

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

第三名

080110

看！「水」上的「漂」亮舞者

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 呂亮瑄	李偲華
小六 巫紹圻	游時銘
小六 郭閔婷	
小六 劉子安	

關鍵詞：彈力旋轉水漂、水凹洞、可調式發射器

## 摘 要

本研究是從五年級下學期自然與生活科技領域中的有關「力」的單元出發，想要找出能成功在短距離的水槽中打出水漂的各種因素，並探究水漂能在水面彈跳的原因。我們發現發射高度越接近水面，發射角度和水面保持平行、力道越大，再加上讓水漂擲出射能產生旋轉，就能成功的在水槽中發射出多漂數的機率越大，最佳紀錄是在 165 公分長的水槽中打出 18 個漂數喔！我們還透過透明水槽的設計探究水漂在水面下的活動樣貌，發現成功的水漂和不成功的水漂在水面下的樣子不同呢！最後我們更透過石灰粉槽探究水漂的入射角度及射出角度的關係。

我們利用一整年的假日、週三下午等時間完成有關「水漂」的研究，發現原來物理中的世界是這麼的奧妙、有趣，我們付出再多的辛苦也值得。

## 壹、研究動機

那是個和煦的午後，陽光灑落大地，班親活動就在溪邊舉行，我和幾位同學拿著游泳圈和浮板坐在溪邊的石頭上，看到在陽光下閃閃發亮的小石子，隨手撿了起來，心想「來打個水漂吧！」，一丟，「咚」的一聲，卻始終沒再看見它的身影，我和同學們撿起各式各樣的石頭，紛紛向水中投擲，無論我們卯足全勁的嘗試許多不同的投擲方式，那些漂亮的小舞者，就是不肯來一段優美的華爾滋。這引起了我們的好奇心，究竟要挑選什麼樣的石頭來打水漂？要用什麼角度及多大的力氣才容易打出成功的水漂？水漂為什麼會在水面上彈跳呢？……這些問題在我腦海中一一浮現。為了揭開「打水漂」的神秘面紗，我們決定找志同道合的同學一起進行更深入的研究，一同向困難挑戰。

## 貳、研究目的

- 一、研發可以發射出水漂的可調式發射器。
- 二、探究能在短距離中成功打出多漂數的條件。
- 三、探究水漂可以在水面上彈跳的原因。

## 參、研究設備及器材

- 一、材料：石頭、墊片、鈕扣、門片、象棋、可樂瓶蓋、塑膠片、熱熔膠、珍珠板、塑膠瓦楞板、木條、橡皮筋、寶特瓶、螺絲、螺帽、壓克力、釘子、塑膠夾、棉繩、釣線、彈簧條、竹籤、石灰粉、珠子、吸管、金銀蔥粉、鐵絲、捕鼠夾、瞬間接著劑。
- 二、工具：電子秤、游標尺、鐵架、支架、量杯、滴管、鑷子、鉗子、螺絲起子、熱熔槍、錫槍、計算機、打氣筒、鐵鎚、量角器、不鏽鋼水槽（長 165cm×寬 67cm×高 15.5cm）、透明水槽、電腦、數位相機、攝影機、威力導演電腦軟體、扳手、鋸子、長尺、砝碼、彈簧秤。

## 肆、研究過程及結果

子題一：了解打水漂的技巧及其相關研究。

（一）研究方法

1. 閱讀「中華民國第三十二屆中小學科學展覽會物理科國小組作品-『打水漂兒知多少』」。
2. 我們實際到白鮑溪打水漂，會打水漂的同學教不會的同學，實際體驗打水漂的技巧。

（二）研究發現

1. 從「中華民國第三十二屆中小學科學展覽會物



圖 1-1：我們利用假日到白鮑溪練習打水漂。

理科國小組作品-『打水漂兒知多少』的研究中可以得知：

- (1) 此件作品的作者認為打水漂的彈跳原理與皮球彈跳於地面上的原理相同，所以分別在陸地上及河床邊以彈弓發射石頭，觀察石頭在操場跑道上及湖泊上的彈跳情形。
- (2) 適合打水漂的石頭重量介於 6-50 公克間最好。
- (3) 改變彈弓的施力大小及角度時，發現施力越大、角度越小，水漂彈跳越遠，漂數越多。(此件作品中最小的施力角度是 10 度。)

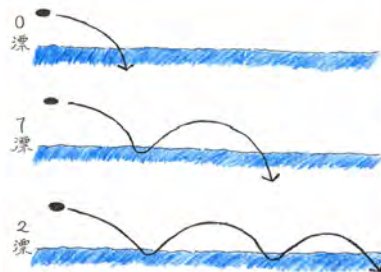
2.實際到白鮑溪打水漂，實際體驗打水漂的技巧時，比較會打水漂的同學告訴我們打水漂時要注意：

- (1) 首先要挑選的石頭要夠扁平、夠圓。
- (2) 用拇指和食指夾住石頭。
- (3) 以側投或低肩側投的姿勢把速度與角度控制好，向水面平平的丟出石頭。
- (4) 將石頭丟出的時候，要稍微旋轉手腕，使石頭擲出時能旋轉，比較容易能打出水漂。



### 如何計算「漂數」呢？

在與「打水漂」的相關資料中沒有找到如何計算「漂數」的方式，因此我們討論後決定以進出水面一次算「一漂」。因此「漂數」的計算方式如右：



### 對於打水漂，我們的疑惑還有....

我們研讀第 32 屆科展作品『打水漂兒知多少』後，老師也實際帶我們到白鮑溪練習打水漂，可是我們對於打水漂這個遊戲還是存有許多的好奇，例如：如何在短距離內的水中打出最多水漂呢？施力角度等於水漂落水時和水面的夾角嗎？不同的施力角度(仰角、水平、俯角)如何影響落點距離及漂數呢？成功的水漂和不成功的水漂在水面下的運動情形有什麼不同呢？

我們打算發揮鍥而不捨的精神設計各式實驗來揭開水漂的神秘面紗。

### 子題二：找出適合打水漂的石頭之平均密度

#### (一) 研究方法

- 1.從書籍中探究物體密度定義及計算公式。
  - (1) 密度定義：物體單位體積內所含的質量
  - (2) 密度的公式：密度 = 質量 / 體積。
- 2.在白鮑溪旁挑選出 10 顆適合打水漂的石頭，在石頭上標示出編號 1-10 號(如圖 2-1)。
- 3.使用游標尺量編號 1-10 號石頭的長徑、短徑、厚度。
- 4.使用電子秤測量石頭的質量：使用電子秤分別測量編號 1-10 號石頭的質量，每顆石頭分別重複測量 5 次，再求出每顆石頭的平均質量。
- 5.使用排水法測量石頭的體積：因為石頭的形狀不規則，而且密度大於水，所以適合使用排水法測量石頭的體積。一般傳統測量不規則物體的方式有兩種，但有其缺點，如表 2-1 所示。



圖 2-1：編號 1-10 號石頭外觀。

表 2-1：傳統測量不規則物體方式的優缺點分析

名稱	利用水位上升的相差	利用排水法
實驗方式	在一量杯中注入適當的水，用藍線標示記錄初始水面讀數後，放入不規則石頭，再用紅線標示記錄升高後水面讀數，兩者水位相差即石頭體積。	在量杯中注滿水，量杯下方放一空的較大量杯，再放入不規則石頭，理想上等同不規則石頭的水會排入大量杯中，大量杯水面讀數即石頭體積。
缺點	因可以打水漂的石頭體積不大，所以水位上升很小，不易判讀初始及最後水位的落差。	因可以打水漂的石頭體積不大，所以從小量杯排出來的水不多，加上壁流效應，所以最後流到底下大量杯的水少之又少，實在無法判讀水面讀數。
決定採用與否	×	×

因此經由多次試驗，我們最後使用「排水法改良版」測量編號 1-10 號石頭的體積，方法如下：

(1) 利用鐵架、2 個燒杯、電子秤設計實驗裝置，如圖 2-2。

(2) 用滴管滴水注入斜置的燒杯中（如圖 2-3），直至水開始漏出到電子秤上的燒杯內為止（如圖 2-4），等待斜

置燒杯中的水不再滴落時，將電子秤歸零（如圖 2-5）。

(3) 用鑷子將要測量的石頭小心的放入斜置的燒杯中（如圖 2-6），此時斜置燒杯中的水會開始滴落到電子秤上的燒杯內，直到斜置燒

杯中的水不再滴落時，此時電子秤螢幕所顯示的數字（如圖 2-7）就是該石頭的體積。



圖 2-2：實驗裝置有鐵架、燒杯、電子秤。



圖 2-3：用滴管滴水注入斜置的燒杯中。



圖 2-4：滴水至水開始漏到秤上燒杯內為止。



圖 2-5：待燒杯中的水不再滴落時，將電子秤歸零。



圖 2-6：用鑷子將要測量的石頭放入斜置的燒杯中。










圖 2-7：待燒杯中的水不再滴落時，讀取電子秤上數字。

(4) 依步驟(1)到步驟(3)的方式依序測量編號1-10號的石頭，每個編號的石頭以「排水法改良版」測量5次，求取平均體積。

6.最後將編號1-10號石頭平均質量除以平均體積求平均密度。

## (二) 研究結果

表 2-2：編號 1-10 號石頭質量、體積、密度一覽表

石頭編號		1		2		3		4		5	
石頭照片											
長徑 (cm)		3.9		3.6		3.2		3.5		3.5	
短徑 (cm)		2		0.9		2.8		1.5		1.4	
厚度 (cm)		0.3		0.7		0.4		0.4		0.4	
測量項目		質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積
實驗次數	1	10.15	3.87	14.33	5.52	12.27	4.60	11.46	4.34	9.41	3.54
	2	10.16	3.86	14.34	5.54	12.28	4.66	11.45	4.32	9.42	3.50
	3	10.15	3.80	14.33	5.50	12.28	4.62	11.45	4.35	9.42	3.54
	4	10.15	3.82	14.33	5.53	12.28	4.62	11.45	4.35	9.41	3.56
	5	10.17	3.87	14.33	5.50	12.27	4.65	11.45	4.37	9.42	3.56
測量項目平均值		10.16	3.84	14.33	5.52	12.28	4.63	11.45	4.35	9.42	3.54
平均密度		2.64		2.60		2.65		2.64		2.66	
石頭編號		6		7		8		9		10	
石頭照片											
長徑 (cm)		3.3		3.0		3.6		3.0		3.2	
短徑 (cm)		2.6		1.8		1.5		1.4		1.5	
厚度 (cm)		0.5		0.7		0.5		0.2		0.5	
測量項目		質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積
實驗次數	1	11.97	4.49	10.72	4.08	12.37	4.70	9.41	3.47	10.15	3.76
	2	11.96	4.43	10.72	4.12	12.38	4.68	9.40	3.43	10.13	3.82
	3	11.95	4.47	10.71	4.12	12.37	4.72	9.41	3.47	10.14	3.79
	4	11.95	4.45	10.72	4.15	12.37	4.75	9.41	3.49	10.13	3.80
	5	11.96	4.45	10.71	4.13	12.38	4.67	9.40	3.50	10.16	3.76
測量項目平均值		11.96	5.56	10.72	4.12	12.37	4.70	9.41	3.47	10.14	3.79
平均密度		2.68		2.60		2.63		2.71		2.68	

