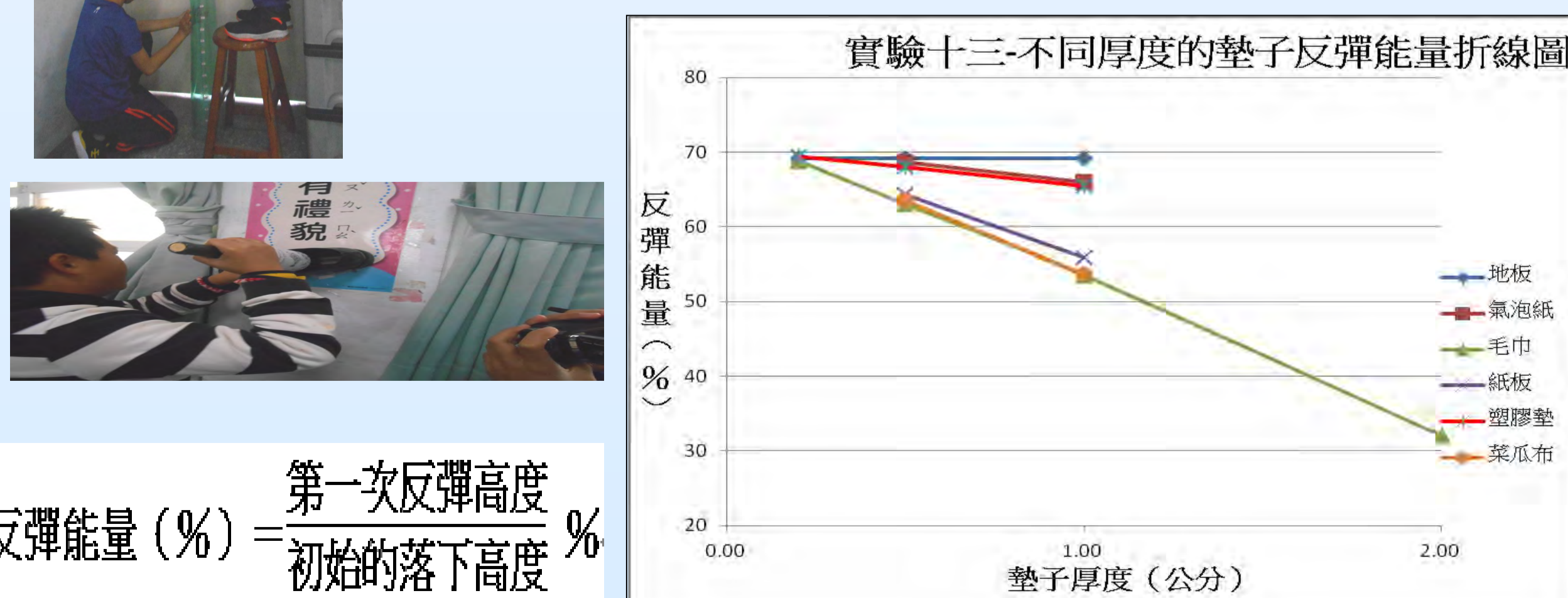
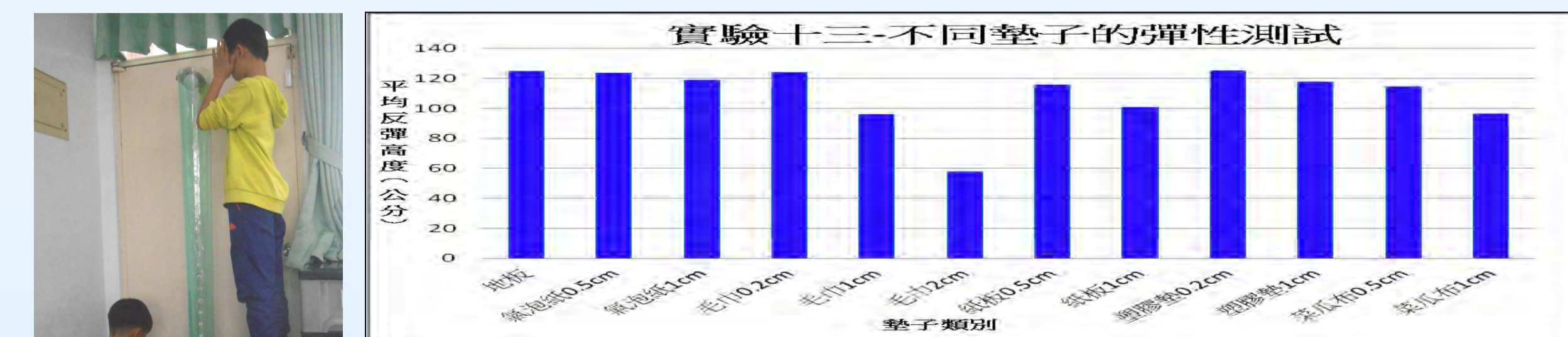


