

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 物理科

030111

水花的減緩者

學校名稱：屏東縣立明正國民中學

作者：  國一 王昱權  國一 陳御章  國一 王昊恩	指導老師：  沈驗  王相川
---	----------------------------

關鍵詞：水花、沃辛頓射流、空腔

## 作品名稱：水花的減緩者

### 摘要：

本實驗將掉落物稱為**擬便**，入水後短暫形成的無水空間稱為**空腔**。

我們發現水花高度和擬便距離水面的高度成高度線性關係，空腔深度和擬便距離水面的高度也成高度線性關係；而固定擬便距離水面的高度，當水深不同時，水花高度變化不一定和水深正相關。

其次，擬便的密度、先接觸水面端的面積、形狀、突起排列對水花高度的影響並無明確的規律性。

而在改變水溶液性質下，我們發現：

1. 當水面有一層介質時，都會降低水花高度，但水花高度卻和空腔深度呈現負相關。
2. 使用鹽、糖改變水溶液密度時，水花高度、空腔深度隨密度改變情形，兩種溶液並不相同。
3. 改變水溶液黏稠度時，洗碗精對水花的降低效果較果糖好。
4. 水面上有泡沫均能有效降低水花高度。



水花噴濺

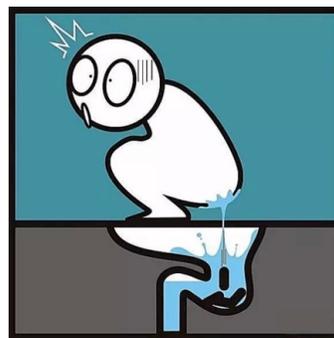


水花減緩

# 壹、前言

## 一、研究動機

我們觀看奧運跳水項目時，發現選手跳水時濺起的水花很小，跟我們將石頭丟到水中濺起很大的水花差異很多，到底是甚麼因素可以讓濺起的水花變小呢？正在發呆時，同學上大號，突然驚聲尖叫，我的屁屁噴到大便水了，好噁！跳水原理和大便掉下馬桶時濺起水花好像有些類似，心想有什麼辦法能減低水花濺起的高度？經過詢問老師及資料查詢之後發現原來水花濺起的高度和許多因素有關，例如有沒有泡沫、泡沫厚度、泡沫濃度、物體掉下水中的距離和水深……皆對水花濺起的高度有影響，去年學姊們的研究發現泡沫也可減少溶液震動產生的高度，於是我們就決定來探討影響馬桶水濺起高度的因素。



(參考五)

## 二、研究目的

本實驗將掉落物一律稱為「擬便」，入水後短暫形成的無水空間稱為「空腔」

(一) 擬便距離水面的高度和水的深度對水花濺起高度的影響

1. 固定水的深度，改變擬便高度
2. 固定擬便和水面的高度，改變水的深度

(二) 擬便的密度、接觸水面面積、形狀、突起排列對水花濺起高度的影響

1. 固定擬便的體積，改變擬便的密度
2. 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積
3. 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀
4. 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列

(三) 水溶液的性質對水花濺起高度的影響

1. 改變水溶液的表面張力
2. 改變水溶液的密度
3. 改變水溶液的黏稠度
4. 改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度

### 三、文獻回顧：

#### (一) 跳水運動

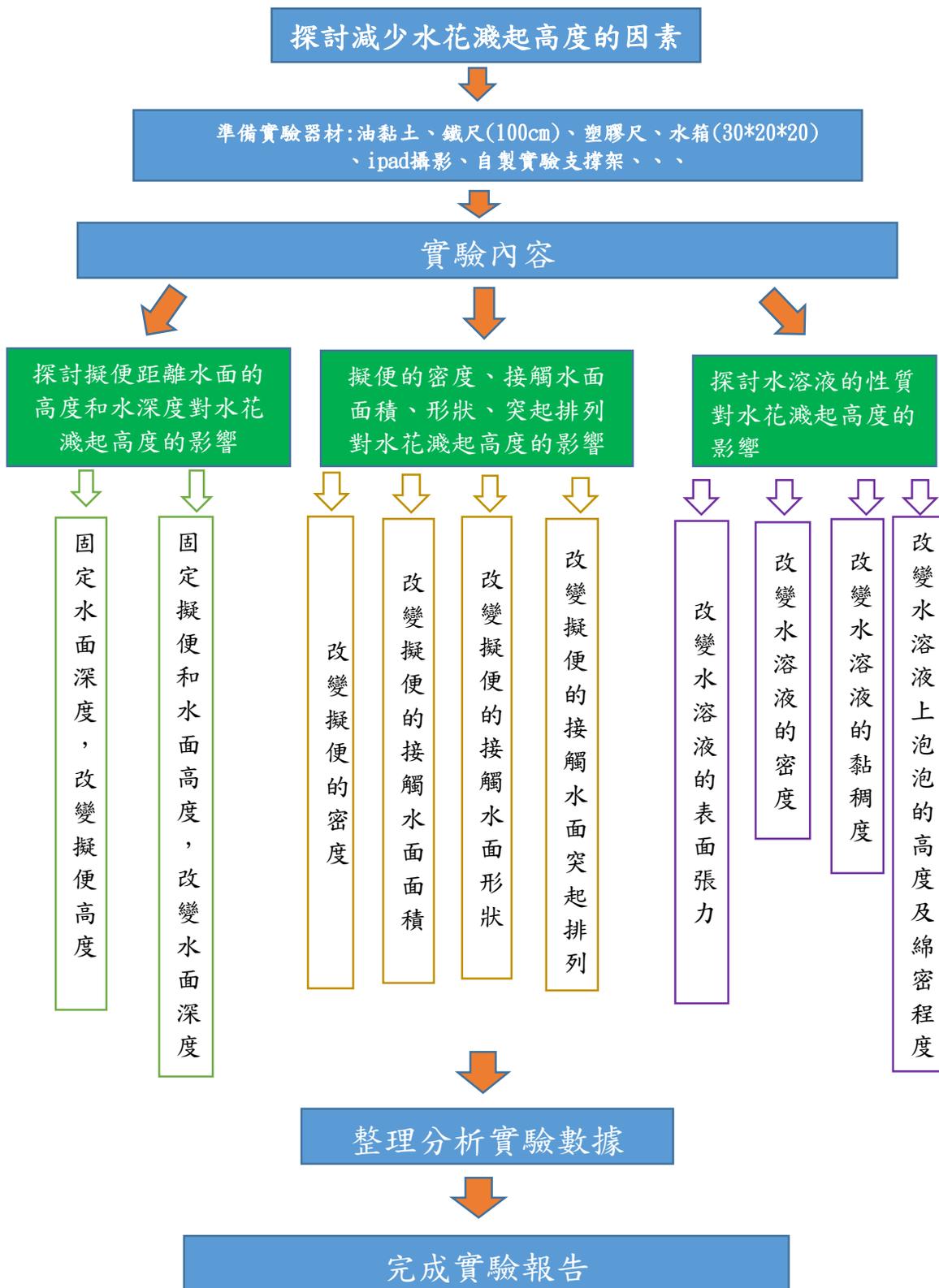
壓水花屬於流體力學的範疇，就是跳水運動員從離開跳臺到進入水中與水面接觸的過程，是固體流體碰撞的過程。如何讓濺起的水花減少到最低限度，這是各位運動員一直想要達到的水平。入水時最重要的時機是把握好身體的舒展程度以及通過增加旋轉來減少與水的阻力，從而減少水花將楔形物體和正方體同時拋向水裡，使正方體水花小。實驗表明楔形物體入水時，由於水的不可壓縮性，便使得水從阻力最小的方向出去，而正方體由於與水的接觸面是橫向的，這樣水由於壓力不能向上出去，只能朝著兩邊出去，這樣一來水花就小很多了(如下圖)，這也就是跳水運動員入水時掌心向下的原因了。



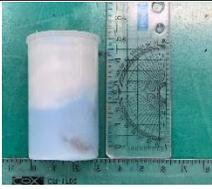
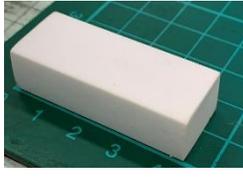
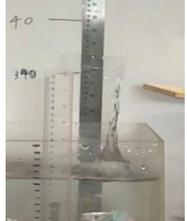
#### (二) 沃辛頓射流

具有更大能量（更高的韋伯數）下落衝擊時會產生飛濺。在飛濺狀態下，液滴會先在流體表面產生一個隕石坑，然後在隕石坑周圍形成一個皇冠。隨後，坍塌液滴的動能會導致液體向上擠壓形成垂直液柱。如果衝擊能量夠高，射流上升到它夾斷的點，就能將一個或多個液滴向上送出表面。這種從液滴落在流體表面形成的隕石坑中心突出的中央射流，稱為沃辛頓射流（Worthington Jet），跳臺跳水則是儘量減少沃辛頓射流所造成的水花。

#### 四、研究流程



## 貳、研究設備及器材

				
紙黏土	電子秤	鹽	括勺	洗碗精
				
腳架	紀錄本	投擬便架子	慢動作攝影	泡棉
				
游標尺	20*20*30CC 水槽	美工刀	量筒、燒杯	打泡泡機
				
彈力球 (擬便1號)	底片盒 (擬便2號)	蠟燭(擬便3號)	橡皮擦(擬便4號)	表面突起彈力球(擬便5號)
				
各種影響表面張力的介面溶液	果糖	刮鬍泡	100cm鐵尺	

## 參、實驗過程及方法

### 一、擬便距離水面的高度和水深度對水花濺起高度的影響

#### (一) 固定水面深度，改變擬便高度

1. 架設釋放擬便架，攝影器材。
2. 調整擬便與液面高度差分別為1、4、7、10、13、16cm。
3. 固定水面深度14cm，擬便1號由擬便架以自由落體的方式落入水中，拍攝水花濺起情形。
4. 每個高度重複實驗 5 次（成功才算-沒有水花或突爆者不算）。
5. 平均5次結果，記錄並分析實驗結果。
6. 用擬便2號，做相同的實驗，比較實驗結果。

\*擬便 1 號:

$m=55.35g$

$V=38ml$

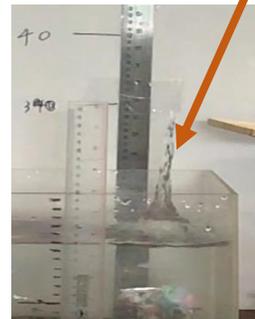
$D=1.46g/cm^3$



架好架子



釋放擬便



濺起水柱



入水空腔

拍攝大便掉落時濺起水花的樣子，記錄水花高度及擬便入水深度

#### (二) 固定擬便和水面的高度(10cm)，改變水面深度

1. 方法同實驗一~(一)，使用擬便2號。
2. 改變水面深度，分別為2、5、8、11、14、17cm。
3. 記錄並分析實驗結果。

\*擬便 2 號:

$V=37\text{ cm}^3$



### 二、擬便的密度、接觸水面面積、形狀、突起排列對水花濺起高度的影響

#### (一) 固定擬便的體積，改變擬便的密度（重量）

1. 方法同實驗一~(一)，使用擬便2號。
2. 調整擬便高度:24cm、水面深度14cm、擬便與液面高度差10cm
3. 改變擬便的質量(相當於改變密度，因為體積相同，質量越大，則密度越大)分別為24.32、31.38、38.86、41.77、51.65、60.42克。
4. 記錄並分析實驗結果。

\*擬便 2 號:

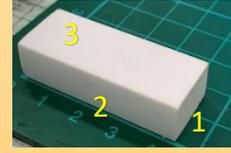
$V=37\text{ cm}^3$



(二) 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積

1. 方法同實驗一~(一)，使用擬便3號。
2. 調整擬便高度:24cm、水面深度14cm、擬便與液面高度差10cm
3. 改變擬便的接觸水面面積，如右圖三個面的面積  
(分別為 $1.87\text{ cm}^2$ 、 $4.84\text{ cm}^2$ 、 $7.47\text{ cm}^2$ 。)
4. 記錄並分析實驗結果。

\* 擬便 3 號:  
 $V=4.4*1.7*1.1$   
 $=8.228(\text{cm}^3)$   
 $m=12.33\text{g}$   
 $D=1.5\text{g}/\text{cm}^3$



(三) 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀

1. 方法同上，使用擬便4號。
2. 改變擬便的接觸水面形狀，如右圖。
3. 記錄並分析實驗結果。

\* 擬便 4 號:每隻  
 $m=7.9\text{g}$   
 $V=9.08\text{ cm}^3$   
 $D=0.87\text{g}/\text{cm}^3$



(四) 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列

\* 擬便 5 號: $m=60\text{g}$ (含  $4.56\text{g}$  各種突起的黏土) $D=1.5\text{g}/\text{cm}^3$