註：質量的單位是「g」；體積的單位是「cm<sup>3</sup>」；密度的單位是「g/cm<sup>3</sup>」

### (三) 研究發現

- 1.編號 1-10 號石頭的長徑介於 3.0 cm ~3.9 cm 之間。
- 2.編號 1-10 號石頭的短徑介於 0.9 cm ~2.8cm 之間。
- 3.編號 1-10 號石頭的厚度介於 0.2 cm ~0.7cm 之間。
- 4.編號 1-10 號石頭體積介於 3.47 cm<sup>3</sup> ~5.56 cm<sup>3</sup> 之間。
- 5.編號 1-10 號石頭質量介於 9.41 g ~14.33 g 之間。
- 6.使用「排水法改良版」測量編號 1-10 號石頭體積各 5 次時，5 次誤差值都在±0.06 立方公分間，準確度相當高。
- 7.編號 1-10 號石頭密度介於 2.60 g/cm<sup>3</sup>~2.71g/cm<sup>3</sup> 間。
- 8.發現我們所挑選的 10 顆適合打水漂的石頭形狀有個共同的特徵：都是扁平狀、趨近於圓形狀且體積和質量不大。

### 子題三：找出及研發和石頭密度接近的物品或組合式水漂

#### (一) 研究方法

##### 1.尋找生活中和石頭密度接近的材質

- (1) 從我們日常生活中找出與「最適合打出水漂的石頭」形狀相似的 5 種物品：墊片、鈕扣、鬥片、象棋、可樂瓶蓋(如圖 3-1)，並依序標示其編號為 1-5 號。



圖 3-1：墊片、鈕扣、鬥片、象棋、可樂瓶蓋。

- (2) 使用電子秤測量 1-5 號物品的質量：使用電子秤分別測量編號 1-5 號物品的質量，每樣物品分別重複測量 5 次，再求出每樣物品的平均質量。

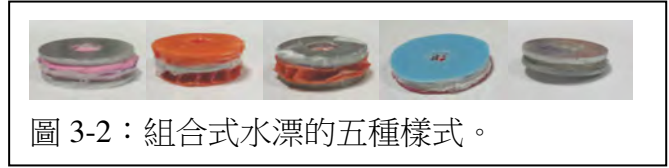


圖 3-2：組合式水漂的五種樣式。

- (3) 使用排水法改良版測量 1-5 號物品的體積：每樣物品以「排水法改良版」測量 5 次，求取平均體積。

- (4) 最後將編號 1-5 號物品的平均質量除以平均體積求出平均密度。

##### 2. 研發和石頭密度接近的組合式水漂

- (1) 從我們日常生活中找出容易裁剪或塑型的 4 種材質：珍珠板、塑膠瓦楞板、塑膠片、熱熔膠。

- (2) 將上述 4 種材質和墊片組合成：2 個墊片夾住珍珠板、2 個塑膠瓦楞板夾住墊片、2 個墊片夾住塑膠瓦楞板、2 個塑膠片夾住墊片、2 個墊片夾住熱熔膠(如圖 3-2)，依序標示其編號為 1-5 號。



- (3) 使用電子秤測量 1-5 號組合式水漂的質量：使用電子秤分別測量編號 1-5 號組合式水漂的質量，每個組合式水漂分別重複測量 5 次，再求出每個組合式水漂的平均質量。

- (4) 使用排水法改良版測量 1-5 號組合式水漂的體積：每個組合式水漂以「排水法改良版」測量 5 次，求取平均體積。

- (5) 最後將編號 1-5 號組合式水漂的平均質量除以平均體積求出平均密度。




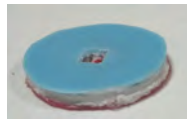

#### (二) 研究結果

表 3-1：編號 1-5 號物品直徑、厚度、密度一覽表

物品編號	1		2		3		4		5		
物品名稱	墊片		鈕扣		門片		象棋		可樂瓶蓋		
物品照片											
直徑 (cm)	2		2		2.8		2.8		2.8		
厚度 (cm)	0.1		0.2		0.2		1		0.6		
測量項目	質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積	
實驗次數	1	2.24	0.42	1.15	0.94	1.42	0.32	9.32	6.63	2.35	0.71
	2	2.24	0.45	1.16	1.02	1.43	0.33	9.32	6.45	2.34	0.71
	3	2.24	0.46	1.14	0.98	1.44	0.34	9.32	6.23	2.34	0.78
	4	2.24	0.43	1.15	0.99	1.42	0.33	9.32	6.36	2.35	0.76
	5	2.24	0.44	1.15	1.00	1.43	0.38	9.32	6.33	2.35	0.77
測量項目平均值	2.24	0.44	1.15	0.99	1.43	0.34	9.32	6.4	2.35	0.75	
平均密度	5.09		1.17		4.20		1.46		3.14		

註：質量的單位是「g」；體積的單位是「cm<sup>3</sup>」；密度的單位是「g/cm<sup>3</sup>」

表 3-2：編號 1-5 號組合式水漂直徑、厚度、密度一覽表

組合式水漂編號	1		2		3		4		5		
組合方式	2 個墊片夾住珍珠板		2 個塑膠瓦楞板夾住墊片		2 個墊片夾住塑膠瓦楞板		2 個塑膠片夾住墊片		2 個墊片夾住熱熔膠		
組合照片											
直徑 (cm)	2		2		2.8		2.8		2.8		
厚度 (cm)	0.6		0.7		0.6		0.3		0.3		
測量項目	質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積	質量	體積	
實驗次數	1	4.58	1.48	2.33	1.26	5.03	1.17	3.26	1.26	4.52	1.30
	2	4.58	1.47	2.34	1.38	5.03	1.16	3.25	1.22	4.52	1.25
	3	4.58	1.42	2.34	1.25	5.03	1.24	3.25	1.23	4.51	1.28
	4	4.58	1.46	2.34	1.29	5.04	1.16	3.26	1.27	4.52	1.31
	5	4.58	1.46	2.34	1.21	5.04	1.22	3.26	1.21	4.52	1.36
測量項目平均值	4.58	1.46	2.34	1.28	5.03	1.19	3.26	1.24	4.52	1.30	
平均密度	3.14		1.83		4.31		2.63		3.48		

註：質量的單位是「g」；體積的單位是「cm<sup>3</sup>」；密度的單位是「g/cm<sup>3</sup>」



1.五種物品的平均密度由大至小依序是：墊片 > 門片 > 可樂瓶蓋 > 象棋 > 鈕扣，其中平均密度最大的是墊片，為  $5.09 \text{ g/cm}^3$ ；平均密度最小的是鈕扣，為  $1.17 \text{ g/cm}^3$ 。

2.五種組合式水漂的平均密度由大至小依序是：2 個墊片夾住塑膠瓦楞板 > 2 個墊片夾住熱熔膠 > 2 個墊片夾住珍珠板 > 2 個塑膠片夾住墊片 > 2 個塑膠瓦楞板夾住墊片，其中平均密度最大的是 2 個墊片夾住塑膠瓦楞板，為  $4.31 \text{ g/cm}^3$ ；平均密度最小的是 2 個塑膠瓦楞板夾住墊片，為  $1.83 \text{ g/cm}^3$ 。

3.由圖 3-3 中可以得知「2 個塑膠片夾住墊片」的組合式水漂和石頭的密度最接近，所以之後我們將使用「2 個塑膠片夾住墊片」的組合式水漂取代石頭來進行各種實驗。

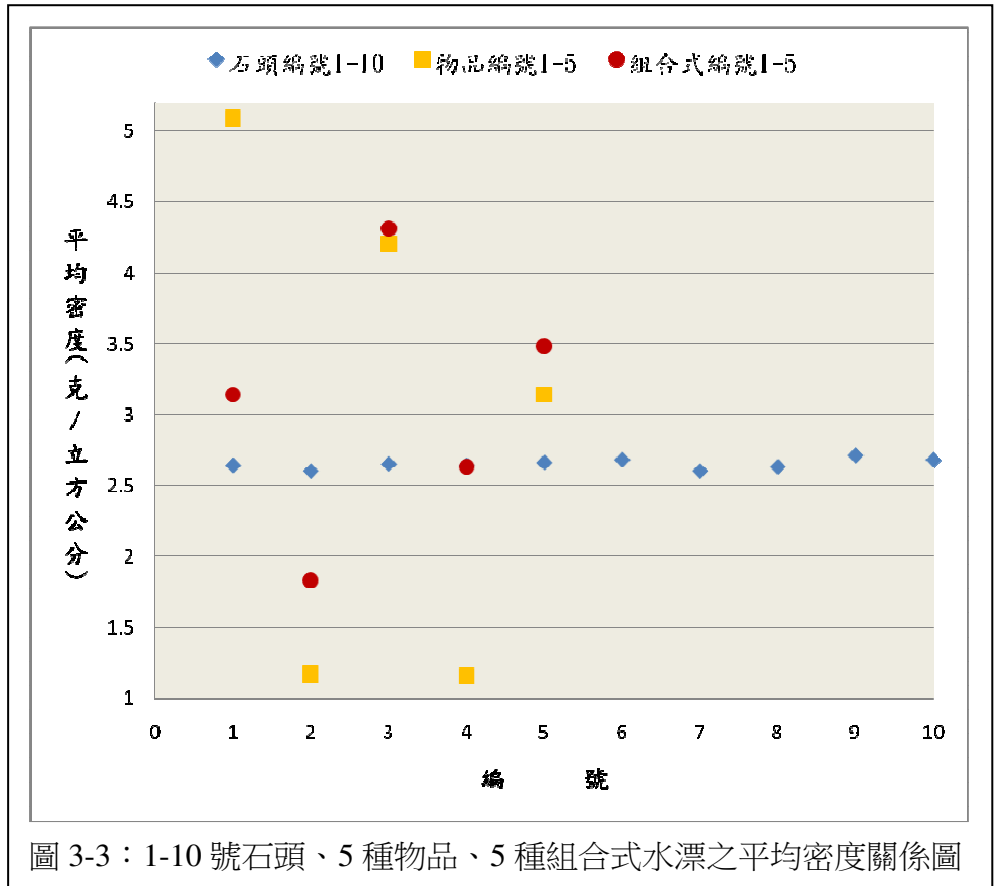


圖 3-3：1-10 號石頭、5 種物品、5 種組合式水漂之平均密度關係圖





## 水漂發射器的設計與製作

接下來，我們想了解擲出組合式水漂時的高度、角度、力道會如何影響其第一落水點及漂數，但是如果用人為的方式擲出組合式水漂，很難做變因的控制，因此我們想設計一個能以不同的高度、角度、力道發射出組合式水漂的發射器，以下是我們設計發射器的研發歷程：