材質	氣泡紙 0.5cm	氣泡紙 1cm	毛巾 0.2cm	毛巾 1cm	毛巾 2cm	紙板 0.5cm	紙板 1cm	塑膠墊 0.2cm	塑膠墊 1cm	菜瓜布 0.5cm	菜瓜布 1cm
成功率	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
撞擊效率分數總和	72	86	86	86	0	76	83	83	84	75	88

◆原本預測緩衝性較好的材質，瓶塞移動的成功率會降低，但各組間並無明顯差異。

◆毛巾 2 cm 組相較明顯變厚，推論應該吸收比較多的撞擊力，即緩衝性較佳，所以力量不足以推動瓶塞，此與我們的預設結果相符。

## 實驗十三：不同墊子的彈性測試



$$\text{反彈能量}(\%) = \frac{\text{第一次反彈高度}}{\text{初始的落下高度}} \times 100\%$$

◆緩衝性增加會吸收掉較多的力，因此當緩衝性達到某一個程度時，會造成傳遞的撞擊力不足以克服瓶塞的摩擦力，便無法使瓶塞移動。所以應避免使用緩衝性太好的墊子。

## 陸、討論與建議

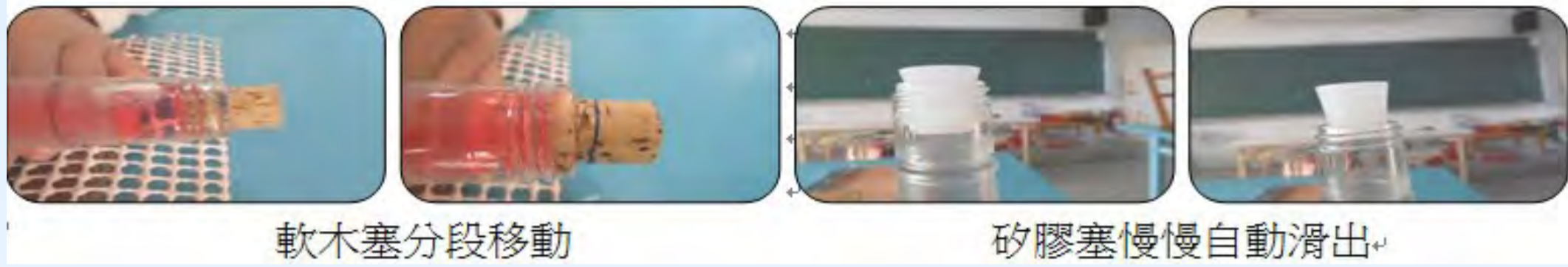