1. 方法同上。
2. 改變擬便的接觸水面突起形狀，如上圖。
3. 記錄並分析實驗結果。

四、水溶液的性質對水花濺起高度的影響

(一) 改變水溶液的表面張力

1. 使用擬便2號。
2. 噴一層不同介質(如右圖)於水面上，改變水面的表面張力。
3. 方法同上，記錄並分析實驗結果。



洗碗精、玻璃清潔劑、浴廁清潔劑、椰子油

## (二)改變水溶液的密度

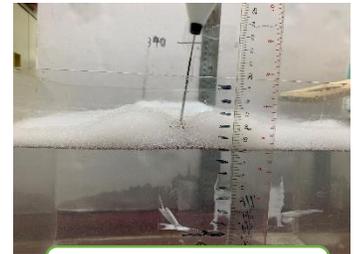
1. 調配水的鹽度分別為0、1.75%、3.5%、5.25%、7%。
2. 如實驗一的方法測量水花濺起的高度。
3. 紀錄並分析結果。
4. 以糖水代替鹽水，方法和鹽水一樣，紀錄並分析結果。

## (三)改變水溶液的黏稠度

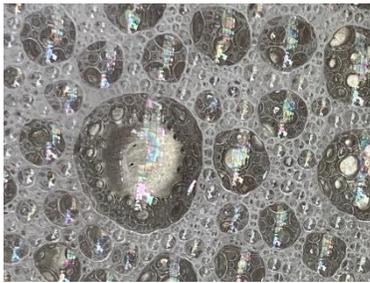
1. 水中分別加入洗碗精，調成比例水:洗碗精為1:0、5:1、4:1、3:1、2:1的溶液（不攪拌）靜置1分鐘後開始實驗
2. 如實驗一的方法測量水花濺起的高度
3. 紀錄並分析結果
4. 以糖水代替洗碗精，方法和洗碗精一樣，紀錄並分析結果。

## (四)改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度

1. 先如上步驟加入洗碗精，打出泡沫高度0、1、2、3、4公分(如右圖)
2. 如實驗一的方法測量水花濺起的高度。
3. 紀錄並分析結果。
4. 以洗碗精、浴廁清潔劑、刮鬍泡打出不同緊密度（疏鬆、中等、綿密）的泡泡1公分
5. 如實驗一的方法測量水花濺起的高度，紀錄並分析結果。



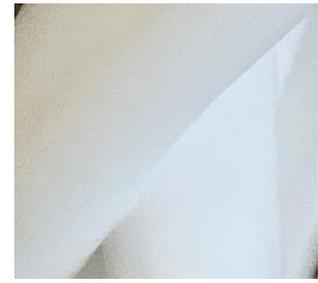
打泡泡機製作泡泡



洗碗精疏鬆泡泡



浴廁清潔劑中型泡泡



刮鬍泡綿密泡泡

## 肆、實驗結果與討論

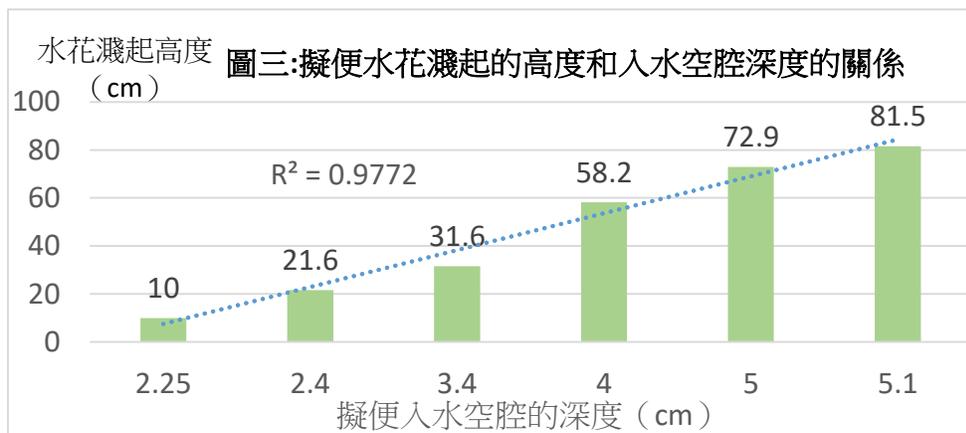
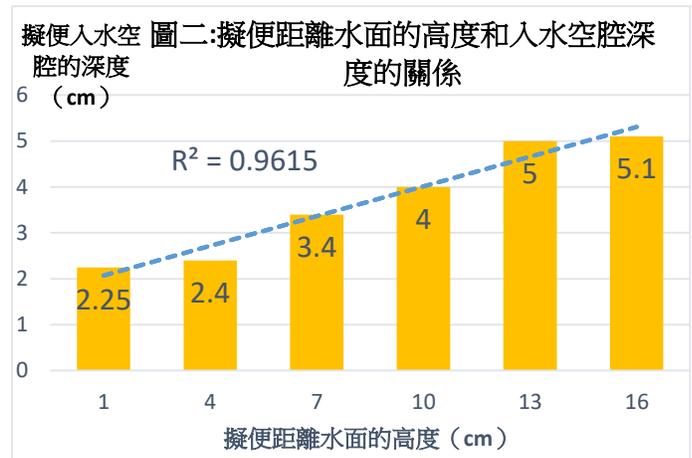
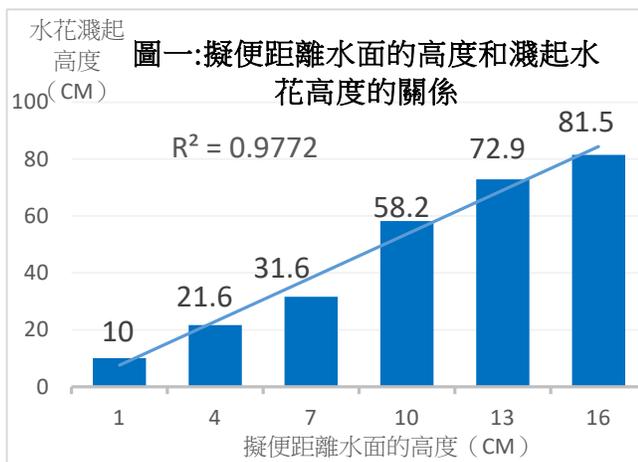
### 一、擬便距離水面的高度和水的深度對水花濺起高度的影響

因為考慮大便有大有小，而家中馬桶的水位也有高低之分，因此我們改變擬便的高度及馬桶的水位來分析擬便掉落馬桶中濺起水花的差異，結果如下：

(一) ~1: 固定水面高度(14cm)，改變擬便(彈力球)高度

表一: 不同高度的彈力球擬便掉落馬桶時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

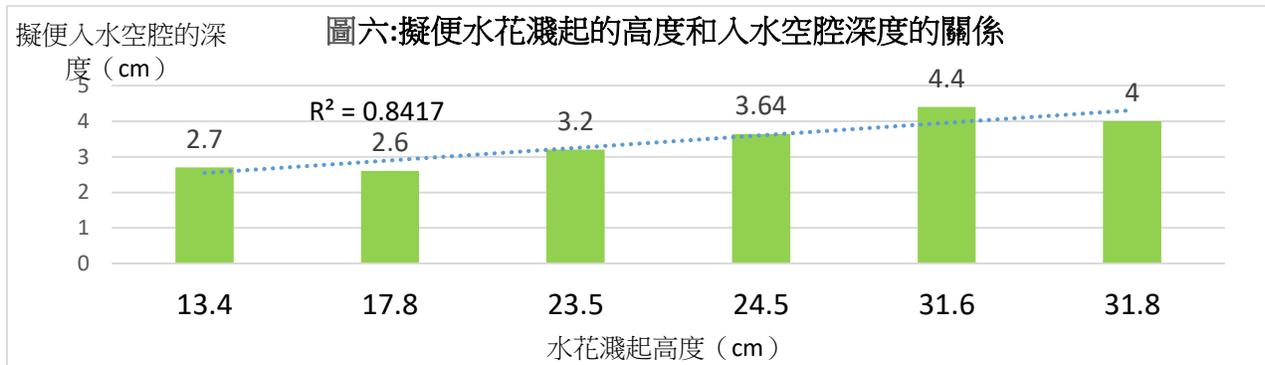
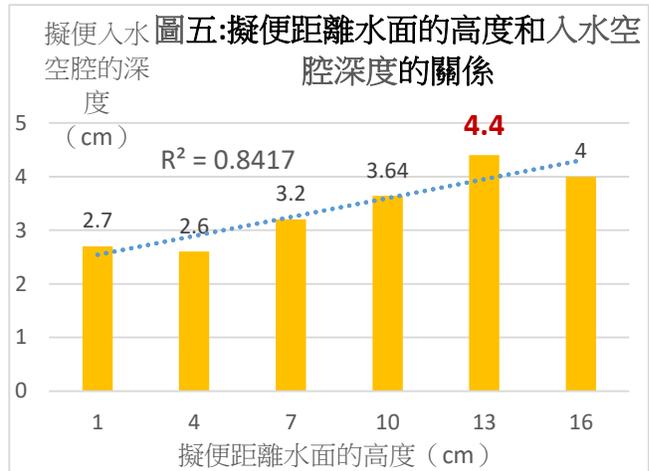
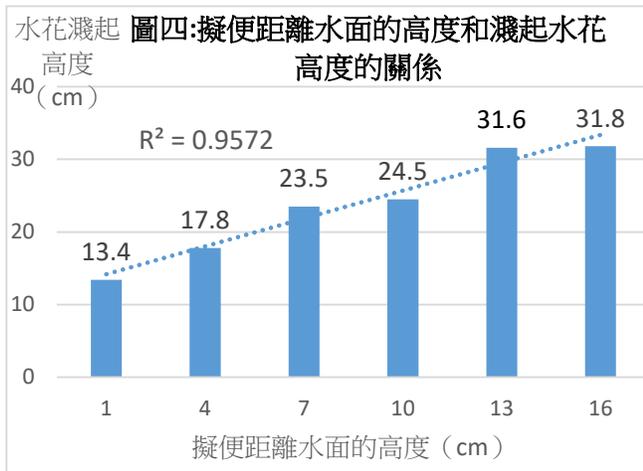
擬便高度 (cm)	13	16	19	22	25	28
擬便距離水面的高度 (cm)	1	4	7	10	13	16
水花濺起高度 (cm)	10	21.6	31.6	58.2	72.9	81.5
擬便入水空腔的深度 (cm)	2.25	2.4	3.4	4	5	5.1



(一)~2:固定水面高度(14cm)，改變擬便(底片盒)高度

表二: 不同高度的底片盒擬便掉落馬桶時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

擬便高度 (cm)	5	8	21	24	27	30
擬便距離水面的高 (cm)	1	4	7	10	13	16
水花濺起高度 (cm)	3.4	17.8	23.5	24.5	31.6	31.8
擬便入水空腔的深度cm)	2.7	2.6	3.2	3.6	4.4	4



### 【結果與討論】

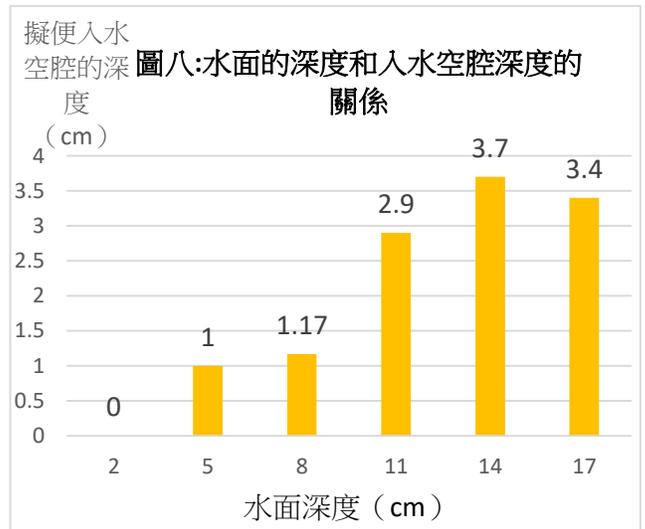
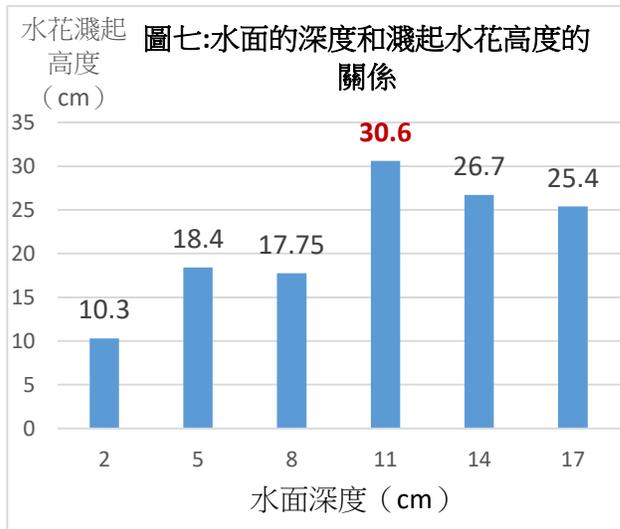
- 1.由圖一~圖三發現彈力球擬便距水面越高，水花濺得越高，入水產生的空腔也越大；而入水產生的空腔也越大，產生的水花也越高，都呈現R=0.98的高度相關。
- 2.改成底片盒擬便時，由圖三~圖六也發現相同的現象，只是相關性小一點，擬便的離水面的高度最好小於13公分，因為超過13公分之後水花高度會有較大幅度的增加。
- 3.彈力球擬便距水面高度對濺起水花的影響較大，16公分時水花的高度是底片盒的2.5倍以上，但是7公分以下時差異漸小，到1公分時，水花的高度竟比是底片盒低，我們推測擬便入水的形狀、重量都會影響水花的高度。