代數	第一代	第二代	第三代
照片			
操作方法	將木條往後拉，放手後，木條利用橡皮筋回彈可將水漂彈出。	將木條沿著固定點拉，放手後，木條利用橡皮筋回彈可將水漂彈出。	利用打氣筒將空氣打進寶特瓶中，再透過開啟閥門發射出水漂。
優缺點分析	◎優點 可調整發射力道。 ◎缺點 1.木條回彈時難以準確彈出水漂。 2.很難控制發射角度。	◎優點 可調整發射力道。 ◎缺點 1.水漂彈出的軌道呈弧形。 2.無法改變發射角度。 3.力道小，射程短。	◎優點 可調整發射力道及角度。 ◎缺點 很難準確控制發射力道及角度，噴出力道難以準確彈出水漂，導致水漂距離忽近忽遠。
代數	第四代	第五代	第六代
照片			
操作方法	改裝捕鼠夾，扳住硬鐵絲，放手後硬鐵絲反彈，硬鐵絲上的木塊會撞擊水漂使水漂彈出。	利用軌道及彈簧發射出水漂。	將水漂夾在木製發射台上夾子，彈性線材固定在支架上，利用彈性線材彈力發射水漂。
優缺點分析	◎優點 1.可調整發射力道。 2.可準確彈出水漂。 ◎缺點 無法控制發射角度。	◎優點 1.可調整發射力道。 2.可以準確彈出水漂。 ◎缺點 力道小，且彈簧容易彈性疲乏，失去力道大小的準確度。	◎優點 1.可準確控制發射力道大小。 2.可準確控制發射角度。 ◎缺點 組裝費工耗時。



## 發射組合式水漂實驗的環境設計及第六代發射器介紹

### 1.發射組合式水漂實驗的環境設計：

將第六代發射器架設在距不銹鋼水槽（長 165cm×寬 67cm×高 15.5cm）50cm 邊，不銹鋼水槽注滿水，有一同學負責操作發射器，有一同學負責操作錄影機，其他同學則是在旁做觀察與記錄（如圖 3-4）。



圖 3-4：發射區的環境設計



圖 3-8：彈性線材固定在支架上。

### 2.第六代發射器介紹

- (1) 第六代發射器包括一個木製發射區（如圖 3-5）及一個支架（如圖 3-8）。
- (2) 彈性線材一端綁在支架上，一端綁在組合式水漂上。
- (3) 發射區上夾子可以夾住水漂，夾子固定在一軌道上，軌道可前後移動，以改變彈性線材的鬆緊度來調整力道大小（如圖 3-6）。
- (4) 發射區兩端各有一木條可調整以改變發射角度為仰角或俯角（圖 3-7）。

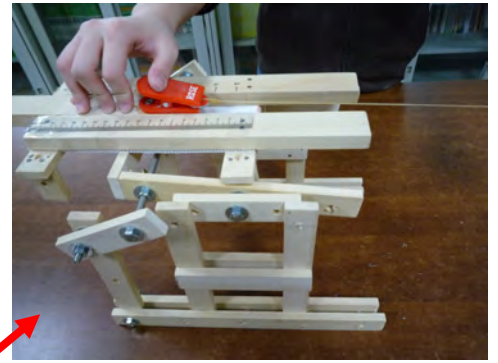


圖 3-5：第六代發射器發射區。

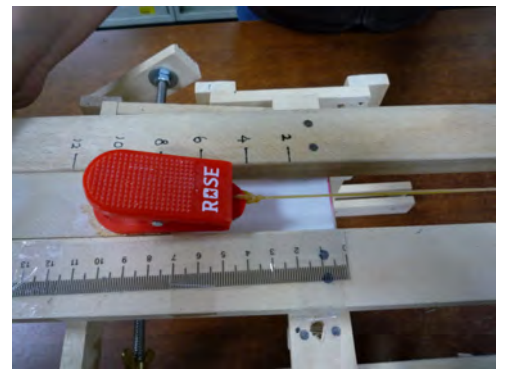


圖 3-6：發射區上夾子可夾住水漂，固定夾子的軌道可前後移動，以改變彈性線材鬆緊度調整力道大小。

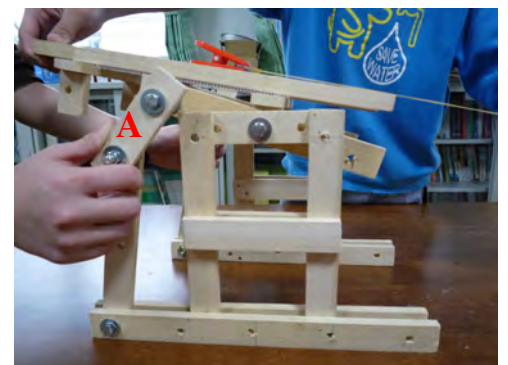
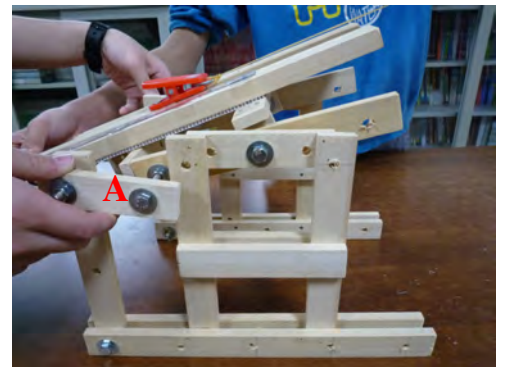


圖 3-7：調整 A 木條可以改變發射角度為仰角或俯角。



## 如何選擇彈性線材以代替手擲出水漂時的力道

練習打水漂的經驗告訴我們，側身彎腰，用力甩你的手腕，讓石頭帶著力道拋擲出去，才容易打出成功的水漂。側身彎腰的角度可以在第六代發射器上做調整，但是發射器上什麼樣的彈性線材組合才能夠代替手擲出水漂時的力道呢？一開始我們曾嘗試過稍具有彈性的棉繩、尼龍繩，但是都有其缺點(棉繩的吸水性，使得它落入水中後會增加重量，每次實驗都要換新棉繩；尼龍繩的繩子本身會捲曲，重量較重，不容易在發射器上將尼龍繩拉直)，經由數十次的試驗，發現釣線、彈簧、橡皮筋是彈性線材中不錯的選擇，因此打算設計實驗來決定最終線材的組合方式。

### 子題四：發射器上的彈性線材種類如何影響水漂的行進？

#### (一) 研究方法

- 1.在實驗桌上(長 182cm×寬 91cm)鋪滿白色壁報紙，發射區與支架間的距離設計為 80cm。
- 2.將 44cm 的釣線繫住 11cm 的彈簧為第一種線材組合，將彈簧端固定於支架上，將釣線端綁住墊片(如圖 4-1)。
- 3.墊片的正反面塗上厚厚的金銀蔥粉後(如圖 4-2)，置於發射器上的發射區，調整固定力道準備發射。
- 4.墊片發射後，觀察金銀蔥粉噴灑的軌跡。
- 5.依序更換發射區與支架間的彈性線材為第二種線材組合橡皮筋+釣線(如圖 4-3)、第三種線材組合橡皮筋+釣線+橡皮筋(如圖 4-4)，重複步驟 2 至步驟 4。

#### (二) 研究結果

三種線材組合的墊片發射後，金銀蔥粉噴灑的軌跡如圖 4-5~圖 4-7



圖 4-1：第一種線材組合。



圖 4-2：墊片的正反面塗上厚厚的金銀蔥粉。

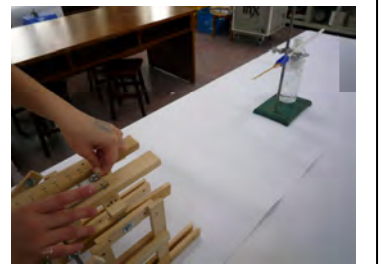


圖 4-3：第二種線材組合。



圖 4-4：第三種線材組合

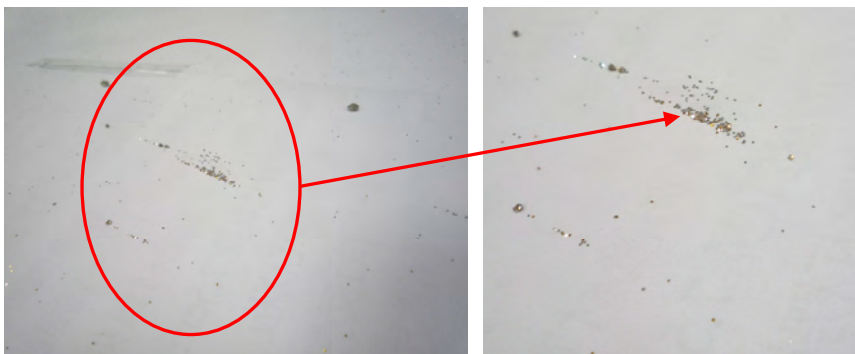


圖 4-5：第一種線材組合(彈簧+釣線)的金銀蔥粉噴灑的軌跡。



圖 4-6：第二種線材組合(橡皮筋+釣線)的金銀蔥粉噴灑的軌跡。



←圖 4-7：第三種線材組合(橡皮筋+釣線+橡皮筋)的金銀蔥粉噴灑的軌跡。

### (三) 研究發現

- 1.從第一種線材組合(彈簧+釣線)的金銀蔥粉噴灑軌跡圖中，可以發現在發射區至支架間分佈許多條狀金銀蔥粉，可以推知是因為彈簧被拉長後急速收縮造成墊片發射後會快速直線前進的關係。
- 2.第二種線材組合(橡皮筋+釣線)的金銀蔥粉噴灑軌跡圖中，可以發現在發射區至支架間分佈許多團狀結塊的金銀蔥粉，可以推知是因為橡皮筋被拉長後的收縮速度使得墊片發射後會全速直線前進的關係，但就金銀蔥粉噴灑的樣子可得知橡皮筋的收縮速度較彈簧慢。
- 3.第三種線材組合(橡皮筋+釣線+橡皮筋)的金銀蔥粉噴灑軌跡圖中，可發現在發射區至支架間有許多分佈均勻且甚少結塊的金銀蔥粉，可以推知是因為墊片發射後除了會全速前進之外，還會左右均勻晃動的關係，因此之後的實驗設計將以此種線材組合為主。