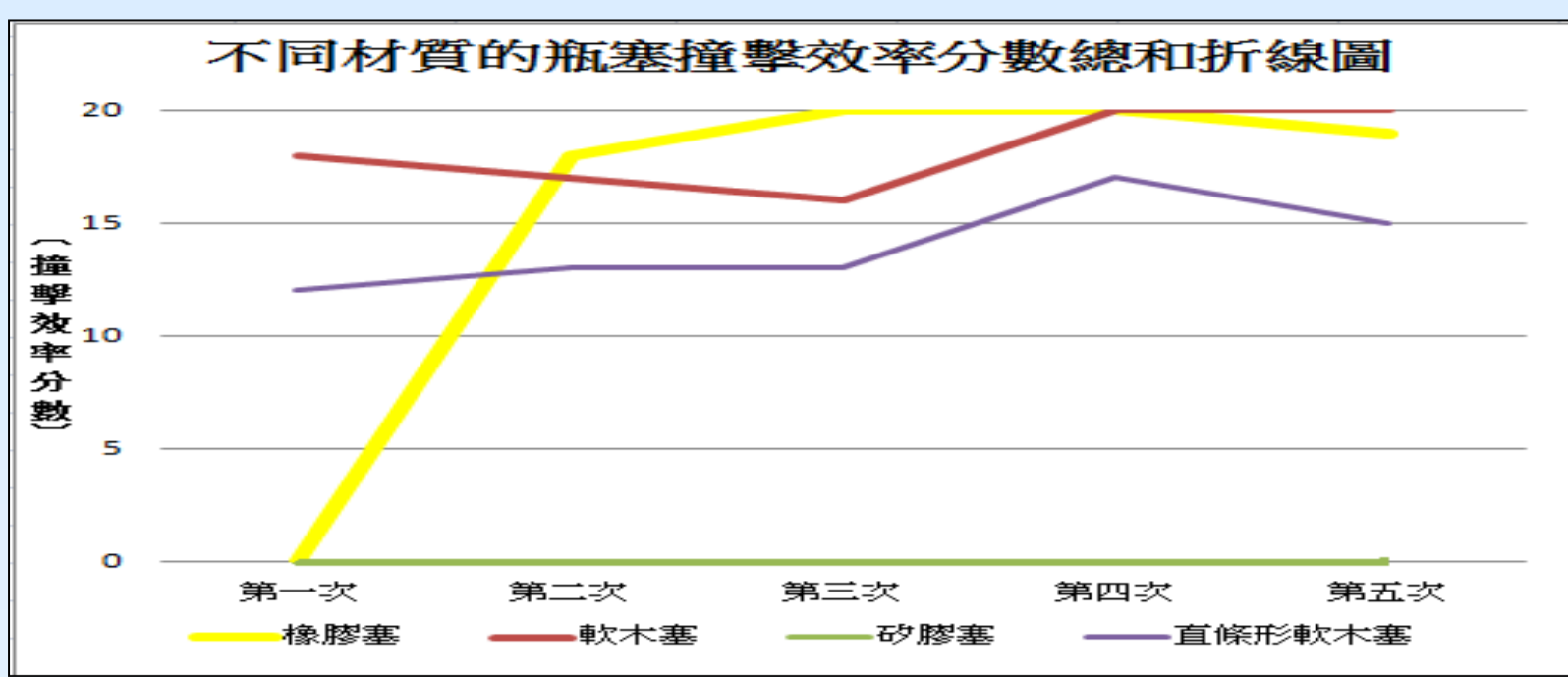
- 一、皮鞋能開酒瓶的主因是撞擊力透過瓶內液體的傳遞，將力量傳至瓶塞，當傳至瓶塞的力量大於瓶塞與瓶口間的阻力時，就能把瓶塞往外推動。
- 二、瓶內液體的量要足夠，瓶塞在撞擊全程皆須在液體中，才能使瓶底所受的撞擊力傳遞到瓶塞。
- 三、最佳的瓶子放置角度是水平，最能讓瓶塞在撞擊全程中皆接觸到液體。
- 四、不同的液體會影響瓶塞移動的情形，容易產生氣泡的液體，移動效率較好。黏滯性高的液體，移動效率較差。
- 五、受撞擊的瓶子有受力的上限，當能成功移動瓶塞的撞擊力大於瓶底的耐受力時，瓶底即有可能破裂，撞擊開瓶的方法就不可行。
- 六、撞擊的頻率會影響瓶塞移動，撞擊產生的壓力波會在瓶內發生複雜的干涉甚至是蕩漾，推論撞擊頻率高會有較佳的瓶塞移動效率。而撞擊頻率是越高越好，還是有限制，後續可以再研究。
- 七、市面各種紅酒的酒瓶大小、形狀、材質、酒本身都有差異性，皮鞋開瓶方法的適用性可再研究。
- 八、隔著墊子敲擊，除了方便施力，還能減少心理壓力，但是墊子有緩衝性，會吸收掉撞擊力。
- 九、後續可針對瓶身形狀與空蝕現象的關係再研究。
- 十、後續可研究運用於製作出改良性的科學遊戲。