(二) 固定擬便(底片盒)和水面的高度(10cm)，改變水面深度

當擬便以相同的重力位能掉落時，水面的深淺會影響水花濺起的高度嗎?一開始我們用彈力球，但是當水位低於8公分時，彈力球撞到底部產生二次彈跳，因此數據無法使用，於是我們只用底片盒擬便做這個實驗。

表三:底片盒擬便掉落馬桶不同水位深度時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

水面深度 (cm)	2	5	8	11	14	17
水花濺起高度 (cm)	10.3	18.4	17.75	30.6	26.7	25.4
擬便入水空腔的深度 (cm)	0	1	1.17	2.9	3.7	3.4



### 【結果與討論】

1. 由圖七發現深度11公分時，水花最高，8公分以下水花小很多，14公分以上水花稍微降低，8-14公分似乎是水花達最高點的臨界深度。
2. 由固定水面高度，改變重力位能的實驗發現10-13公分是個臨界，超過此高度水花突然高很多，在固定重力位能的實驗則是發現差不多這個高度，水花噴到最高，這是甚麼原因造成的?有待進一步實驗來探索。

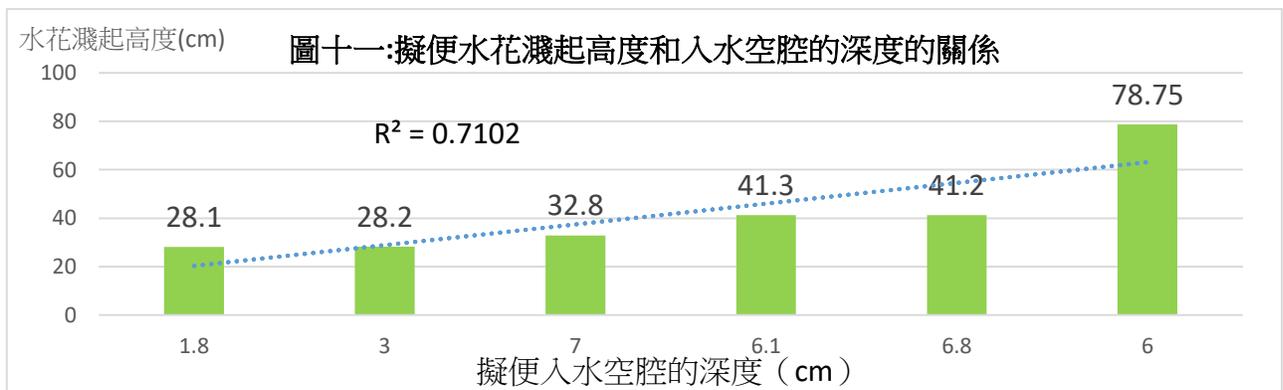
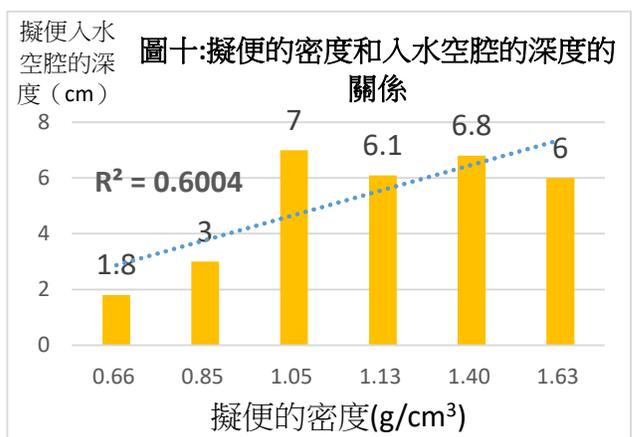
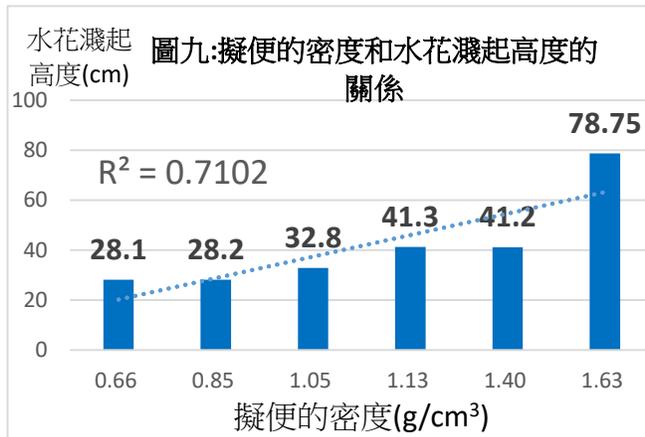
## 二、擬便的密度、接觸水面面積、形狀、突起排列對水花濺起高度的影響



(一) 固定擬便(底片盒)的體積，改變擬便的密度(重量)

表四:不同重量的底片盒擬便掉落馬桶相同水位深度時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

擬便的質量(g)	24.32	31.38	38.86	41.77	51.65	60.42
擬便的密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.66	0.85	1.05	1.13	1.40	1.63
水花濺起高度(cm)	28.1	28.2	32.8	41.3	41.2	78.75
擬便入水空腔的深度 (cm)	1.8	3	7	6.1	6.8	6



### 【結果與討論】

1. 體積狀相同時，密度越大(越重)，水花濺起的高度越高，密度達1.63g/cm<sup>3</sup>時，水花高度大增，密度在1.4g/cm<sup>3</sup>之前則小幅增加。
2. 入水空腔深度在密度小於1 g/cm<sup>3</sup>時，有隨密度變大而變深，但密度超過1 g/cm<sup>3</sup>時，兩者的相關性就更低了。

(二) 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積

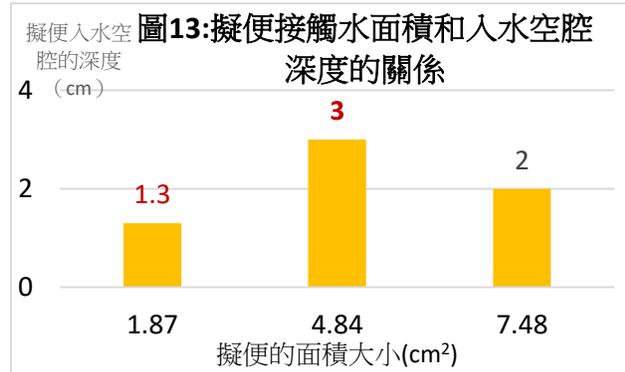
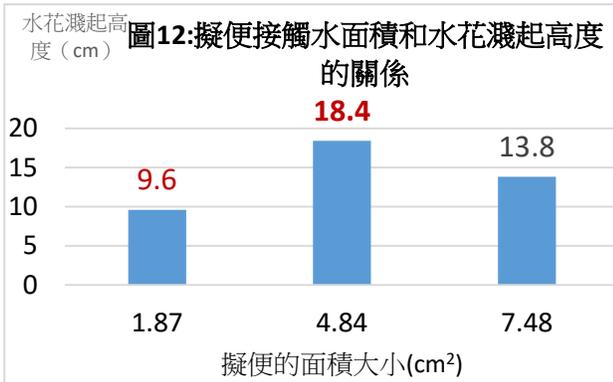
\* 擬便3號:  $V=4.4 \times 1.7 \times 1.1=8.228(\text{cm}^3)$   $m=12.33\text{g}$   $D=1.5\text{g}/\text{cm}^3$

擬便高度:24cm 水面高度:14 cm 擬便掉落高度:10 cm



表五:橡皮擦擬便掉落水面的面積不同時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

擬便的面積大小( $\text{cm}^2$ )	①1.87	②4.84	③7.48
水花濺起高度 (cm)	9.6	18.4	13.8
擬便入水空腔的深度 (cm)	1.3	3	2



### 【結果與討論】

- 由圖12~13發現擬便在體積重量相同情況下，面積最小的，水花最低，而面積中等的水花最高。

(三) 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀

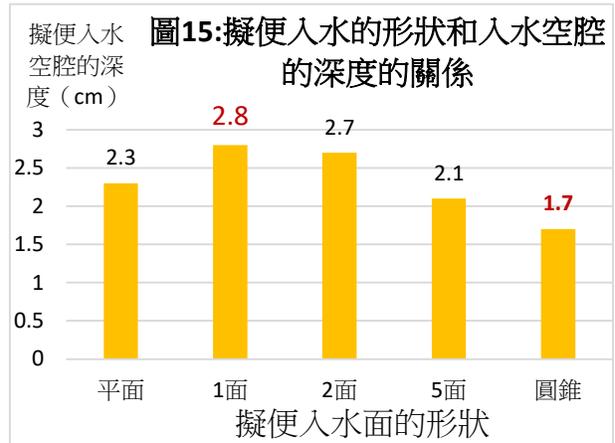
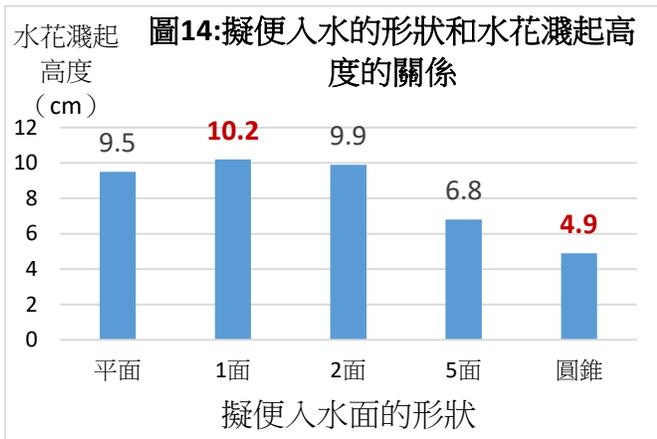
\* 擬便4號:每隻 $m=7.95\text{g}$   $V=9.08\text{ cm}^3$   $D=0.87\text{g}/\text{cm}^3$

擬便高度:24 cm 水面高度:14 cm 擬便掉落高度:10 cm



表六:蠟燭擬便掉落時接觸水面的形狀和濺起水花高度及入水空腔深度的比較

擬便的面積大小( $\text{cm}^2$ )	平面	1面	2面	5面	圓錐
水花濺起高度 (cm)	9.5	10.2	9.9	6.8	4.9
擬便入水空腔的深度 (cm)	2.3	2.8	2.7	2.1	1.7



### 【結果與討論】

1. 擬便密度小於  $1 \text{ g/cm}^3$  時，由圖14~15發現入水時以平面入水，比1面和2面的水花低這和沃辛頓射流的原理相符，但入水水面增加到五面甚至圓錐時，水花的高度降低非常多，以圓錐的水花最低。

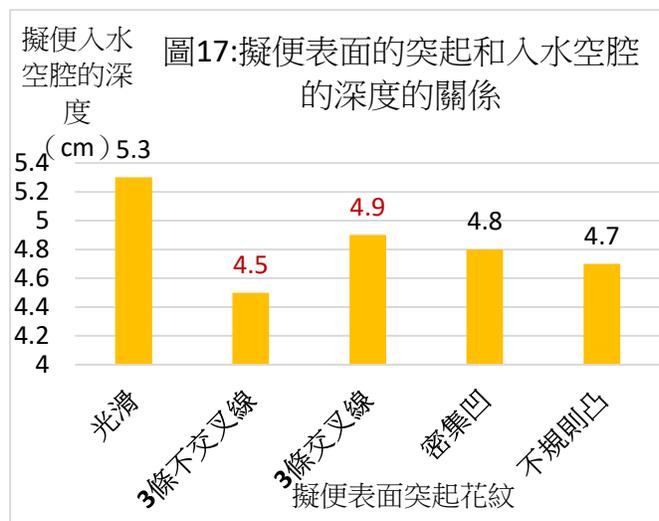
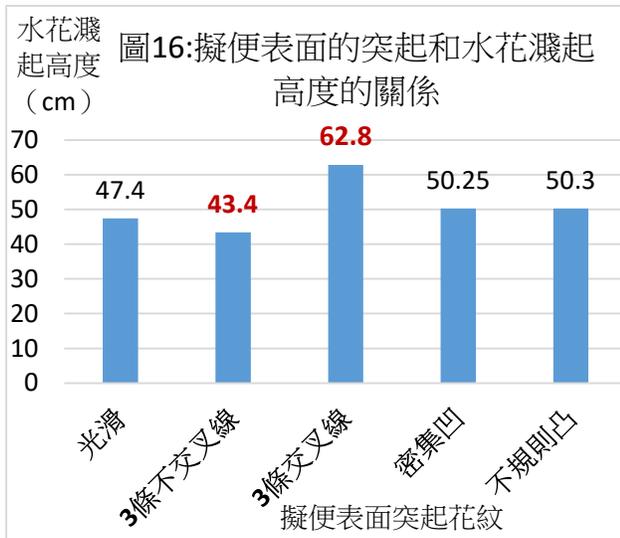
(四) 固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列