### 子題五：發射器水平發射時，發射器的高度及力道大小如何影響水漂的落點及漂數？

#### (一) 研究方法

- 1.調整發射器發射角度與水面呈 0 度角，距不鏽鋼水盆(寬 67cm×長 165cm)50cm 遠，距水面 5cm 高(如圖 5-1)。
- 2.依序調整發射區的發射力道為 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm 處，每個力道連續發射水漂 100 次，每次都要觀測並記錄：水漂發射成功與否、組合式水漂第一落水點、漂數。
- 3.再調整發射器發射高度距水面 10cm、15cm、20cm、25cm、30cm 處，重複步驟 2。
- 4.使用攝影機錄製全部研究過程，再使用威力導演軟體判讀資料。

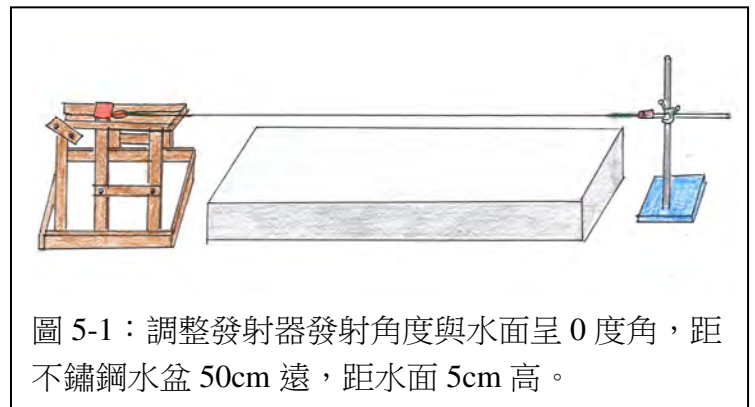


圖 5-1：調整發射器發射角度與水面呈 0 度角，距不鏽鋼水盆 50cm 遠，距水面 5cm 高。

#### (二) 研究結果

表 5-1：水平發射時，不同的高度、力道下所打出水漂的漂數及第一落水點一覽表

高度 (cm)	力道 (cm)	漂 數						組合式水漂第一落水點 (cm)
		0 漂	1 漂	2 漂	3 漂	4 漂	5 漂	
5	2	X	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X	X
	6	13	64	23	0	0	0	66.45
	8	9	48	38	5	0	0	71.09
	10	4	41	39	6	10	0	73.00
	12	0	32	45	12	11	0	74.70

高度 (cm)	力道 (cm)	漂 數						組合式水漂第 一落水點 (cm)
		0 漂	1 漂	2 漂	3 漂	4 漂	5 漂	
10	2	X	X	X	X	X	X	X
	4	X	X	X	X	X	X	X
	6	34	61	5	0	0	0	70.30
	8	28	67	5	0	0	0	75.55
	10	19	76	5	0	0	0	83.70
	12	13	70	17	0	0	0	94.85
15	2	X	X	X	X	X	X	X
	4	52	48	0	0	0	0	65.80
	6	49	51	0	0	0	0	91.60
	8	47	53	0	0	0	0	98.80
	10	47	53	0	0	0	0	111.10
	12	31	69	0	0	0	0	128.00
20	2	67	33	0	0	0	0	65.00
	4	67	33	0	0	0	0	80.80
	6	62	38	0	0	0	0	100.80
	8	54	46	0	0	0	0	109.50
	10	48	52	0	0	0	0	127.70
	12	43	57	0	0	0	0	148.30
25	2	100	0	0	0	0	0	73.90
	4	100	0	0	0	0	0	95.00
	6	94	6	0	0	0	0	112.60
	8	73	27	0	0	0	0	131.95
	10	52	48	0	0	0	0	150.70
	12	41	59	0	0	0	0	170.90
30	2	100	0	0	0	0	0	119.10
	4	100	0	0	0	0	0	135.80
	6	81	19	0	0	0	0	152.00
	8	52	48	0	0	0	0	172.80
	10	48	52	0	0	0	0	194.17
	12	X	X	X	X	X	X	X

註：「組合式水漂第一落水點」僅以 100 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

### (三) 研究發現

1.將表 5-1 經過整理製成圖 5-2 後發現：

- (1) 發射器 5cm 高及 10cm 高時，以力道 2cm 及力道 4cm 發射出組合式水漂會打到水槽前端，無法進到不鏽鋼水槽內（如圖-5-3），所以無法測得組合式水漂第一落水點。
- (2) 發射器 30cm 高時，以力道 12cm 發射出組合式水漂會飛越不鏽鋼水槽（如圖-5-4），所以無法測得組合式水漂第一落水點。
- (3) 發射器在相同高度下，組合式水漂第一落水點的遠近依序是：力道 12cm > 力道 10cm > 力道 8cm > 力道 6cm > 力道 4cm > 力道 2cm，換句話說，發射器在相同高度下，力道越大，組合式水漂第一落水點越遠。

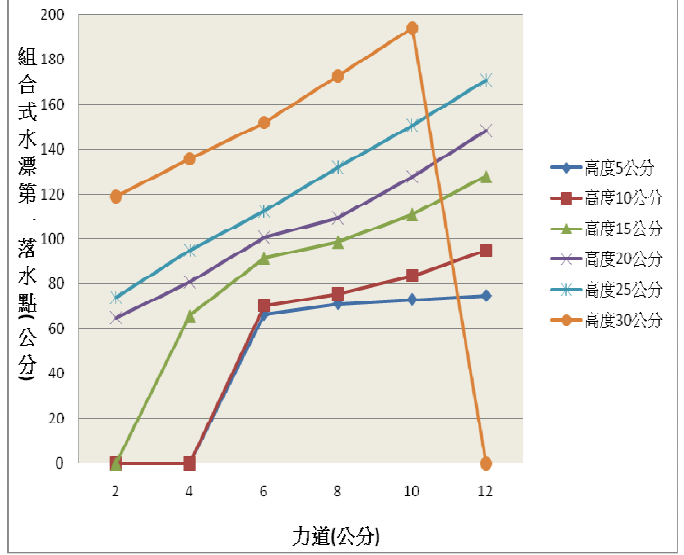


圖 5-2：發射器水平發射時，發射器的高度及力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

- (4) 發射器在相同力道下，組合式水漂第一落水點的遠近依序是：高度 30 cm > 高度 25cm > 高度 20 cm > 高度 15 cm > 高度 10 cm > 高度 5cm，換句話說，發射器在相同力道下，高度越高，組合式水漂第一落水點越遠。