## 柒、結論

- 一、探討水量對瓶塞移動的影響：  
(一)水是撞擊力的傳遞介質，撞擊時瓶底到瓶塞間皆必須有水以傳遞撞擊力，且水量要足夠，瓶塞須全程都在水中。
- 二、探討撞擊頻率對瓶塞移動的影響：  
(一)撞擊頻率是影響瓶塞移動的因素，撞擊頻率高有較佳的瓶塞移動效率。  
(二)玻璃瓶在撞擊後，可能因建設性干涉產生波幅較大的水波，並無共振現象與駐波。
- 三、探討撞擊力大小對瓶塞移動的影響：  
(一)撞擊力的大小會影響瓶塞移動的成功率，傳遞到瓶塞的撞擊力須大於瓶塞與瓶口間的阻力才能讓瓶塞移動。  
(二)撞擊力在傳遞的過程中，能量產生大比例的阻力損耗，部份能量轉化成熱能。
- 四、探討瓶子因素對瓶塞移動的影響：  
(一)瓶身長度的影響瓶塞的移動效率，長度越長，能量損耗越多，移動效率越差。  
(二)瓶身角度須以水平方向擺置，以確保瓶塞全程皆在水中。
- 五、探討墊子對瓶塞移動的影響：  
(一)緩衝性增加會吸收掉較多的力量，因此當緩衝性達到某一個程度時，會造成傳遞的撞擊力不足以克服瓶塞的摩擦力，便會使瓶塞無法移動。  
(二)運用鞋子開瓶，應避免使用緩衝性太好的鞋底。
- 六、探討瓶塞差異對瓶塞移動的影響：  
(一)不同材質的瓶塞會影響瓶塞移動的情形。  
(二)改變瓶塞的表面性質會影響瓶塞的移動成功率。  
(三)橫倒式保存的酒瓶，推論開瓶時比較容易些。
- 七、探討瓶內液體對瓶塞移動的影響：  
(一)不同的液體會影響瓶塞移動的情形，容易產生氣泡的液體，瓶塞移動成功率較好；黏滯性高的液體則較差。  
(二)瓶塞移動的主要因素是靠撞擊力的傳遞來推動瓶塞，而空蝕現象的發生則有助於瓶塞的移動。  
(三)易於產生氣泡的液體較易使瓶塞移動，這個現象可能是因為發生空蝕現象的關係，但空蝕現象的發生並無法掌控。
- 八、探討流體動力學及空蝕現象與皮鞋開瓶的關係