\* 擬便 5 號:  $m=60\text{g}$  (含  $4.56\text{g}$  各種突起的黏土)  $D=1.5\text{g/cm}^3$



表七:有突起彈力球擬便掉落時接觸水面的突起樣式和濺起水花高度及入水空腔深度的比較

擬便表面突起花紋	光滑	3 條不交叉線	3 條交叉線	密集凹	不規則凸
水花濺起高度 (cm)	47.4	43.4	62.8	50.25	50.3
擬便入水空腔的深度 (cm)	5.3	4.5	4.9	4.8	4.7



### 【結果與討論】

- 3條不交叉的線濺起的水花最小，交叉線水花最高，密集凹突的花紋則差異不大，水花都比光滑高。

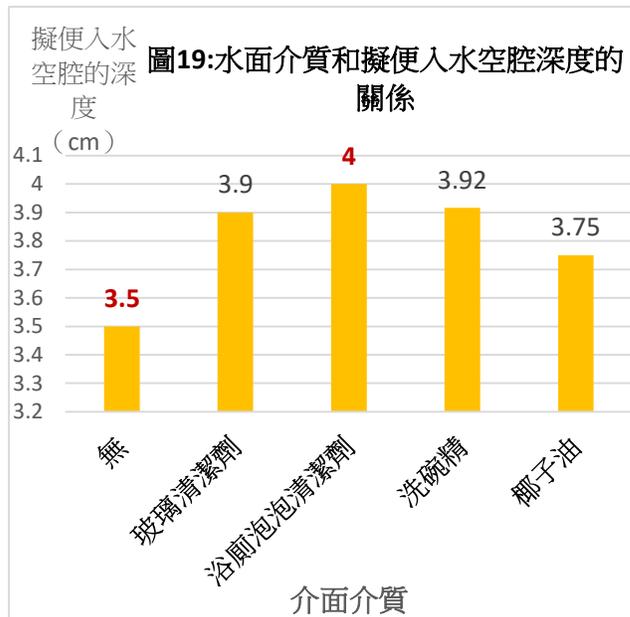
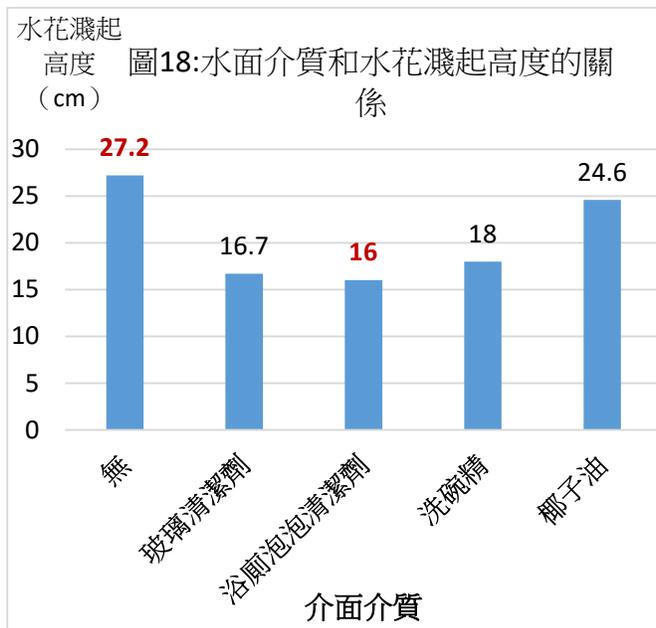
## 三、水溶液的性質對水花濺起高度的影響

### (一) 改變水溶液的表面張力

藉著噴上一層親水或疏水(油)的介質，改變水的表面張力，來比較當擬便掉入時，其水花噴濺高度的差異結果如下表：

表八:底片盒擬便掉落時接觸水面的介質和濺起水花高度及入水空腔深度的比較

介面介質	無	玻璃清潔劑	浴廁泡泡清潔劑	洗碗精	椰子油
水花濺起高度 (cm)	27.2	16.7	16	18	24.6
擬便入水空腔的深度 (cm)	3.5	3.9	4	3.9	3.75



### 【結果與討論】

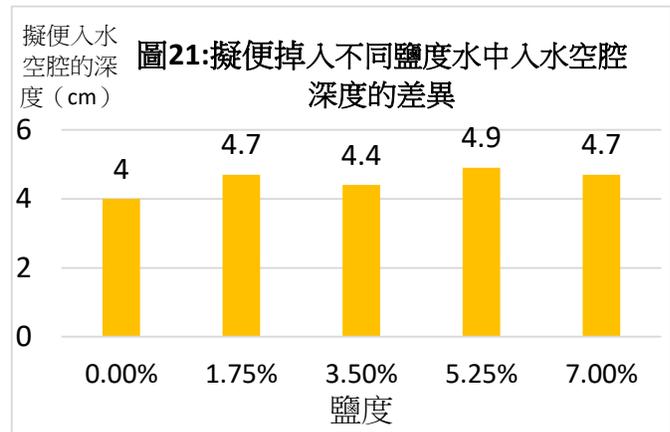
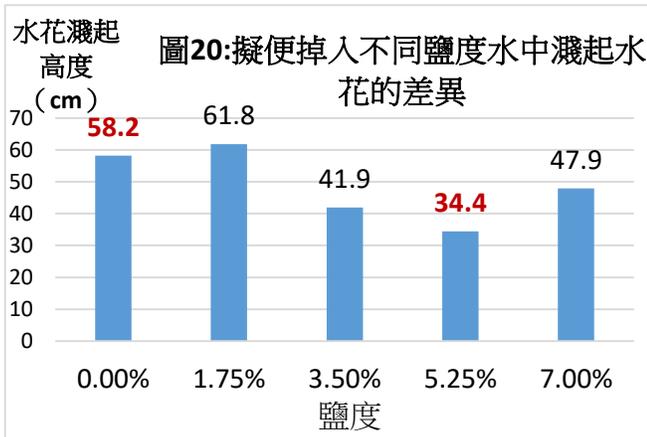
1. 當水面有一層介質時，都會降低水花的高度，親水性的清潔劑降較多，疏水性的椰子油降比較少(圖18)。
2. 前面的實驗幾乎都是擬便入水空腔深，水花濺起高度大，但是由圖18~19卻發現這個實驗剛好相反，入水空腔小的水花高度高，空腔大的，水花高度低，不知是否與表面張力的破壞有關，有待進一步實驗來證明。

(二)改變水溶液的密度

(二)~1:由改變水溶液中鹽的量來改變水溶液的密度

表九:底片盒擬便掉落不同鹽度(密度不同的溶液)時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

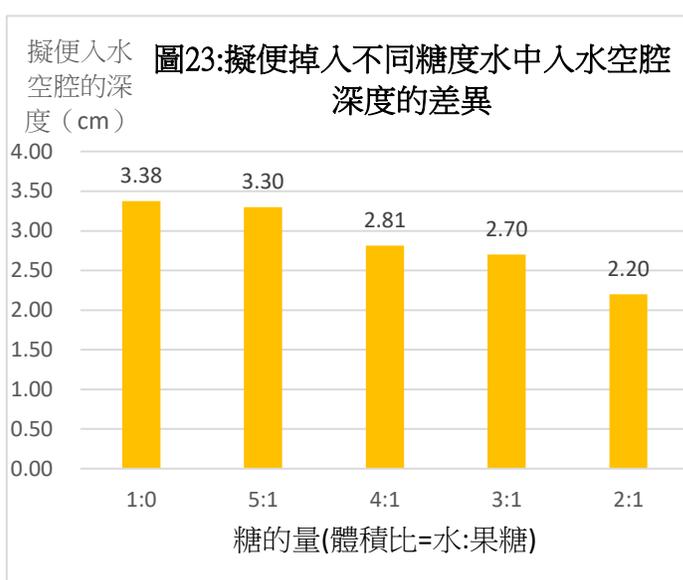
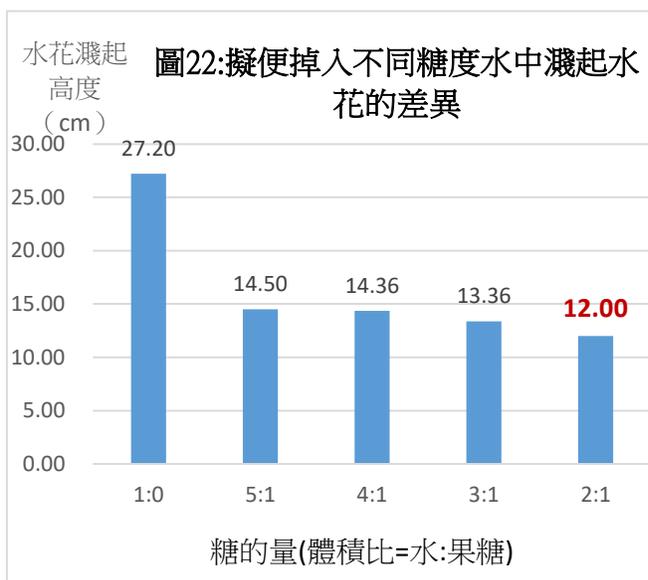
水溶液濃度	0	1.72%	3.38%	4.99%	6.54%
水溶液鹽度	0	1.75%	3.50%	5.25%	7.00%
鹽的重量(g)	0	135.6	135.6*2	135.6*3	135.6*4
水花濺起高度 (cm)	58.2	61.8	41.9	34.4	47.9
擬便入水空腔的深度 (cm)	4	4.7	4.4	4.9	4.7



(二)~2:由改變水溶液中糖的量來改變水溶液的密度

表十:底片盒擬便掉落不同糖度(密度不同的溶液)時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

體積比(水:果糖)	1:0	5:1	4:1	3:1	2:1
糖度(原液當成 1)	0	20%	25%	33.3%	50%
水花濺起高度 (cm)	27.20	14.50	14.36	13.36	12.00
擬便入水空腔的深度 (cm)	3.375	3.3	2.8125	2.7	2.2



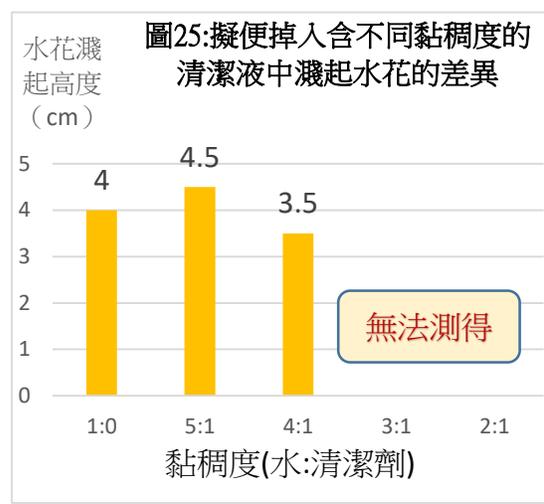
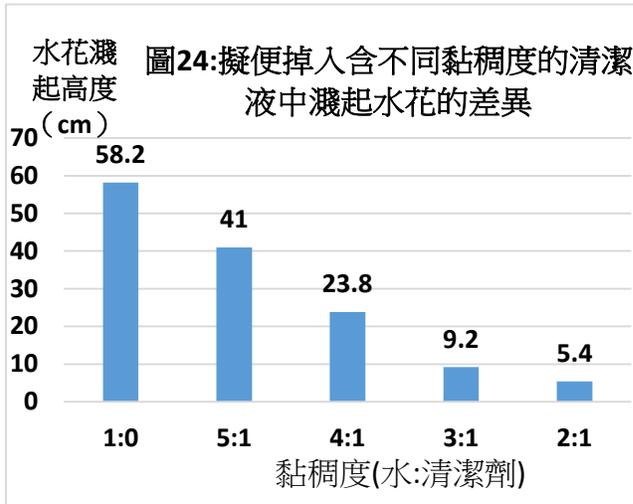
### 【結果與討論】