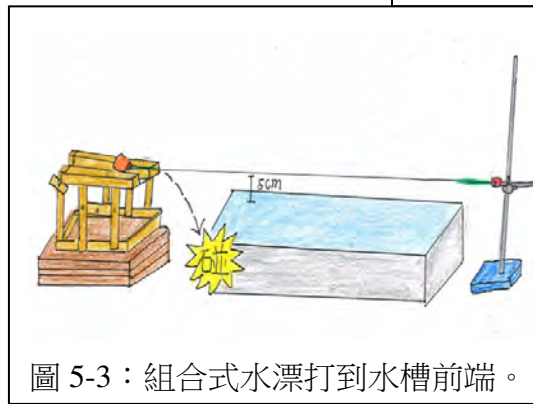


圖 5-3：組合式水漂打到水槽前端。

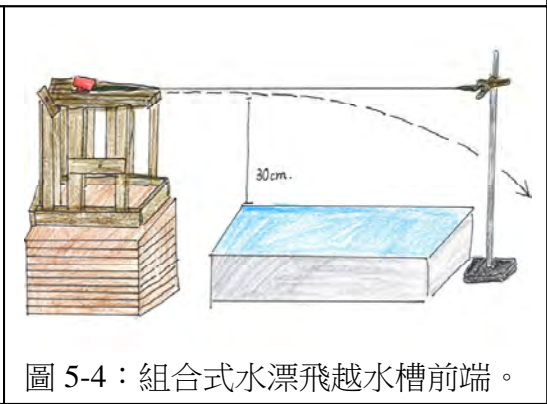


圖 5-4：組合式水漂飛越水槽前端。

5cm，換句話說，發射器在相同力道下，高度越高，組合式水漂第一落水點越遠。

2. 將表 5-1 經過整理製成圖 5-5~圖 5-10 後發現：

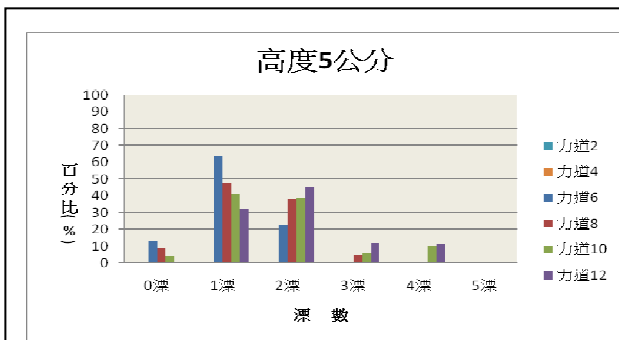


圖 5-5：發射器高 5cm 水平發射時，不同力道大小所出現的漂數百分比。

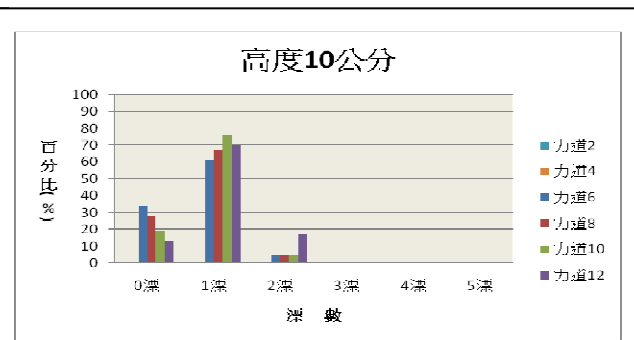


圖 5-6：發射器高 10cm 水平發射時，不同力道大小所出現的漂數百分比。

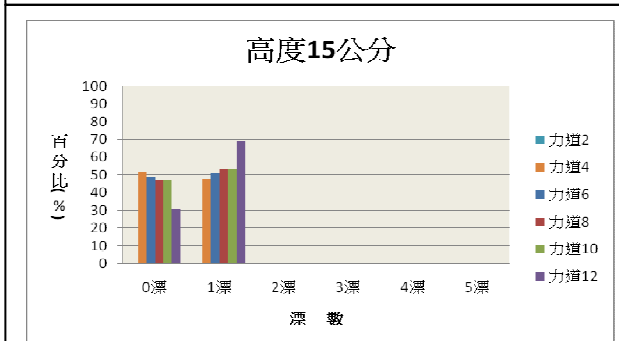


圖 5-7：發射器高 15cm 水平發射時，不同力道大小所出現的漂數百分比。

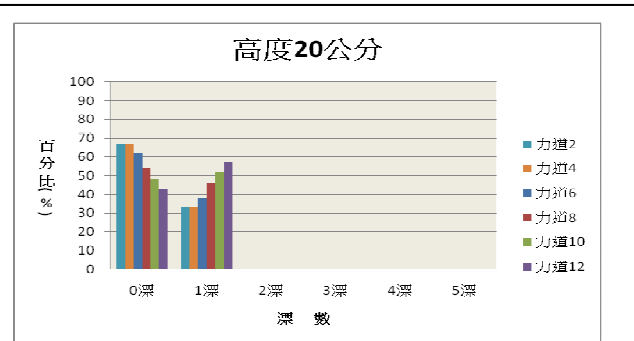


圖 5-8：發射器高 20cm 水平發射時，不同力道大小所出現的漂數百分比。

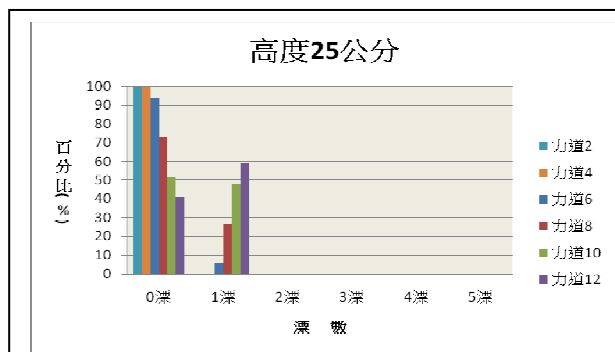


圖 5-9：發射器高 25cm 水平發射時，不同力道大小所出現的漂數百分比。

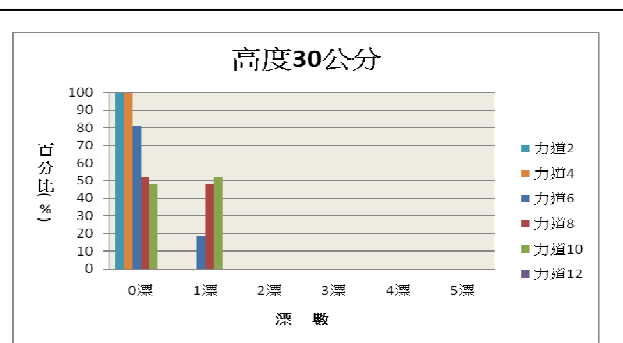


圖 5-10：發射器高 30cm 水平發射時，不同力道大小所出現的漂數百分比。

- (1) 發射器在相同高度下，發射器能成功打出水漂的機率由大至小依序是：力道 12cm > 力道 10cm > 力道 8cm > 力道 6cm > 力道 4cm 力道 2cm；換句話說，發射器在相同高度下，力道越大，組合式水漂能成功打出水漂的機率愈大。
- (2) 承 (1)，我們推測力道越大能成功打出水漂機率愈大的原因是平行於水面的力比較大，延緩組合式水漂落入水面的時間。
- (3) 發射器在相同力道下，發射器能成功打出水漂的機率由大至小依序是：高度 5cm > 高度 10cm > 高度 15cm > 高度 20cm > 高度 25cm > 高度 30cm；換句話說發射器在相同力道下，發射器高度越低，組合式水漂能成功打出水漂的機率愈大。
- (4) 承 (3)，我們觀察到發射器在相同力道下，高度越低，落入水面的角度也會較小（如圖 5-11），至於組合式水漂落水角度的大小是否是影響能成功打出水漂機率的重要因素，我們將在之後以實驗設計做更深入的觀察。
- (5) 發射器高度 10 公分，以力道 6cm、8cm、10cm、12cm 水平發射時，各有 5 次、5 次、5 次、17 次成功打出 2 漂。
- (6) 發射器高度 5 公分，以力道 6cm、8cm、10cm、12cm 水平發射時，各有 23 次、38 次、39 次、45 次成功打出 2 漂；以力道 8cm、10cm、12cm 水平發射時，各有 5 次、6 次、12 次成功打出 3 漂；以力道 10cm、12cm 水平發射時，各有 10 次、11 次成功打出 4 漂。
- (7) 承 (6)，在能打出 4 個漂數的情形下，我們觀察到每增加一漂，組合式水漂彈起的高度會減少，而且漂與漂間的距離會縮短，最後組合式水漂甚至好像

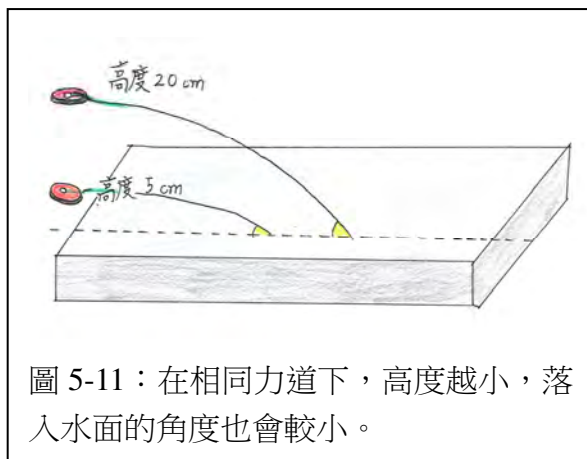


圖 5-11：在相同力道下，高度越小，落入水面的角度也會較小。

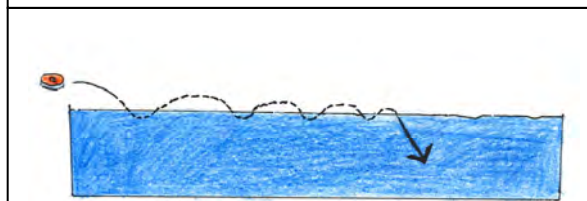


圖 5-12：打出 4 個漂數的組合式水漂甚至好像在水面上滑行呢！

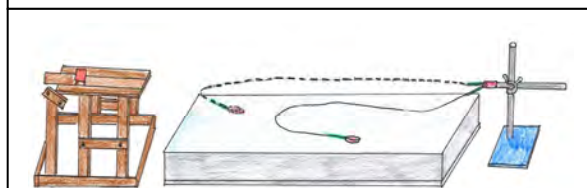


圖 5-13：無法成功打出漂數時，彈性線材和組合式水漂的關係位置。

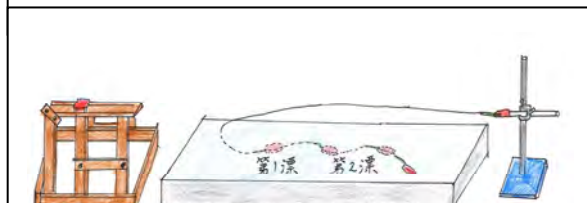


圖 5-14：能成功打出 2 個漂數時，彈性線材和組合式水漂的關係位置。



在水面上滑行呢！（如圖 5-12）

- 3.在實驗過程中，我們觀察到成功的水漂所發出的聲音是較為輕快的，如：「ㄉㄨㄚ！」；不成功的水漂所發出的聲音是較為沉重的，如：「撲通！」。
- 4.發射器一發射出組合式水漂時，組合式水漂一開始會受到彈性線材拉力的影響而彈出，但就彈性線材和組合式水漂的關係位置來看（圖 5-13~圖 5-14），可以推知彈出的瞬間組合式水漂就脫離線材的控制，而是以發射瞬間的力道來進行彈跳。
- 5.在實驗過程中，我們觀察到成功的水漂在水面下好像會形成一個水凹洞，但是因為水槽是不透明的，又為顧及希望攝影機能完整拍攝到組合式水漂所能成功打出的所有漂數，所以無法細部拍攝到每一個水凹洞的樣貌，因此水凹洞部分我們將留待之後的實驗繼續深入的探究。

### 子題六：發射器的高度、仰角角度及力道大小如何影響水漂的落點及漂數？

#### （一）研究方法

- 1.調整發射器發射區距不鏽鋼水盆（寬 67cm ×長 165cm）50cm 遠，距水面 0cm 高，角度與水面呈 5 度仰角（如圖 6-1）。
- 2.依序調整發射區的發射力道為 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm 處，每個力道連續發射水漂 100 次，每次都要觀測並記錄：水漂發射成功與否、組合式水漂第一落水點、漂數。
- 3.再調整發射器發射角度與水面呈 10、15、20 度角，重複步驟 2。
- 4.接著依序調整發射器發射區距水面 5、10cm 高，重複步驟 2 及步驟 3。
- 5.使用攝影機錄製全部研究過程，再使用威力導演軟體判讀資料。

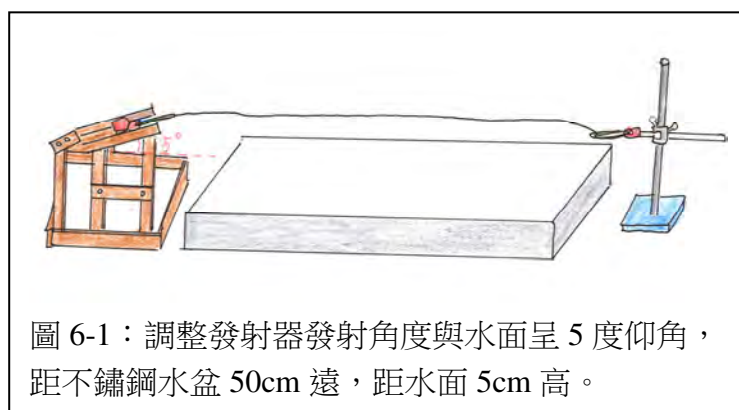


圖 6-1：調整發射器發射角度與水面呈 5 度仰角，距不鏽鋼水盆 50cm 遠，距水面 5cm 高。

#### （二）研究結果

表 6-1：不同的高度、仰角度、力道下所打出水漂的漂數及第一落水點一覽表

高度 (cm)	仰角 (度)	力道 (cm)	漂 數					組合式水漂第一落水點(cm)		
			0 漂	1 漂	2 漂	3 漂	4 漂		5 漂	
0	5	2	54	46	0	0	0	0	135.68	
		4	52	48	0	0	0	0	166.05	
		6	77	23	0	0	0	0	182.40	
		8	74	26	0	0	0	0	203.25	
	10	2	52	48	0	0	0	0	155.15	
		4	69	31	0	0	0	0	191.75	
		6	X	X	X	X	X	X	X	
		8	X	X	X	X	X	X	X	
		10	X	X	X	X	X	X	X	
	15	2	2	77	23	0	0	0	0	191.7