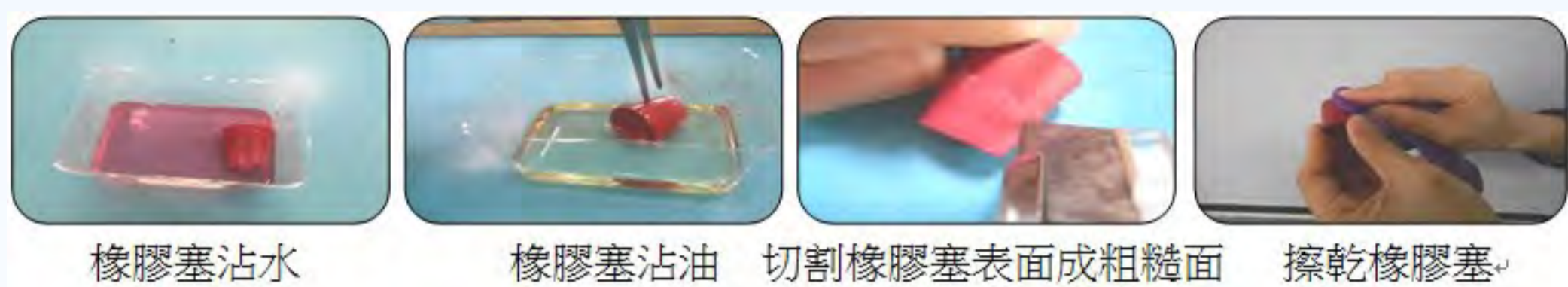
## 研究六：探討瓶塞差異對瓶塞移動的影響

### 實驗十四：不同材質的瓶塞對瓶塞移動的影響



- ◆不同材質的瓶塞會影響瓶塞移動的情形。
- ◆矽膠塞表面較光滑，推論可能是摩擦力比較小，容易被瓶內壓力推出。
- ◆橡膠塞第一次沒有動，可能是有無沾水的差異

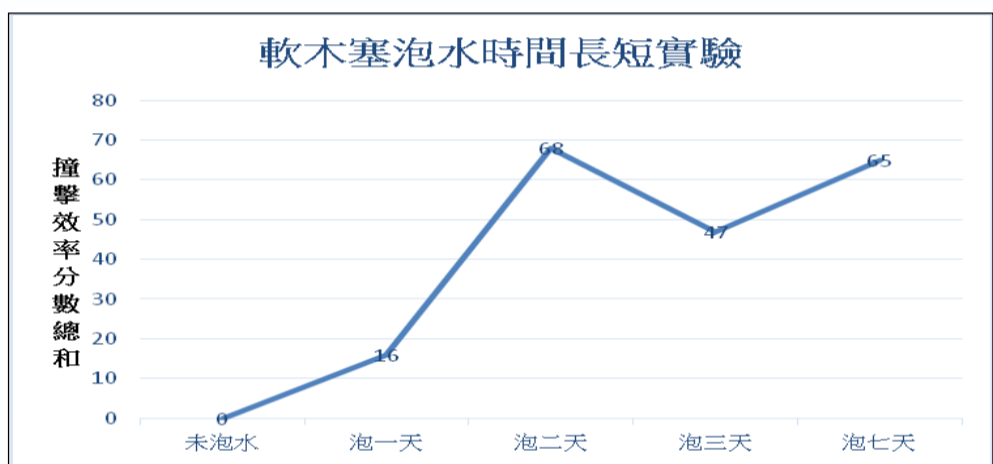
### 實驗十五：瓶塞的表面性質對瓶塞移動的影響



	塞 0.8cm 擦乾	塞 0.8cm 沾水	塞 0.8cm 沾油	塞 0.8cm 切割	塞 1.2cm 擦乾	塞 1.2cm 沾水	塞 1.2cm 沾油	塞 1.2cm 切割
成功率	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%
撞擊效率分數總和	56	86	90	88	0	93	65	64