1. 由圖20發現加入少量的鹽，一開始水花高度會變高，當鹽加到相當海水鹽度時，水花開始降低，鹽度到5.25%時水花最低，再增加鹽時，水花又變高了。
2. 由圖22發現加入糖越多，水花就越低，鹽的變化就沒有這麼規則，是否跟鹽是電解質有關，有待進一步實驗來證實。
3. 我們加的糖是果糖，也可能黏稠度的影響大過濃度的影響，如果有時間可以用和調鹽度一樣的方法來做比較並且去除黏稠度的影響。

#### (三)-1: 改變水溶液的黏稠度(洗碗精的量)

表十一:擬便掉落黏稠度不同(洗碗精)的水溶液時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

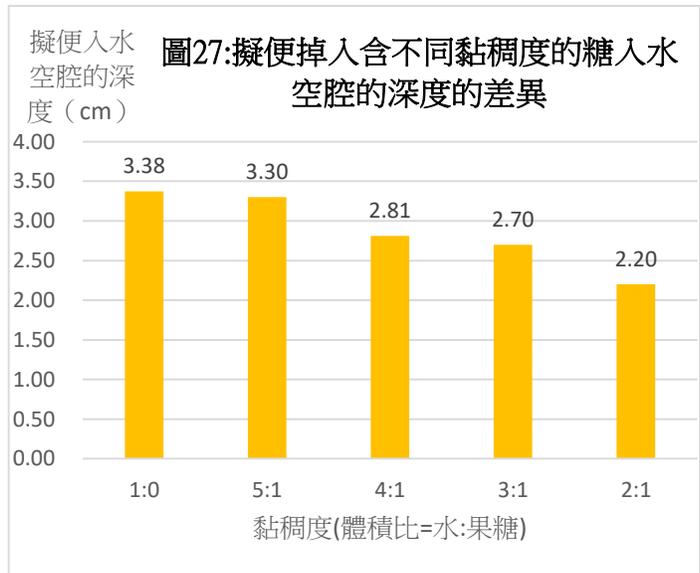
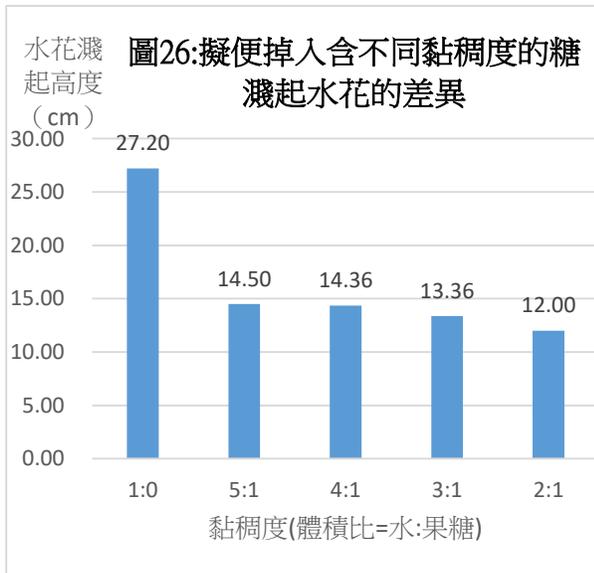
黏稠度	1:0	5:1	4:1	3:1	2:1
水花濺起高度 (cm)	58.2	41	23.8	9.2	5.4
擬便入水空腔的深度 (cm)	4	4.5	3.5	無法測得	



(三)~2: 改變水溶液的黏稠度(果糖的量)

表十二: 擬便掉落黏稠度不同(果糖)的水溶液時, 濺起水花高度和入水空腔深度的比較

黏稠度【體積比(水:果糖)】	1:0	5:1	4:1	3:1	2:1
糖度(原液當成 1)	0	20%	25%	33.3%	50%
水花濺起高度 (cm)	27.20	14.50	14.36	13.36	12.00
擬便入水空腔的深度 (cm)	3.375	3.3	2.8125	2.7	2.2



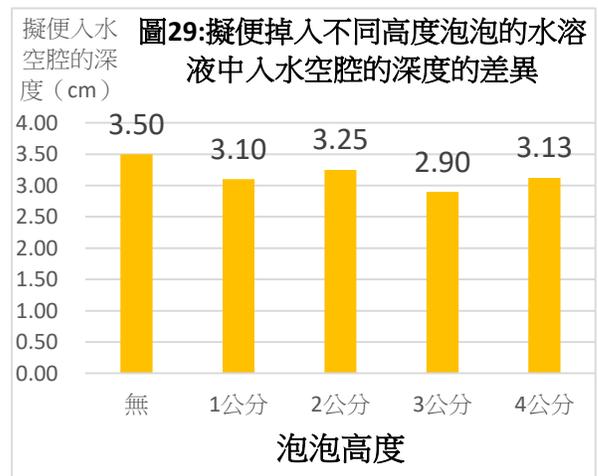
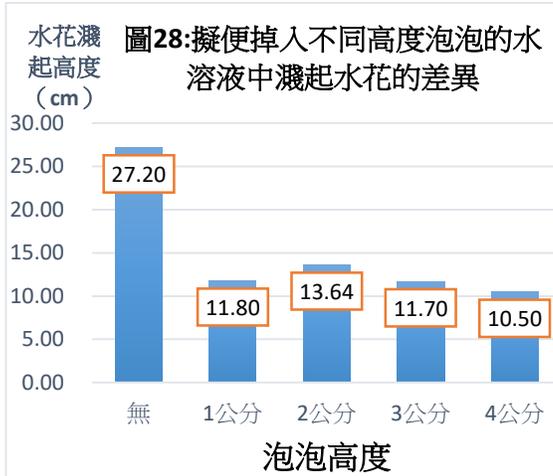
## 【結果與討論】

1. 由圖24、25發現水溶液越黏稠，水花濺出的高度越低，清潔劑是隨著清潔劑越濃，水花慢慢降低；但果糖則是5:1時(水:果糖)，水花高度突降，之後就平緩下降了(圖26、27)。
2. 清潔劑與果糖不同之處在於界面活性劑有親水端與疏水端，這是否為影響水花降低表現不同的原因，仍有待確認。

### (四)改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度

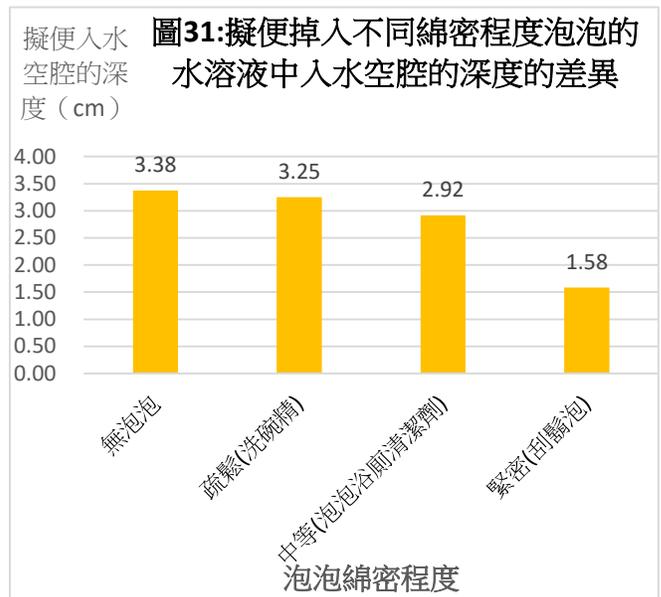
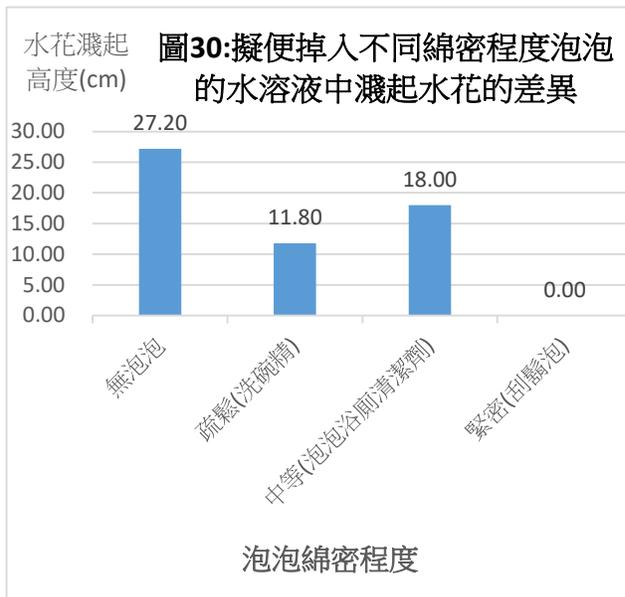
表十三: 擬便掉落不同泡泡高度的水溶液時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

泡泡高度	無	1公分	2公分	3公分	4公分
水花濺起高度 (cm)	27.20	11.80	13.64	11.70	10.50
擬便入水空腔的深度 (cm)	3.50	3.10	3.25	2.90	3.13
備註	泡泡先在外面打好高度再平鋪在水面上				



表十四: 擬便掉落不同泡泡綿密程度的水溶液時，濺起水花高度和入水空腔深度的比較

泡泡綿密度	無泡泡	疏鬆 (洗碗精)	中等 (泡泡浴廁清潔劑)	緊密 (刮鬍泡)
水花濺起高度(cm)	27.20	11.80	18.00	0.00
擬便入水空腔的深度(cm)	3.38	3.25	2.92	1.58
備註	泡泡先在外面打好高度再平鋪在水面上			



### 【結果與討論】

1. 在改變泡沫高度的實驗中，泡沫的高度1~4CM，對於降低水花高度的效果均相近。
2. 在改變泡沫綿密度的實驗中，最綿密的刮鬍膏泡沫，才能完全阻擋水花。
3. 泡沫對於降低擬便入水速度幾乎無作用，所以擬便入水後，我們仍能觀察到空腔的產生，即使是最綿密的刮鬍膏泡沫，仍能觀察到空腔。
4. 除了綿密夠厚的刮鬍膏泡沫，各種類型的泡沫能阻擋大部分水花。但由於空腔閉合需要些許時間，所以中心的沃辛頓射流有部分仍能在空腔完全閉合前彈射出水面，即使空腔先閉合，射流的動能仍足夠使其穿出泡沫形成水花。

## 伍、討論

- 一、在實驗一(一)固定水面深度，改變擬便高度的部分，我們原先認為探討的主要是入水時位能的差異；而在實驗二(一)固定擬便(底片盒)的體積，改變擬便的密度(重量)，也是比較位能的差異。但兩部分水花、空腔的變化呈現的結果卻不同。  
然而仔細想想，二者的實驗細節仍是有差異的：  
實驗一(一)的部分，撞擊水面的速度和落下高度的平方根成正比，但實驗二(一)的離水面高度卻是固定不變的。亦即，撞擊水面的速度有可能是影響水花的變因，這點仍有待進一步實驗確認。
- 二、擬便的釋放是相當困擾我們的部分，以手釋放擬便，即使只有微小的偏差，仍然容易造成擬便偏轉，水花噴濺散亂。我們僅能盡量反覆多做，去除水花噴濺雜亂部分的數據後，採多次測量的平均值。判斷是否採用該筆數據的標準是：有明顯的中心射流筆直上升，入水瞬間是否垂直水面。  
雖然我們想過使用電磁鐵斷電來釋放擬便，但一直無法克服噴上來的水花被電磁鐵所阻擋。
- 三、中心射流上升後，會因為水的表面張力而斷裂成數個上升段，同時收縮成上升的水珠，最上端的小水珠甚至彈射上升超過水面100公分。因此，水花的高度我們並不是採計最高點的水珠，而是採計上升中的最大水珠。
- 四、我們紀錄了空腔的深度，但發現即使空腔的深度相近，但水花彈射高度有時差異甚大，我們推測：空腔的開口面積應是影響的原因，但由於實驗過程並未記錄此項數據，日後有時間將再進行實驗探討。
- 五、擬便掉入不同鹽度水中的水花高度變化，出乎我們意料之外，居然是在某個濃度水花高度較小，經過兩回的實驗，結果仍是這樣，其原因究竟為何？我們推想，或許鹽因為是電解質，日後這仍有待進一步找其他電解質(例如硝酸鉀)來進行探討。
- 六、擬便如果釋放時施力不平均，會有輕微旋轉的情形，我們觀察到，此時水花通常不大，有時甚至會出現極小水花。所以我們推測，跳水選手水花之所以很小，除了雙手壓水花的動作，身體並非完全垂直入水也是一個關鍵。