5	5	2	53	47	0	0	0	0	142.35
		4	49	51	0	0	0	0	173.95
		6	68	32	0	0	0	0	195.85
	10	2	78	22	0	0	0	0	165.05
		4	73	27	0	0	0	0	196.00
	15	2	87	13	0	0	0	0	203.86
10	5	2	53	47	0	0	0	0	189.55
		4	78	22	0	0	0	0	211.71

註：1.「組合式水漂第一落水點」僅以 100 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

2.上表僅呈現所有實驗中能打出漂數的高度、仰角、力道之所有數值。

### (三) 研究發現

1.將表 6-1 經整理製成圖 6-2 後發現：

(1) 發射器的高度、仰角、力道在某些組合下(如表 6-2)發射出的組合式水漂有機會可以在不鏽鋼水槽中打出成功的水漂。其他組合下發射出的組合式水漂會飛越不鏽鋼水槽，所以無法測得組合式水漂第一落水點。

(2) 發射器在相同高度、相同仰角下，力道越大，組合式水漂第一落水點越遠。

(3) 發射器在相同高度、相同力道下，仰角越大，組合式水漂第一落水點越遠。

(4) 發射器在相同仰角、相同力道下，高度越高，組合式水漂第一落水點越遠。

2.表 6-2 中，粉藍底的部分是此實驗中約是 50%的機率能成功打出水漂的發射器條件組合，可推測發射器的高度越低，仰角角度越小，越容易在不鏽鋼水槽中打出水漂。

3.發射器呈仰角的實驗中，能成功打出水漂的漂數最多是 1 漂。

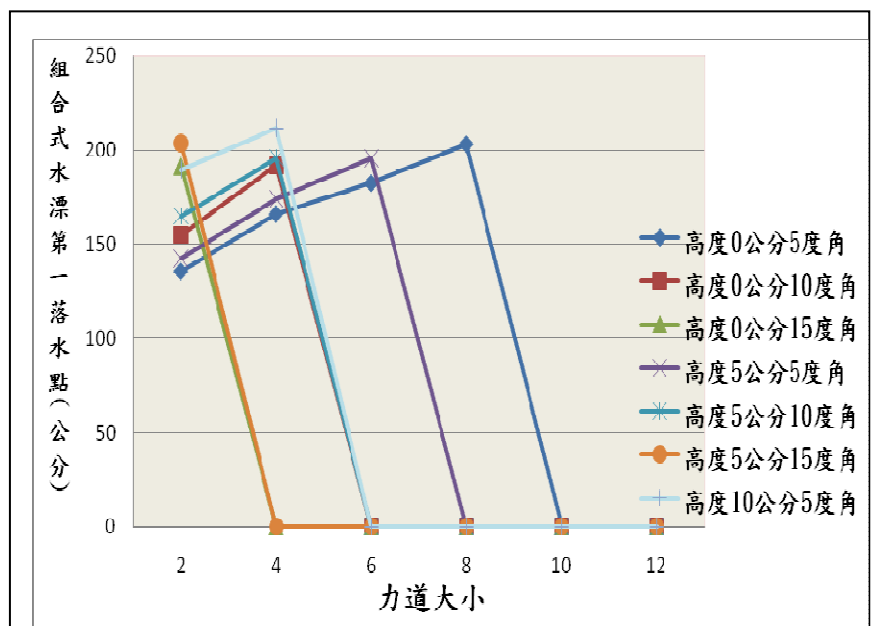


圖 6-2：發射器的高度、角度、力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

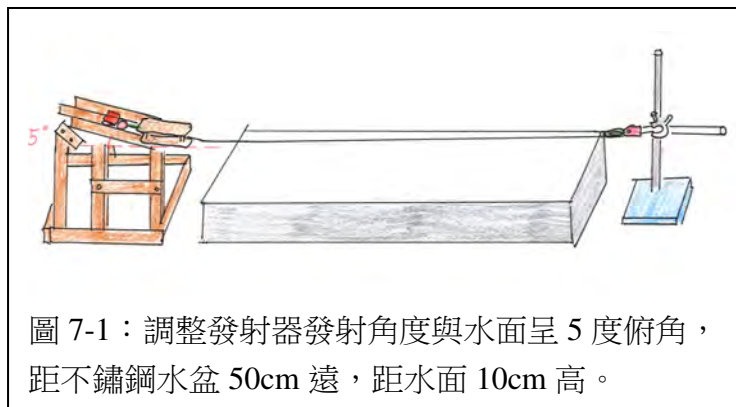
表 6-2：能成功打出水漂的發射器高度、仰角、力道之組合

高度 (cm)	仰角 (度)	力道 (cm)
0	5	2、4、6、8
	10	2、4
	15	2
5	5	2、4、6
	10	2、4
	15	2
10	5	2、4

### 子題七：發射器的高度、俯角角度及力道大小如何影響水漂的落點及漂數？

#### (一) 研究方法

- 1.調整發射器發射區距不鏽鋼水盆（寬 67cm ×長 165cm）50cm 遠，距水面 10cm 高，角度與水面呈 5 度俯角（如圖 7-1）。
- 2.依序調整發射區的發射力道為 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm 處，每個力道連續發射水漂 100 次，每次都要觀測並記錄：水漂發射成功與否、組合式水漂第一落水點、漂數。
- 3.再調整發射器發射角度與水面呈 10、15、20、25、30 度俯角，重複步驟 2。
- 4.接著依序調整發射器發射區距水面 15、20、25、30cm 高，重複步驟 2 及步驟 3。
- 5.使用攝影機錄製全部研究過程，再使用威力導演軟體判讀資料。



#### (二) 研究結果

表 7-1：不同的高度、俯角度、力道下所打出水漂的漂數及第一落水點一覽表

高度 (cm)	俯角 (度)	力道 (cm)	漂 數					組合式水漂第一落水點 (cm)		
			0 漂	1 漂	2 漂	3 漂	4 漂		5 漂	
10	5	2	72	28	0	0	0	0	121.6	
		4	66	34	0	0	0	0	128.5	
		6	45	55	0	0	0	0	136.3	
		8	42	54	4	0	0	0	141.5	
		10	37	58	5	0	0	0	146.3	
		12	29	61	10	0	0	0	156.8	
	10	10	2	63	37	0	0	0	0	86.1
			4	53	47	0	0	0	0	93.3
			6	51	49	0	0	0	0	99.1
			8	43	55	2	0	0	0	104.7
			10	40	53	7	0	0	0	109.3
			12	32	57	11	0	0	0	115.6
15	5	2	78	22	0	0	0	0	150.3	
		4	71	29	0	0	0	0	163.8	
		6	65	35	0	0	0	0	175.4	
		8	52	48	0	0	0	0	180.2	
		10	47	51	2	0	0	0	187.4	
		12	39	51	10	0	0	0	194.3	
	10	10	2	80	20	0	0	0	0	118.5
			4	73	27	0	0	0	0	123.2

		6	68	32	0	0	0	0	127.8
		8	61	39	0	0	0	0	132.3
		10	50	50	0	0	0	0	136.2
		12	46	54	0	0	0	0	141.2
20	5	2	100	0	0	0	0	0	158.8
		4	77	23	0	0	0	0	171.6
		6	81	19	0	0	0	0	179.2
		8	75	25	0	0	0	0	188.3
		10	77	23	0	0	0	0	193.7
		12	70	30	0	0	0	0	200.3
	10	2	97	3	0	0	0	0	121.7
		4	86	14	0	0	0	0	126.7
		6	82	18	0	0	0	0	133.3
		8	84	16	0	0	0	0	141.5
		10	87	13	0	0	0	0	149.8
		12	88	12	0	0	0	0	158.6
	15	2	98	2	0	0	0	0	82.6
		4	92	8	0	0	0	0	93.8
		6	99	1	0	0	0	0	101.3
		8	92	7	1	0	0	0	105.6
		10	85	15	0	0	0	0	110.8
		12	90	10	0	0	0	0	115.2
25	5	2	94	6	0	0	0	0	177.3
		4	97	3	0	0	0	0	186.7
		6	88	12	0	0	0	0	191.3
		8	84	16	0	0	0	0	199.3
		10	89	11	0	0	0	0	205.8
		12	72	28	0	0	0	0	209.5
	10	2	100	0	0	0	0	0	131.5
		4	99	1	0	0	0	0	146.5
		6	87	13	0	0	0	0	154.4
		8	92	8	0	0	0	0	161.5
		10	95	5	0	0	0	0	169.3
		12	85	15	0	0	0	0	172.7
	15	2	100	0	0	0	0	0	103.2
		4	100	0	0	0	0	0	110.2
		6	97	3	0	0	0	0	124.7
		8	97	3	0	0	0	0	135.3

		10	92	8	0	0	0	0	140.5
		12	93	7	0	0	0	0	146.7
	20	2	X	X	X	X	X	X	X
		4	X	X	X	X	X	X	X
		6	X	X	X	X	X	X	X
		8	X	X	X	X	X	X	X
		10	98	2	0	0	0	0	105.4
		12	97	3	0	0	0	0	113.2
30	5	2	89	11	0	0	0	0	183.3
		4	86	14	0	0	0	0	191.6
		6	78	22	0	0	0	0	202.7
		8	73	27	0	0	0	0	210.3
		10	69	31	0	0	0	0	224.1
		12	72	28	0	0	0	0	233.5
	10	2	93	7	0	0	0	0	145.2
		4	82	18	0	0	0	0	155.3
		6	80	20	0	0	0	0	169.6
		8	63	36	0	0	0	0	176.4
		10	78	22	0	0	0	0	183.4
		12	83	17	0	0	0	0	191.5
	15	2	94	6	0	0	0	0	128.3
		4	87	13	0	0	0	0	133.5
		6	87	13	0	0	0	0	137.8
		8	83	17	0	0	0	0	143.8
		10	79	21	0	0	0	0	153.5
		12	81	19	0	0	0	0	166.3
	20	2	97	3	0	0	0	0	94.5
		4	98	2	0	0	0	0	95.7
		6	97	3	0	0	0	0	98.9
		8	89	11	0	0	0	0	102.2
		10	87	13	0	0	0	0	109.5
		12	90	10	0	0	0	0	118.2
25	2	X	X	X	X	X	X	X	
	4	X	X	X	X	X	X	X	
	6	93	7	0	0	0	0	87.4	
	8	93	7	0	0	0	0	92.8	
	10	91	9	0	0	0	0	95.8	
	12	88	12	0	0	0	0	103.3	