- ◆改變瓶塞的表面性質會影響瓶塞的移動成功率。

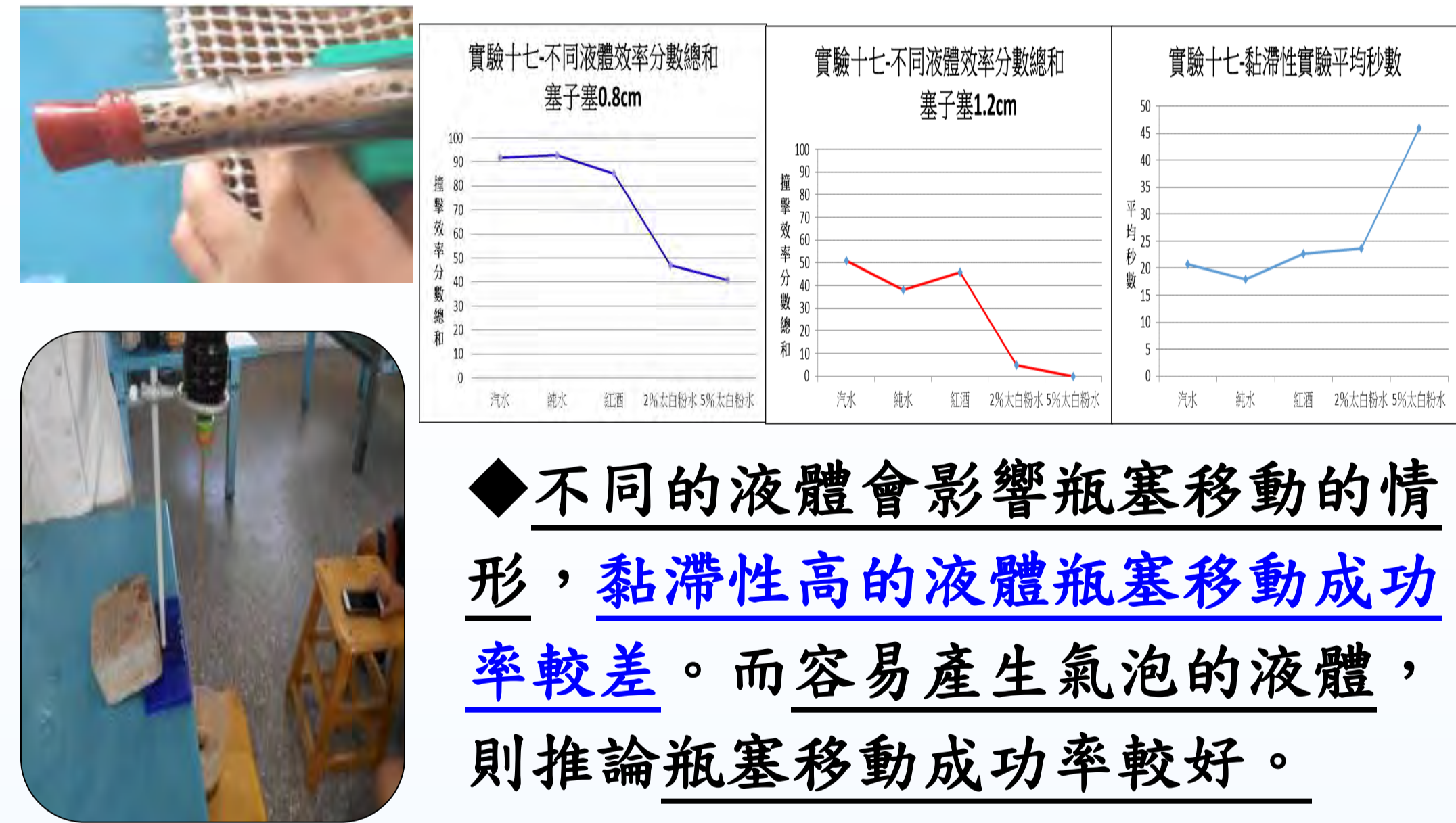
### 實驗十六：探討酒瓶保存方式對瓶塞移動的影響



- ◆軟木塞經泡水後，撞擊效率提升。橫倒式保存的酒瓶較容易打開些。

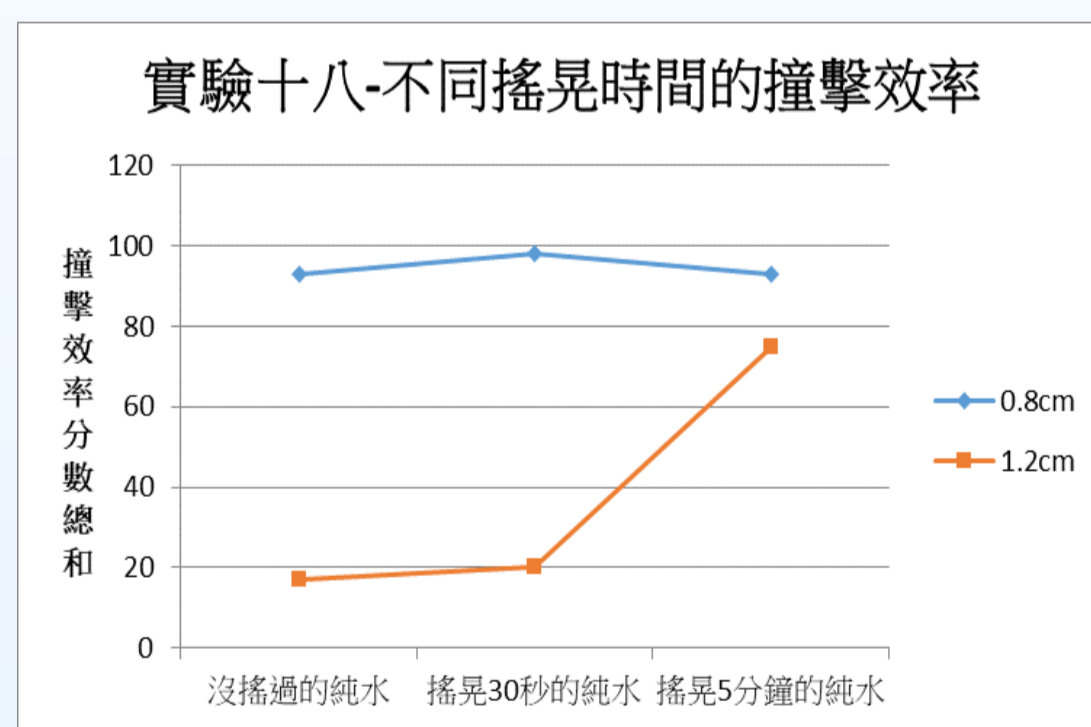
## 研究七：探討瓶內液體對瓶塞移動的影響

### 實驗十七：不同的液體及其黏滯性對瓶塞移動的影響



- ◆不同的液體會影響瓶塞移動的情形，黏滯性高的液體瓶塞移動成功率較差。而容易產生氣泡的液體，則推論瓶塞移動成功率較好。

### 實驗十八：搖晃時間不同而產生氣泡量不同對瓶塞移動的影響

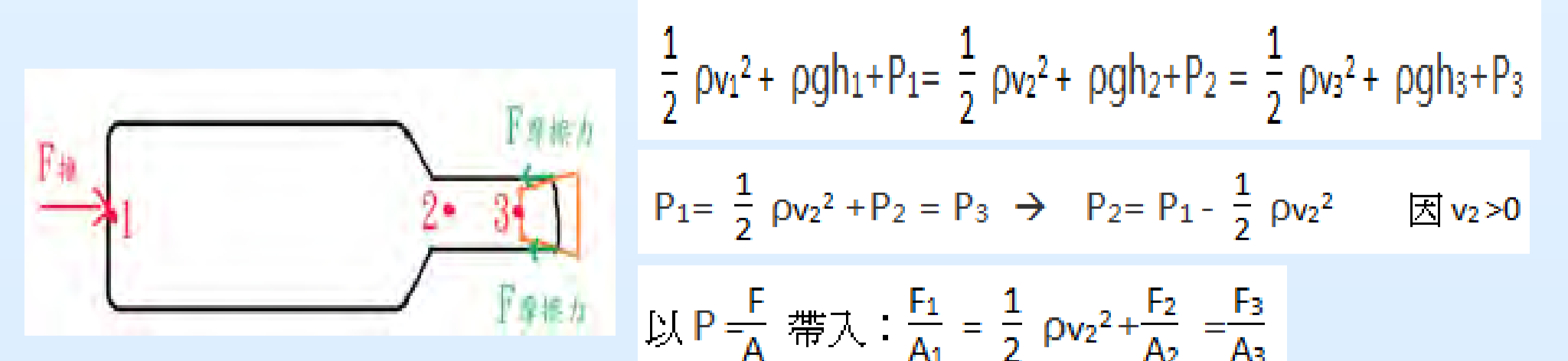


- ◆瓶內液體如果能產生較多氣泡，較容易使瓶塞移動。推論可能產生空蝕現象，產生較強的衝擊波，讓瓶塞移動。

## 研究八：探討流體動力學及空蝕現象與皮鞋開瓶的關係

- ◆流體動力學中白努利定律可從能量守恆定律來推演。

$$\text{白努利定律形式: } \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + P = \text{constant (常數)}$$



- ◆ $P_2 < P_1$  表示壓力波往瓶塞移動的過程中壓力會下降，而壓力的變化，即有可能產生空蝕現象。

## 捌、參考資料及其他

- 一、維基百科 (2013 年 12 月 25 日)。流體動力學。
- 二、維基百科 (2010 年 3 月 27 日)。空蝕現象。

- 三、維基百科 (2016 年 11 月 29 日)。白努利定律。
- 四、鞋品與材料衝擊吸收性能之評估(2015)。財團法人鞋類暨運動休閒科技研發中心-檢驗組服務速報，第 36 期。
- 五、壓力場及流體加速度。國家流體力學影片委員會。取自 [https://www.me.ncu.edu.tw/energy/ME393/2%0pressure\\_field.pdf](https://www.me.ncu.edu.tw/energy/ME393/2%0pressure_field.pdf)