## 陸、結論

### 一、固定水面深度，改變擬便高度：

由圖一~圖三發現彈力球擬便距水面越高，水花濺得越高，入水產生的空腔也越大；而入水產生的空腔也越大，產生的水花也越高，都呈現 $R=0.98$ 的高度相關。

改成底片盒擬便時，由圖三~圖六也發現相同的現象，只是相關性小一點，擬便的離水面的高度最好小於13公分，因為超過13公分之後水花高度會有較大幅度的增加。

彈力球擬便距水面高度對濺起水花的影響較大，16公分時水花的高度是底片盒的2.5倍以上，但是7公分以下時差異漸小，到1公分時，水花的高度竟比是底片盒低，我們推測擬便入水的形狀、重量都會影響水花的高度。

### 二、固定擬便和水面的高度(10cm)，改變水面深度：

由圖七發現深度11公分時，水花最高，8公分以下水花小很多，14公分以上水花稍微降低，8-14公分似乎是水花達最高點的臨界深度。

由固定水面高度，改變重力位能的實驗發現10-13公分是個臨界，超過此高度水花突然高很多，在固定重力位能的實驗則是發現差不多這個高度，水花噴到最高，這是甚麼原因造成的？有待進一步實驗來探索。體積狀相同時，密度越大(越重)，水花濺起的高度越高，**密度達 $1.63\text{g/cm}^3$ 時，水花高度大增**，密度在 $1.4\text{g/cm}^3$ 之前則小幅增加。

### 三、固定擬便的體積，改變擬便的密度(重量)：

入水空腔深度在密度小於 $1\text{g/cm}^3$ 時，有隨密度變大而變深，但密度超過 $1\text{g/cm}^3$ 時，兩者的相關性就更低了。

### 四、固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積：

由圖12~13發現擬便在體積重量相同情況下，面積最小的，水花最低，而面積中等的水花最高。

### 五、固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀：

擬便密度小於 $1\text{g/cm}^3$ 時，由圖14~15發現入水時以**平面入水，比1面和2面的水花低**這和沃辛頓射流的原理相符，但入水水面增加到**五面甚至圓錐時，水花的高度降低非常多，以圓錐的水花最低**。

### 六、固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列：

1.3條不交叉的線濺起的水花最小，交叉線水花最高，密集凹突的花紋則差異不大，水花都比光滑高。

### 七、改變水溶液的表面張力：

**當水面有一層介質時，都會降低水花的高度**，親水性的清潔劑降較多，疏水性的椰子油降比較少(圖18)。

前面的實驗幾乎都是擬便入水空腔深，水花濺起高度大，但是由圖18~19卻發現這個實驗剛好相反，入水空腔小的水花高度高，空腔大的，水花高度低，不知是否與表面張力的破壞有關，有待進一步實驗來證明。

#### 八、改變水溶液的密度：

由圖20發現加入少量的鹽，一開始水花高度會變高，當鹽加到相當海水鹽度時，水花開始降低，**鹽度到5.25%時水花最低**，再增加鹽時，水花又變高了。

由圖22發現**加入糖越多，水花就越低，鹽的變化就沒有這麼規則**，是否跟鹽是電解質有關，有待進一步實驗來證實。

我們加的糖是果糖，也可能黏稠度的影響大過濃度的影響，如果有時間可以用和調鹽度一樣的方法來做比較並且去除黏稠度的影響。

#### 九、改變水溶液的黏稠度：

由圖24、25發現水溶液越黏稠，水花濺出的高度越低，清潔劑是隨著清潔劑越濃，水花慢慢降低；但果糖則是5:1時(水:果糖)，水花高度突降，之後就平緩下降了(圖26、27)。

清潔劑與果糖不同之處在於界面活性劑有親水端與疏水端，這是否為影響水花降低表現不同的原因，仍有待確認。

#### 十、改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度：

在改變泡沫高度的實驗中，泡沫的高度1~4CM，對於降低水花高度的效果均相近。

在改變泡沫綿密度的實驗中，最綿密的刮鬍膏泡沫，才能完全阻擋水花。

泡沫對於降低擬便入水速度幾乎無作用，所以擬便入水後，我們仍能觀察到空腔的產生，即使是最綿密的刮鬍膏泡沫，仍能觀察到空腔。

除了綿密夠厚的刮鬍膏泡沫，各種類型的泡沫能阻擋大部分水花。但由於空腔閉合需要些許時間，所以中心的沃辛頓射流有部分仍能在空腔完全閉合前彈射出水面，即使空腔先閉合，射流的動能仍足夠使其穿出泡沫形成水花。

## 柒、參考資料

### 一、水舞-水滴在薄層液上的噴濺性

國中組物理科，作者:許喆媛、呂汶諺、侯宜伶，中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

[https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030106.pdf?fbclid=IwAR1hSReem\\_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEy17se0-AcjCz1sxOY90G6A1FuZFw](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030106.pdf?fbclid=IwAR1hSReem_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEy17se0-AcjCz1sxOY90G6A1FuZFw)

### 二、止一剎的花火-泡沫對水花濺起高度之影響

國中組物理科，作者:劉昱岑劉芷筠戴艾倫，中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

[https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030109.pdf?fbclid=IwAR1hSReem\\_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEy17se0-AcjCz1sxOY90G6A1FuZFw](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030109.pdf?fbclid=IwAR1hSReem_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEy17se0-AcjCz1sxOY90G6A1FuZFw)

### 三、跳水運動

[https://finance.sina.com.cn/tech/2021-07-26/doc-ikqciyzk7680371.shtml?fbclid=IwAR10VPPppv8VmKU0012ZU38-SWPKdwNVPu\\_C6b-uERU1gfh-xXRYnSgbgaA](https://finance.sina.com.cn/tech/2021-07-26/doc-ikqciyzk7680371.shtml?fbclid=IwAR10VPPppv8VmKU0012ZU38-SWPKdwNVPu_C6b-uERU1gfh-xXRYnSgbgaA)

### 四、沃辛頓射流

<https://www.masters.tw/319614/worthington-jet>

### 五、便便噴起的水花

[https://www.sohu.com/a/533964837\\_360160](https://www.sohu.com/a/533964837_360160)

## 【評語】 030111

本作品研究生活中常見的落體進入液體所致的噴濺行為。過程紀錄與討論相當詳實，且為一個相當實用的研究。不過相近的報導與研究較多，或許可以嘗試不同的研究切入點。

## 作品海報

A dynamic background of splashing water with white foam and blue droplets against a light blue sky with soft white clouds. The water is in motion, creating a sense of freshness and energy.

**水花目的減緩者**

# 摘要

本實驗將掉落物稱為**擬便**，入水後短暫形成的無水空間稱為**空腔**。我們發現水花高度和擬便距離水面的高度成高度線性關係，空腔深度和擬便距離水面的高度也成高度線性關係；而固定擬便距離水面的高度，當水深不同時，水花高度變化不一定和水深正相關。其次，擬便的密度、先接觸水面端的面積、形狀、突起排列對水花高度的影響並無明確的規律性。而在改變水溶液性質下，我們發現：

- 1、當水面有一層介質時，都會降低水花高度，但水花高度卻和空腔深度呈現負相關。
- 2、使用鹽、糖改變水溶液密度時，水花高度、空腔深度隨密度改變情形，兩種溶液並不相同。
- 3、改變水溶液黏稠度時，洗碗精對水花的降低效果較果糖好。
- 4、水面上有泡沫均能有效降低水花高度。



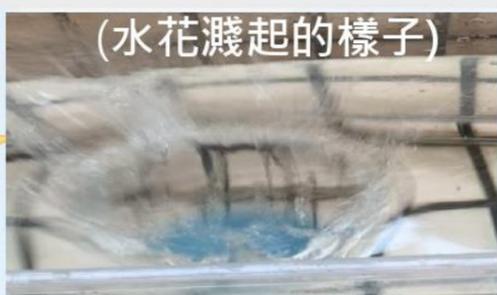
# 研究動機

我們觀看奧運跳水項目時，發現選手跳水時濺起的水花很小，跟我們將石頭丟到水中濺起很大的水花差異很多，到底是甚麼因素可以讓濺起的水花變小呢？正在發呆時，同學上大號，突然驚聲尖叫，我的屁屁噴到大便水了，好噁！跳水原理和大便掉下馬桶時濺起水花好像有些類似，心想有什麼辦法能減低水花濺起的高度？經過詢問老師及資料查詢之後發現原來水花濺起的高度和許多因素有關，例如有沒有泡沫、泡沫厚度、泡沫濃度、物體掉下水中的距離和水深...皆對水花濺起的高度有影響，去年學姊們的研究發現泡沫也可減少液震動的高度，於是我們就決定來探討影響馬桶水濺起高度的因素

# 文獻探討

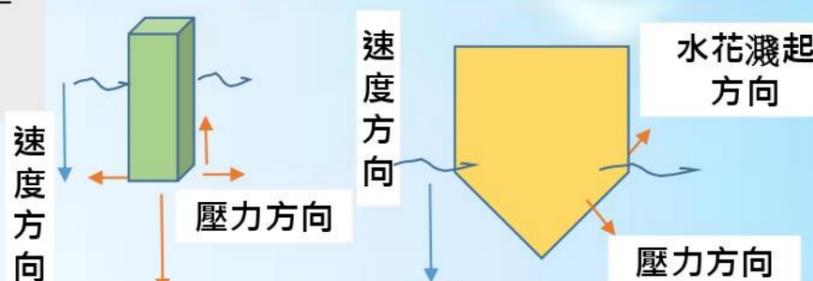
## (一) 跳水運動

壓水花屬於流體力學的範疇，就是跳水運動員從離開跳臺到進入水中與水面接觸的過程，是固體流體碰撞的過程。如何讓濺起的水花減少到最低限度，這是各位運動員一直想要達到的水平。入水時最重要的時機是把握好身體的舒展程度以及通過增加旋轉來減少與水的阻力，從而減少水花將楔形物體和正方體同時拋向水裡，使正方體水花小。實驗表明楔形物體入水時，由於水的不可壓縮性，便使得水從阻力最小的方向出去，而正方體由於與水的接觸面是橫向的，這樣水由於壓力不能向上出去，只能朝著兩邊出去，這樣一來水花就小很多了(如下圖)，這也就是跳水運動員入水時掌心向下的原因了。



## (二) 沃辛頓射流

具有更大**能量** (更高的**韋伯數**) 下落衝擊時會產生飛濺。在飛濺狀態下，液滴會先在流體表面產生一個隕石坑，然後在隕石坑周圍形成一個皇冠。隨後，坍塌液滴的動能會導致液體向上擠壓形成垂直液柱。如果衝擊能量夠高，射流上升到它夾斷的點，就能將一個或多個液滴向上送出表面。這種從液滴落在流體表面形成的隕石坑中心突出的中央射流，稱為沃辛頓射流 (Worthington Jet)，跳臺跳水則是儘量減少沃辛頓射流所造成的水花。

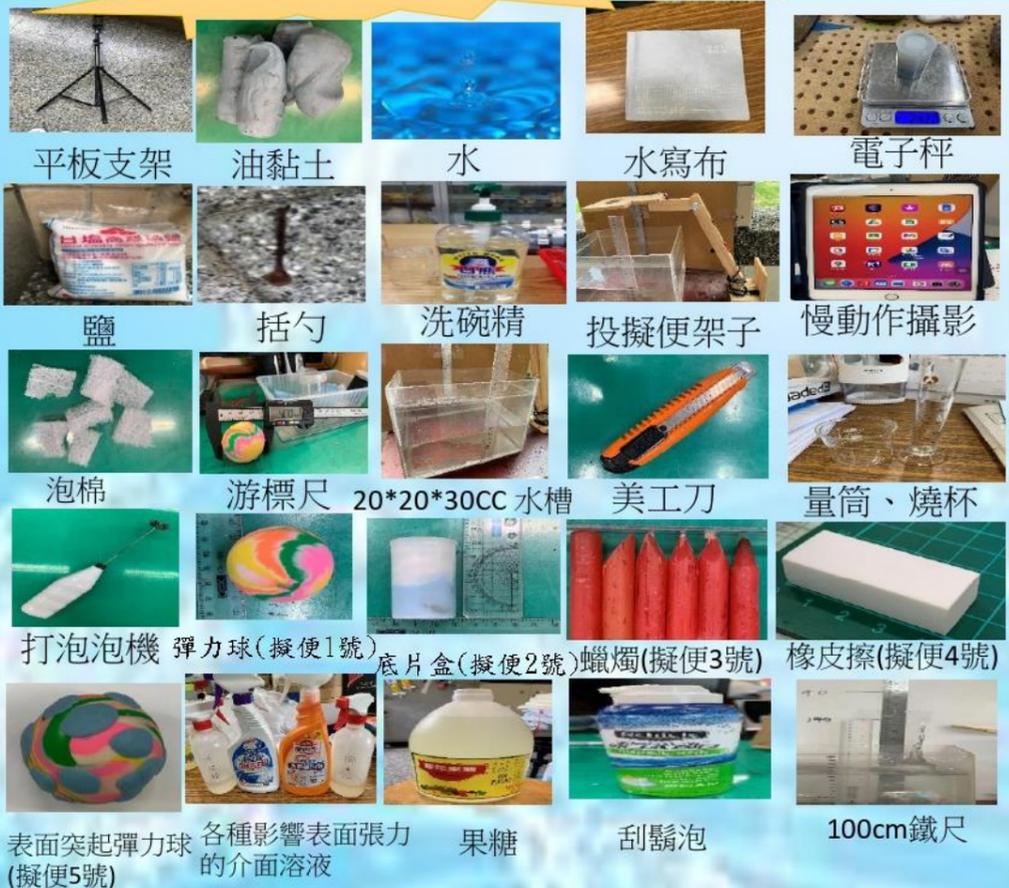


# 研究目的

本實驗將掉落物一律稱為「擬便」，入水後短暫形成的無水空間稱為「空腔」

- (一) 擬便距離水面的高度和水的深度對水花濺起高度的影響
  - 1、固定水的深度，改變擬便高度
  - 2、固定擬便和水面的高度，改變水的深度
- (二) 擬便的密度、接觸水面面積、形狀、突起排列對水花濺起高度的影響
  - 1、固定擬便的體積，改變擬便的密度
  - 2、固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積
  - 3、固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀
  - 4、固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列
- (三) 水溶液的性質對水花濺起高度的影響
  - 1、改變水溶液的表面張力
  - 2、改變水溶液的密度
  - 3、改變水溶液的黏稠度
  - 4、改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度