註：1.「組合式水漂第一落水點」僅以 100 次測量的平均值呈現，詳細數據如實驗原始記錄。

2.上表僅呈現所有實驗中能打出漂數的高度、俯角、力道之所有數值。

### (三) 研究發現

1.將表 7-1 經過整理製成圖 7-2~圖 7-6 後發現：

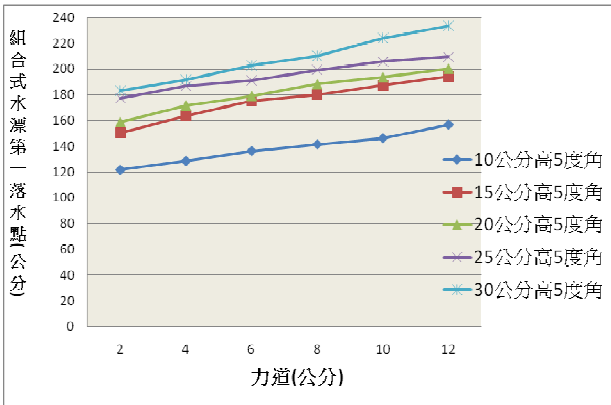


圖 7-2：發射器 5 度角時，發射器高度、力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

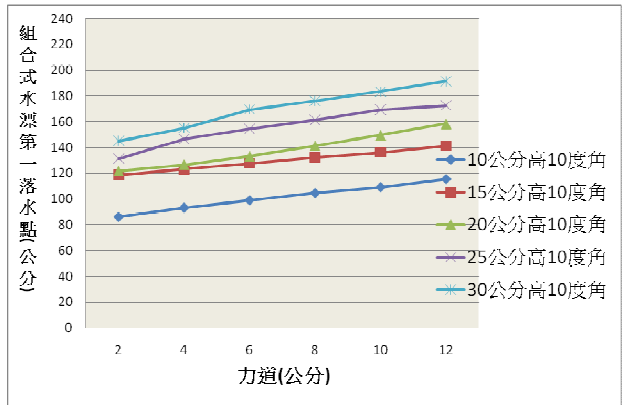


圖 7-3：發射器 10 度角時，發射器高度、力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

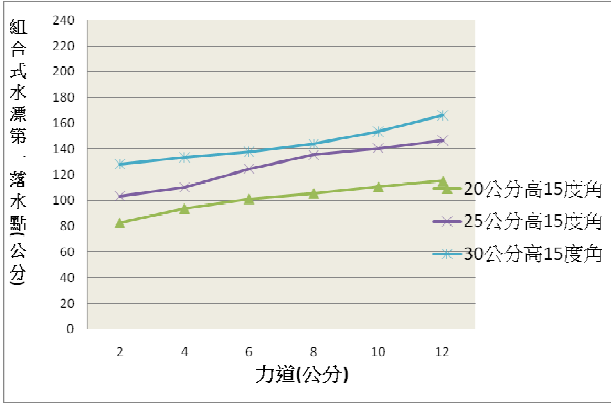


圖 7-4：發射器 15 度角時，發射器高度、力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

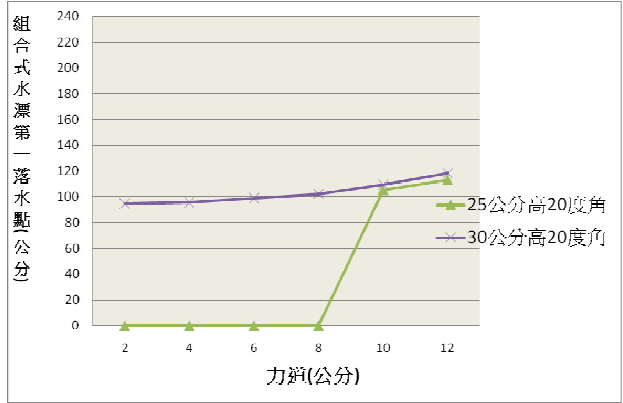


圖 7-5：發射器 20 度角時，發射器高度、力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

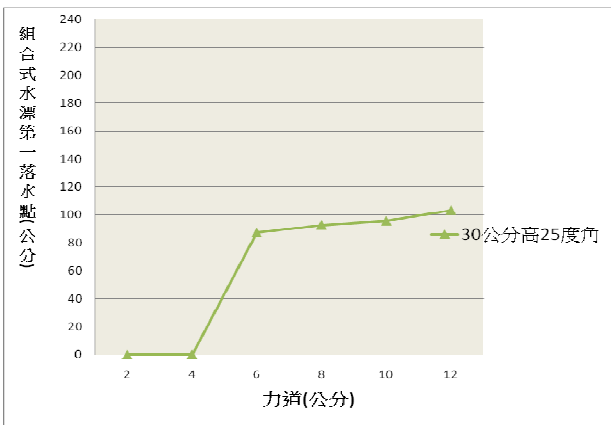


圖 7-6：發射器 25 度角時，發射器高度、力道大小與組合式水漂第一落水點之關係圖。

表 7-2：能成功打出水漂的發射器高度、俯角、力道之組合

高度	俯角	力道 (cm)	
		成功	不成功
10 cm	5 度	2、4、6、8、10、12	
	10 度	2、4、6、8、10、12	
15 cm	5 度	2、4、6、8、10、12	
	10 度	2、4、6、8、10、12	
20 cm	5 度	2、4、6、8、10、12	
	10 度	2、4、6、8、10、12	
	15 度	2、4、6、8、10、12	
25 cm	5 度	2、4、6、8、10、12	
	10 度	2、4、6、8、10、12	
	15 度	2、4、6、8、10、12	
	20 度	10、12	
30 cm	5 度	2、4、6、8、10、12	
	10 度	2、4、6、8、10、12	
	15 度	2、4、6、8、10、12	
	20 度	2、4、6、8、10、12	
	25 度	6、8、10、12	

- (1) 發射器在相同高度、相同俯角下，組合式水漂第一落水點的遠近依序是：力道 12cm > 力道 10cm > 力道 8cm > 力道 6cm > 力道 4cm > 力道 2cm，換句話說，發射器相同高度、相同俯角下，力道越大，組合式水漂第一落水點越遠。
  - (2) 發射器在相同俯角、相同力道下，組合式水漂第一落水點的遠近依序是：高度 30cm > 高度 25cm > 高度 20cm > 高度 15cm > 高度 10cm，換句話說，發射器在相同俯角、相同力道下，發射器高度越高，組合式水漂第一落水點越遠。
  - (3) 發射器在相同高度、相同力道下，發射器角度越小，組合式水漂第一落水點越遠。以發射器 30cm 高，力道 12cm 為例，組合式水漂第一落水點的遠近依序是：俯角 5 度 > 俯角 10 度 > 俯角 15 度 > 俯角 20 度 > 俯角 25 度。
  - (4) 發射器的高度、俯角、力道在某些組合下（如表 7-2）發射出的組合式水漂有機會可以在不鏽鋼水槽中打出成功的水漂。其他組合下發射出的組合式水漂會打到水槽的前端，無法進到不鏽鋼水槽內，所以無法測得組合式水漂第一落水點。
- 2.表 7-2 中，粉藍底的部分是此實驗中約是 50% 的機率能成功打出水漂的發射器條件組合，可推測發射器的高度越低，俯角角度越小，越容易在不鏽鋼水槽中打出水漂。
- 3.表 7-2 中， 的部份是此實驗中能打出 2 漂的發射器條件組合，可推測發射器的高度要低，俯角要小，比較容易打出漂數較多的水漂。



### 對組合式水漂水面下的活動情形感到好奇

由於之前的實驗觀察焦點是發射器的高度、角度、力道如何影響其第一落水點及漂數，但是組合式水漂的發射角度等於其入水角度嗎？組合式水漂為什麼會彈出水面呢？能否打出漂數的組合式水漂在水面下的樣子有什麼不同呢？為了解答我們的疑惑，我們訂製了一個透明壓克力水槽（長 65cm × 寬 30cm × 高 20cm）準備要揭開組合式水漂在水面上及水面下的神祕面紗囉！

#### 子題八：利用透明水槽探究組合式水漂的入水情形及在水面下的活動樣貌

(一) 研究方法：

- 1.將第六代發射器緊鄰著透明水槽（長 65cm × 寬 30cm × 高 20cm）邊架設（如圖 8-1），調整發射器角度與水面呈 5 度俯角。
- 2.在線材與水面交界處的水槽外浮貼一支竹籤作記號（如圖 8-2），藉由記錄組合式水漂第一落水點與竹籤的距離，以觀察組合式水漂的發射角度是否等於入水角度。



圖 8-1：第六代發射器緊鄰著透明水槽邊架設。

假設竹籤距發射器水盆端的距離為 A，組合式水漂第一落水點距發射器水盆端的距離為 B， $A - B$  即為組合式水漂第一落水點與竹籤的距離：

- (1) 如果  $A - B = 0$ ，表示發射角 = 入水角（如圖 8-3）。
- (2) 如果  $A - B > 0$ ，表示發射角 < 入水角（如圖 8-4）。
- (3) 如果  $A - B < 0$ ，表示發射角 > 入水角（如圖 8-5）。