# 研究器材及設備



# 研究流程圖



# 實驗過程

## 一、擬便距離水面的高度和水深度對水花濺起高度的影響

### (一)固定水面深度，改變擬便高度

- 1.架設釋放擬便架，攝影器材。
- 2.調整擬便與液面高度差分別為1、4、7、10、13、16cm。
- 3.固定水面深度14cm，擬便1號由擬便架以自由落體的方式落入水中，拍攝水花濺起情形。
- 4.每個高度重複實驗5次(成功才算-沒有水花或突爆者不算)。
- 5.平均5次結果，記錄並分析實驗結果。
- 6.用擬便2號，做相同的實驗，比較實驗結果。

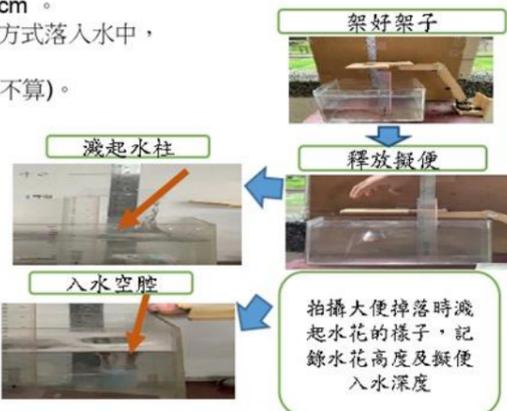
### (二)固定擬便和水面的高度(10cm)，改變水面深度

- 1.方法同實驗一~(一)，使用擬便2號。
- 2.改變水面深度，分別為2、5、8、11、14、17cm。
- 3.記錄並分析實驗結果。

\*擬便2號:  
V=37 cm<sup>3</sup>



\*擬便1號:  
m=55.35g  
V=38ml  
D=1.46g/cm<sup>3</sup>



## 二、擬便的密度、接觸水面面積、形狀、突起排列對水花濺起高度的影響

### (一)固定擬便的體積，改變擬便的密度(重量)

- 1.方法同實驗一~(一)，使用擬便2號。
- 2.調整擬便高度：24cm、水面深度14cm、擬便與液面高度差10cm
- 3.改變擬便的質量(相當於改變密度，因為體積相同，質量越大，則密度越大)分別為24.32、31.38、38.86、41.77、51.65、60.42克
- 4.記錄並分析實驗結果。

### (二)固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積

- 1.方法同實驗一~(一)，使用擬便3號。
- 2.調整擬便高度：24cm、水面深度14cm、擬便與液面高度差10cm
- 3.改變擬便的接觸水面面積，如右圖三個面的面積(分別為1.87 cm<sup>2</sup>、4.84 cm<sup>2</sup>、7.47cm<sup>2</sup>。)
- 4.記錄並分析實驗結果。

### (三)固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀

- 1.方法同上，使用擬便4號。
- 2.改變擬便的接觸水面形狀，如右圖。
- 3.記錄並分析實驗結果。

### (四)固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列

- 1.方法同上
- 2.改變擬便的接觸水面突起形狀，如上圖。
- 3.記錄並分析實驗結果。

\*擬便3號:  
V=4.4\*1.7\*1.1  
=8.228(cm<sup>3</sup>)  
m=12.33g  
D=1.5g/cm<sup>3</sup>



\*擬便5號:m=60g(含4.56g各種突起的黏土)D=1.5g/cm<sup>3</sup>



\*擬便4號:每隻  
m=7.9g  
V=9.08 cm<sup>3</sup>  
D=0.87g/cm<sup>3</sup>



## 三、水溶液的性質對水花濺起高度的影響改變水溶液的表面張力

### (一)改變水面的表面張力

- 1.使用擬便2號。
- 2.噴一層不同介質(如右圖)於水面上，改變水面的表面張力
- 3.方法同上改變水溶液的密度

### (二)改變水溶液的密度

- 1.調配水的鹽度分別為0、1.75%、3.5%、5.25%、7%。
- 2.如實驗一的方法測量水花濺起的高度。
- 3.記錄並分析結果。
- 4.以糖水代替鹽水，方法和鹽水一樣，紀錄並分析結果。

### (三)改變水溶液的黏稠度

- 1.水中分別加入洗碗精，調成比例水:洗碗精為1:0、5:1、4:1、3:1、2:1的溶液(不攪拌)靜置1分鐘後開始實驗
- 2.如實驗一的方法測量水花濺起的高度
- 3.記錄並分析結果
- 4.以糖水代替洗碗精，方法和洗碗精一樣，紀錄並分析結果。

### (四)改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度

- 1.先如上步驟加入洗碗精，打出泡沫高度0、1、2、3、4公分(如右圖)
- 2.如實驗一的方法測量水花濺起的高度。
- 3.記錄並分析結果。
- 4.以洗碗精、浴廁清潔劑、刮鬍泡打出不同緊密度(疏鬆、中等、綿密)的泡泡1公分
- 5.如實驗一的方法測量水花濺起的高度，紀錄並分析結果。

洗碗精、玻璃清潔劑、浴廁清潔劑、椰子油



打泡泡機製作泡泡



洗碗精疏鬆泡泡



浴廁清潔劑中型泡泡



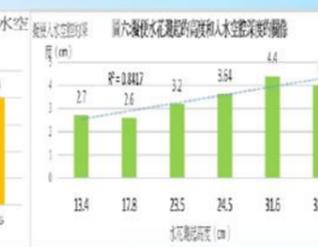
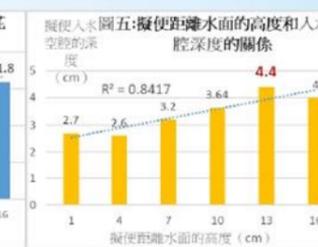
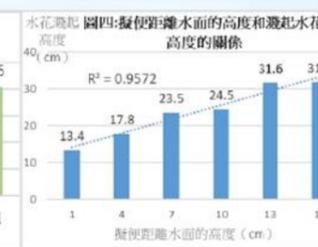
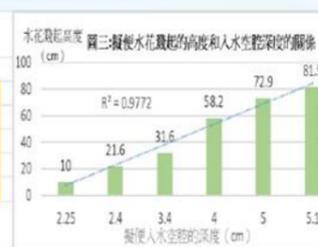
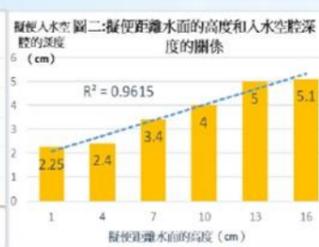
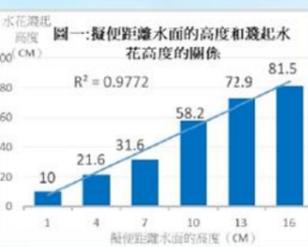
刮鬍泡綿密泡泡

## 實驗結果與討論

### 一、擬便距離水面的高度和水的深度對水花濺起高度的影響

因為考慮大便有大有小，而家中馬桶的水位也有高低之分，因此我們改變擬便的高度及馬桶的水位來分析擬便掉落馬桶中濺起水花的差異，結果如下:

#### (一)-1:固定水面高度(14cm)，改變擬便(彈力球)高度

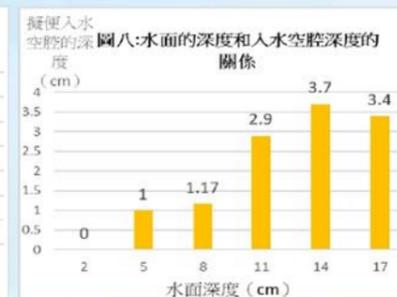
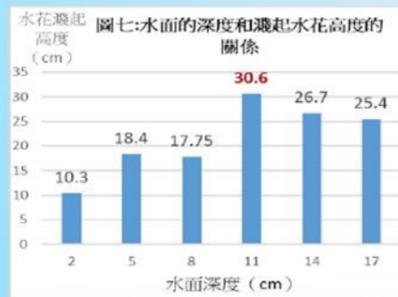


#### 【結果與討論】

- 1.由圖一~圖三發現彈力球擬便距水面越高，水花越高，入水產生的空腔也越大；而入水產生的空腔也越大，產生的水花也越高，都呈現R=0.98的高度相關。
- 2.改成底片盒擬便時，由圖三~圖六也發現相同的現象，只是相關性小一點，擬便的離水面的高度最好小於13公分，因為超過13公分之後水花高度會有較大程度的增加。
- 3.彈力球擬便距水面高度對濺起水花的影響較大，16公分時水花的高度是底片盒的2.5倍以上，但是7公分以下時差異漸小，到1公分時，水花的高度竟比是底片盒低，我們推測擬便入水的形狀、重量都會影響水花的高度。

#### (二)固定擬便(底片盒)和水面的高度(10cm)，改變水面深度

當擬便以相同的重力位能掉落時，水面的深淺會影響水花濺起的高度嗎？一開始我們用彈力球，但是當水位低於8公分時，彈力球撞到底部產生二次彈跳，因此數據無法使用，於是我們只用底片盒擬便做這個實驗。

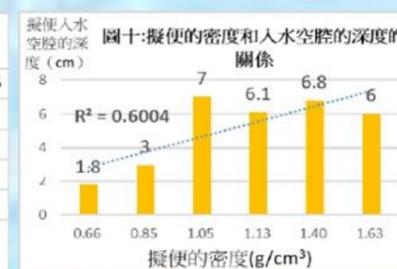
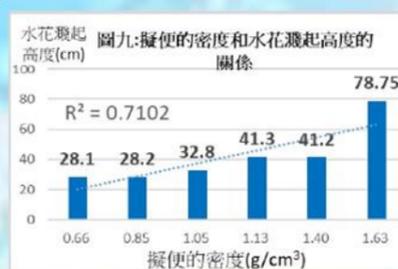


#### 【結果與討論】

- 1.由圖七發現深度11公分時，水花最高，8公分以下水花小很多，14公分以上水花稍微降低，8-14公分似乎是水花達最高點的臨界深度。
- 2.由固定水面高度，改變重力位能的實驗發現10-13公分是個臨界，超過此高度水花突然高很多，在固定重力位能的實驗則是發現差不多這個高度，水花噴到最高，這是甚麼原因造成的?有待進一步實驗來探索。

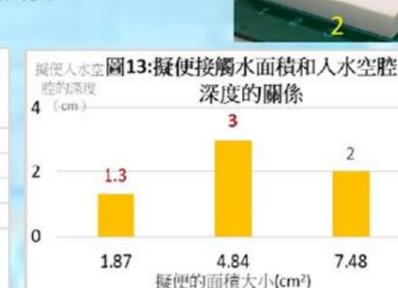
## 二、擬便的密度、接觸水面面積、形狀、突起排列對水花濺起高度的影響

### (一)固定擬便(底片盒)的體積，改變擬便的密度(重量)



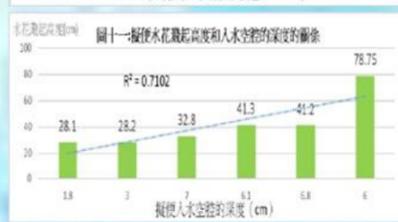
### (二)固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面面積

擬便3號: V=4.4\*1.7\*1.1=8.228(cm<sup>3</sup>) m=12.33g D=1.5g/cm<sup>3</sup>  
擬便高度: 24cm 水面高度:14 cm 擬便掉落高度:10 cm



#### 【結果與討論】

- 1.由圖十二~十三發現擬便在體積重量相同情況下，面積最小的，水花最低，而面積中等的水花最高。



#### 【結果與討論】

- 1.體積狀相同時，密度越大(越重)，水花濺起的高度越高，密度達1.63g/cm<sup>3</sup>時，水花高度大增，密度在1.4g/cm<sup>3</sup>之前則小幅增加。
- 2.入水空腔深度在密度小於1g/cm<sup>3</sup>時，有隨密度變大而變深，但密度超過1g/cm<sup>3</sup>時，兩者的相關性就更低了。

### (三)固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面形狀

\*擬便4號:每隻 $m=7.95g$   $V=9.08\text{ cm}^3$   $D=0.87g/\text{cm}^3$

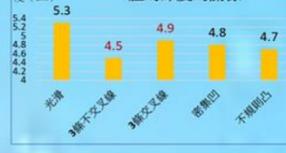
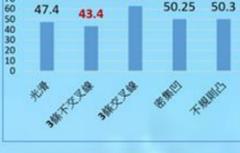
擬便高度:24 cm 水面高度:14 cm 擬便掉落高度:10 cm



**【結果與討論】**  
1.擬便密度小於 $1g/\text{cm}^3$ 時，由圖14~15發現入水時以平面入水，比1面和2面的水花低遠和沃辛頓射流的原理相符，但入水水面增加到5面甚至圓錐時，水花的高度降低非常多，以圓錐的水花最低。

### (四)固定擬便的體積、重量，改變擬便的接觸水面突起排列

\*擬便5號: $m=60g$ (含4.56g各種突起的黏土) $D=1.5g/\text{cm}^3$

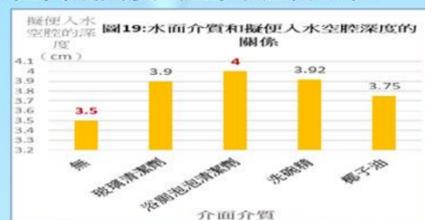


**【結果與討論】**  
1.3條交叉的線濺起的水花最小，交叉線水花最高，密集凹突的花紋則差異不大，水花都比光滑高。

## 三、探討水溶液的性質對水花濺起高度的影響

### (一)改變水溶液的表面張力

藉著噴上一層親水或疏水(油)的介質，改變水的表面張力，來比較當擬便掉入時，其水花噴濺高度的差異結果如下:



### 【三~一:問題與討論】

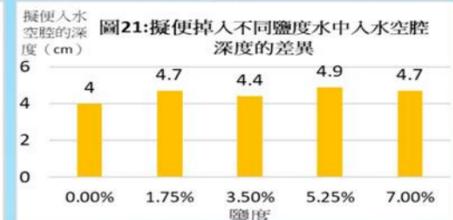
- 當水面有一層介質時，都會降低水花的高度，親水性的清潔劑比較多，疏水性的椰子油比較少(圖18)
- 前面的實驗幾乎都是擬便入水空腔深，水花濺起高度大，但是由圖18~19卻發現這個實驗剛好相反，入水空腔小的水花高度高，空腔大的，水花高度低，不知是否與表面張力的破壞有關，有待進一步實驗來證明。

### 【三~二:結果與討論】

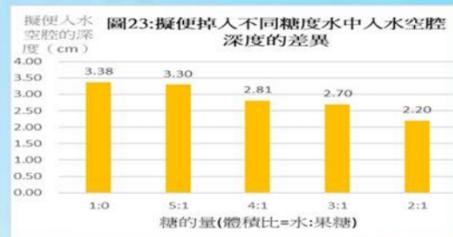
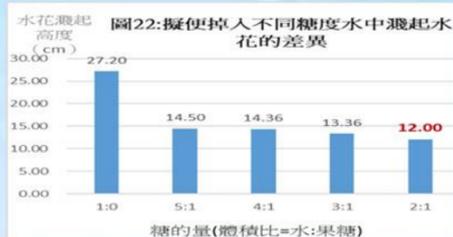
- 由圖20發現加入少量的鹽，一開始水花高度會變高，當鹽加到相當海水鹽度時，水花開始降低，鹽度到5.25%時水花最低，再增加鹽時，水花又變高了。
- 由圖22發現加入糖越多，水花就越低，鹽的變化就沒有這麼規則，是否跟鹽是電解質有關，有待進一步實驗來證實。
- 我們加的糖是果糖，也可能黏稠度的影響大過濃度的影響，如果有時間可以用和調鹽度一樣的方法來做比較並且去除黏稠度的影響。

### (二)改變水溶液的密度

(二)~1:由改變水溶液中鹽的量來改變水溶液的密度

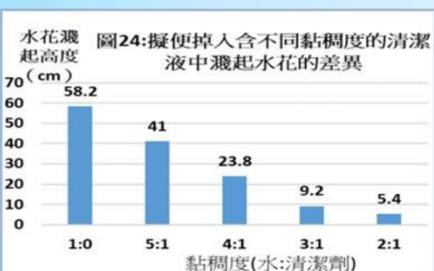


(二)~2:由改變水溶液中糖的量來改變水溶液的密度

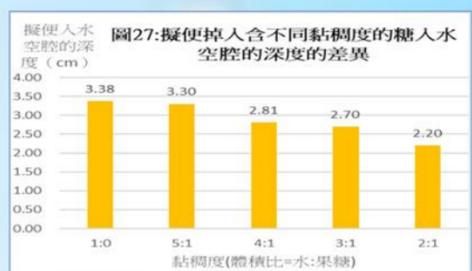
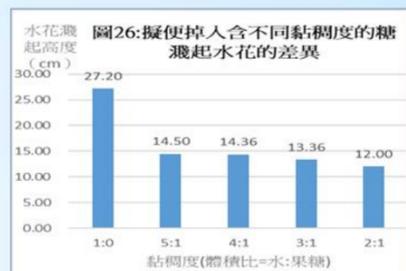


### (三)改變水溶液的黏稠度

(三)~1:改變水溶液的黏稠度(洗碗精的量)



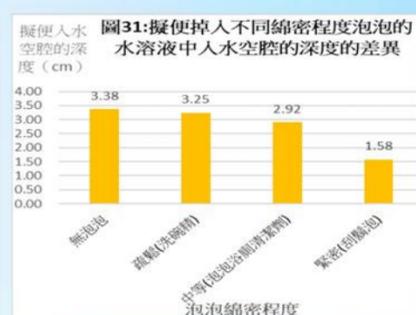
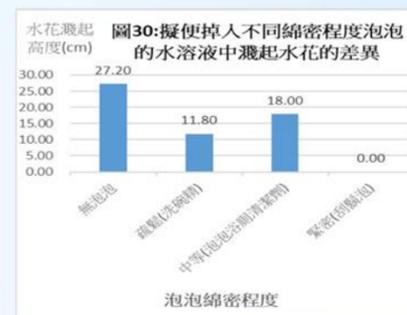
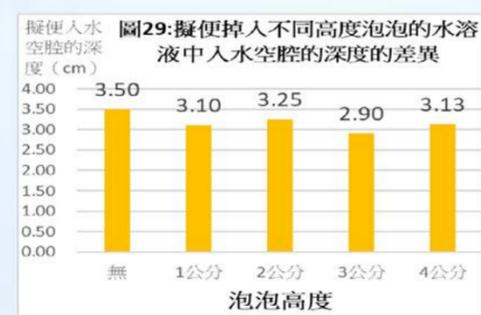
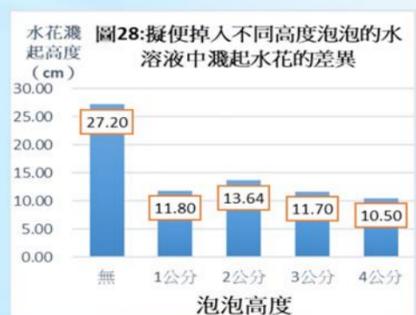
(三)~2:改變水溶液的黏稠度(果糖的量)



### 【結果與討論】

- 由圖24、25發現水溶液越黏稠，水花濺出的高度越低，清潔劑是隨著清潔劑越濃，水花慢慢降低；但果糖則是5:1時(水:果糖)，水花高度突降，之後就平緩下降了(圖26、27)。
- 清潔劑與果糖不同之處在於界面活性劑有親水端與疏水端，這是否為影響水花降低表現不同的原因，仍有待確認。

### (四)改變水溶液上泡泡的高度及綿密程度



### 【結果與討論】

- 在改變泡沫高度的實驗中，泡沫的高度1-4CM，對於降低水花高度的效果均相近。
- 在改變泡沫綿密度的實驗中，最綿密的刮鬍膏泡沫，才能完全阻擋水花。
- 泡沫對於降低擬便入水速度幾乎無作用，所以擬便入水後，我們仍能觀察到空腔的產生，即使是最綿密的刮鬍膏泡沫，仍能觀察到空腔。
- 除了綿密夠厚的刮鬍膏泡沫，各種類型的泡沫能阻擋大部分水花。但由於空腔閉合需要些許時間，所以中心的沃辛頓射流有部分仍能在空腔完全閉合前彈射出水面，即使空腔先閉合，射流的動能仍足夠使其穿出泡沫形成水花。

## 伍、討論

- 在實驗一(一)固定水面深度，改變擬便高度的部分，我們原先認為探討的主要是入水時位能的差異；而在實驗二(一)固定擬便(底片盒)的體積，改變擬便的密度(重量)，也是比較位能的差異。但兩部分水花、空腔的變化呈現的結果卻不同。然而仔細想想，二者的實驗細節仍是有差異的：實驗一(一)的部分，撞擊水面的速度和落下高度的平方根成正比，但實驗二(一)的離水面高度卻是固定不變的。亦即，撞擊水面的速度有可能是影響水花的變因，這點仍有待進一步實驗確認。
- 擬便的釋放是相當困擾我們的部分，以手釋放擬便，即使只有微小的偏差，仍然容易造成擬便偏轉，水花噴濺散亂。我們僅能儘量反覆多做，去除水花噴濺雜亂部分的數據後，採多次測量的平均值。判斷是否採用該筆數據的標準是：有明顯的中心射流筆直上升，入水瞬間是否垂直水面。雖然我們想過使用電磁鐵斷電來釋放擬便，但一直無法克服噴上來的水花被電磁鐵所阻擋。
- 中心射流上升後，會因為水的表面張力而斷裂成數個上升段，同時收縮成上升的水珠，最上端的小水珠甚至彈射上升超過水面100公分。因此，水花的高度我們並不是採計最高點的水珠，而是採計上升中的最大水珠。
- 我們紀錄了空腔的深度，但發現即使空腔的深度相近，但水花彈射高度有時差異甚大，我們推測：空腔的開口面積應是影響的原因，但由於實驗過程並未記錄此項數據，日後有時間將再進行實驗探討。
- 擬便掉入不同鹽度水中的水花高度變化，出乎我們意料之外，居然是在某個濃度水花高度較小，經過兩回的實驗，結果仍是這樣，其原因究竟為何？我們推想，或許鹽因為是電解質，日後這仍有待進一步找其他電解質(例如硝酸鉀)來進行探討。
- 擬便如果釋放時施力不平均，會有輕微旋轉的情形，我們觀察到，此時水花通常不大，有時甚至會出現極小水花。所以我們推測，跳水選手水花之所以很小，除了雙手壓水花的動作，身體並非完全垂直入水也是一個關鍵。

## 柒、參考資料

- 水舞-水滴在薄層液上的噴濺性  
國中組物理科，作者:許赫媛、呂汶諤、侯宜伶，中華民國第54屆中小學科學展覽會  
[https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030106.pdf?fbclid=IwARlhSReem\\_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEyl7se0-AcjZ1sx0Y90G6A1FuZfW](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030106.pdf?fbclid=IwARlhSReem_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEyl7se0-AcjZ1sx0Y90G6A1FuZfW)
- 止一剎的花火-泡沫對水花濺起高度之影響  
國中組物理科，作者:劉昱岑劉芷筠戴文倫，中華民國第57屆中小學科學展覽會  
[https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030109.pdf?fbclid=IwARlhSReem\\_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEyl7se0-AcjZ1sx0Y90G6A1FuZfW](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030109.pdf?fbclid=IwARlhSReem_3QktH01V7gq6un1Q1LrbEyl7se0-AcjZ1sx0Y90G6A1FuZfW)
- 沃辛頓射流  
<https://www.masters.tw/319614/worthington-jet>
- 便便噴起的水花  
[https://www.sohu.com/a/533964837\\_3601](https://www.sohu.com/a/533964837_3601)