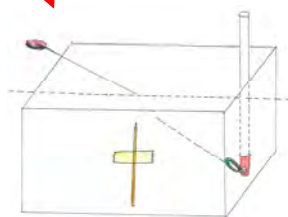


圖 8-2：在線材與水面交界處水槽外浮貼一支竹籤作記號。

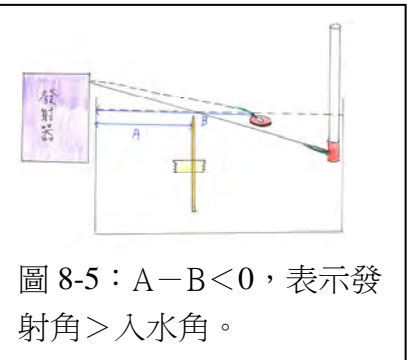
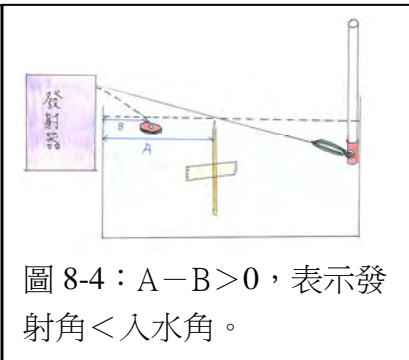
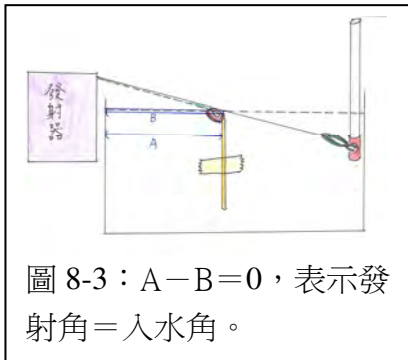


圖 8-3：A-B=0，表示發射角=入水角。

圖 8-4：A-B>0，表示發射角<入水角。

圖 8-5：A-B<0，表示發射角>入水角。

3. 依序調整發射區的發射力道為 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm 處，每個力道連續發射水漂 5 次，使用攝影機錄製全部研究過程，再使用威力導演軟體判讀及記錄和組合式水漂的相關資料：發射成功與否、第一落水點與竹籤的距離、在水面下的樣貌。
  4. 接著依序調整發射器角度與水面呈 10、15、20、25、30 度俯角，重複步驟 2 及步驟 3。
- (二) 研究結果：

表 8-1：不同俯角力道時，組合式水漂第一落水點與竹籤間的距離一覽表

角度(度)		5						10					
力道(cm)		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
測量次數	1	20.3	19.0	18.7	18.1	17.5	16.3	11.6	10.4	9.8	8.3	7.0	6.6
	2	20.2	19.3	18.5	17.8	17.2	16.1	11.9	10.1	9.5	8.5	7.3	6.2
	3	19.8	19.1	18.3	17.8	17.1	15.8	11.2	10.1	9.8	8.3	7.3	6.5
	4	20.3	19.5	18.3	18.0	17.5	16.3	11.6	10.4	9.4	8.6	7.1	6.5
	5	19.8	19.3	18.8	17.6	17.5	15.9	11.2	10.5	9.5	8.5	7.5	6.1
平均		20.08	19.24	18.52	17.86	17.36	16.08	11.5	10.3	9.6	8.44	7.24	6.38
角度(度)		15						20					
力道(cm)		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
測量次數	1	7.4	6.8	6.2	5.7	5.3	4.0	4.2	3.5	2.3	1.4	1.1	0.5
	2	6.9	6.6	5.9	5.9	5.3	4.4	4.5	3.4	2.4	1.6	1.3	0.7
	3	7.3	6.7	6.3	5.5	4.8	4.5	4.2	3.7	2.4	1.6	1.1	0.6
	4	7.3	6.5	6.2	5.3	5.1	3.9	4.2	3.4	2.2	1.7	1.4	0.7
	5	7.5	6.6	6.5	5.7	4.7	4.5	4.3	3.2	2.5	1.4	1.3	0.4
平均		7.28	6.64	6.22	5.62	5.04	4.26	4.28	3.44	2.36	1.54	1.24	0.58
角度(度)		25						30					
力道(cm)		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
測量次數	1	6.6	5.6	4.7	4.2	3.5	3.3	12.1	10.8	9.7	8.4	7	6.7
	2	6.3	5.7	4.9	4.1	3.6	3.0	11.8	10.4	9.5	8.7	7.5	6.6
	3	6.2	5.8	4.6	4.2	3.6	3.5	11.7	10.6	9.8	8.7	7.3	6.1
	4	6.3	5.4	5.1	4.4	3.3	3.1	12.2	10.4	9.6	8.5	7.6	6.3
	5	6.5	5.9	4.9	4.2	3.7	3.0	12.2	10.3	9.7	8.3	7.8	6.6
平均		6.38	5.68	4.84	4.22	3.54	3.18	12.00	10.50	9.66	8.52	7.44	6.46



(三) 研究發現：

1.將表 8-1 經過整理製成圖 8-6 後發現：

(1) 不論發射器角度及力道，組合式水漂第一落水點與竹籤的距離都大於 0，表示組合式水漂的發射角小於入水角。

(2) 發射器在相同俯角下，發射力道越大，組合式水漂第一落水點與竹籤平均距離越近，這也表示組合式水漂的入水角度與其發射角度的落差越小(如圖 8-7)。

(3) 在相同力道下，組合式水漂第一落水點與竹籤平均距離依序是：5 度俯角 > 30 度俯角 > 10 度俯角 > 15 度俯角 > 25 度俯角 > 20 度俯角，其中發射器在 20 度俯角、力道 12 cm 發射出組合式水漂時，其第一落水點最小為 0.58cm，表示在此條件下，組合式水漂發射角最接近入水角；發射器在 5 度俯角、力道 2 cm 發射出組合式水漂時，其第一落水點最大為 20.08cm，表示在此條件下，組合式水漂發射角與入水角落差最大。

2.此實驗中發現俯角越小，力道越大，越容易打出水漂，此結果與子題七的發現也相呼應。

3.透過威力導演軟體讀取錄影資料想仔細觀察組合式水漂在水面下的情形時，發現組合式水漂射進水面後，會在水面下形成一個凹洞，我們稱它為「水凹洞」，而能成功打出漂數和不能成功打出漂數時的「水凹洞」很不相同呢！

(1) 若能成功打出漂數時：當組合式水漂射進水面後，這時會在水面下形成一個「類半橢圓形的水凹洞」(如圖 8-7)，其長度多介於 9cm~14cm 間，深度多介於 2.3cm~3.4cm 間，待組合式水漂彈出水面後，「類半橢圓形的水凹洞」會逐漸回復，而「類半橢圓形的水凹洞」外的水幾乎靜止不動，這個現象真是有趣呢！推測組合式水漂之所以可成功打出漂數，是因為水面的浮力和張力，會給組合式水漂一個向上的作用力，而使其彈起來；但是我們也推測為什麼組合式水漂不能無限的彈起來，是因為水對組合式水漂也有摩擦力，使得組合式水漂的速度會不斷降低，當速度降低到一定的程度就會落入水中。

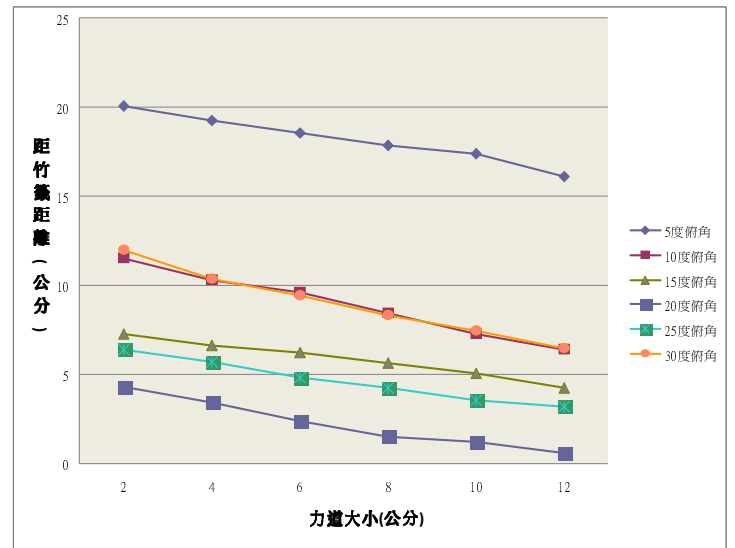


圖 8-6：不同俯角及不同力道時，組合式水漂第一落水點與竹籤間的距離之關係圖。

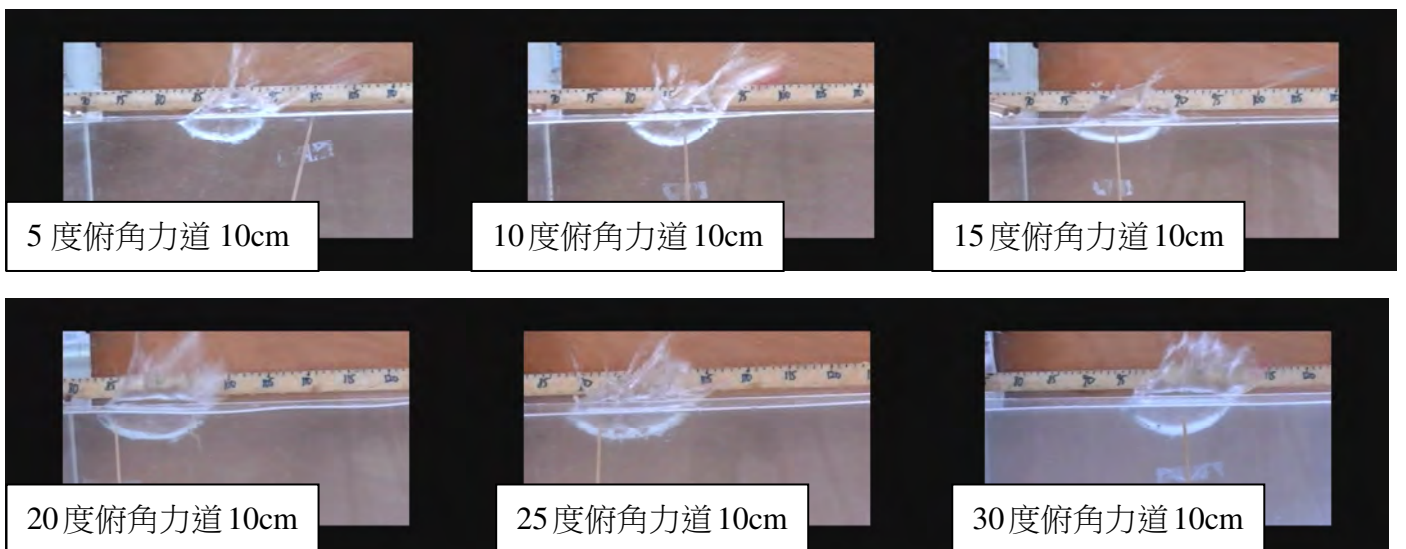
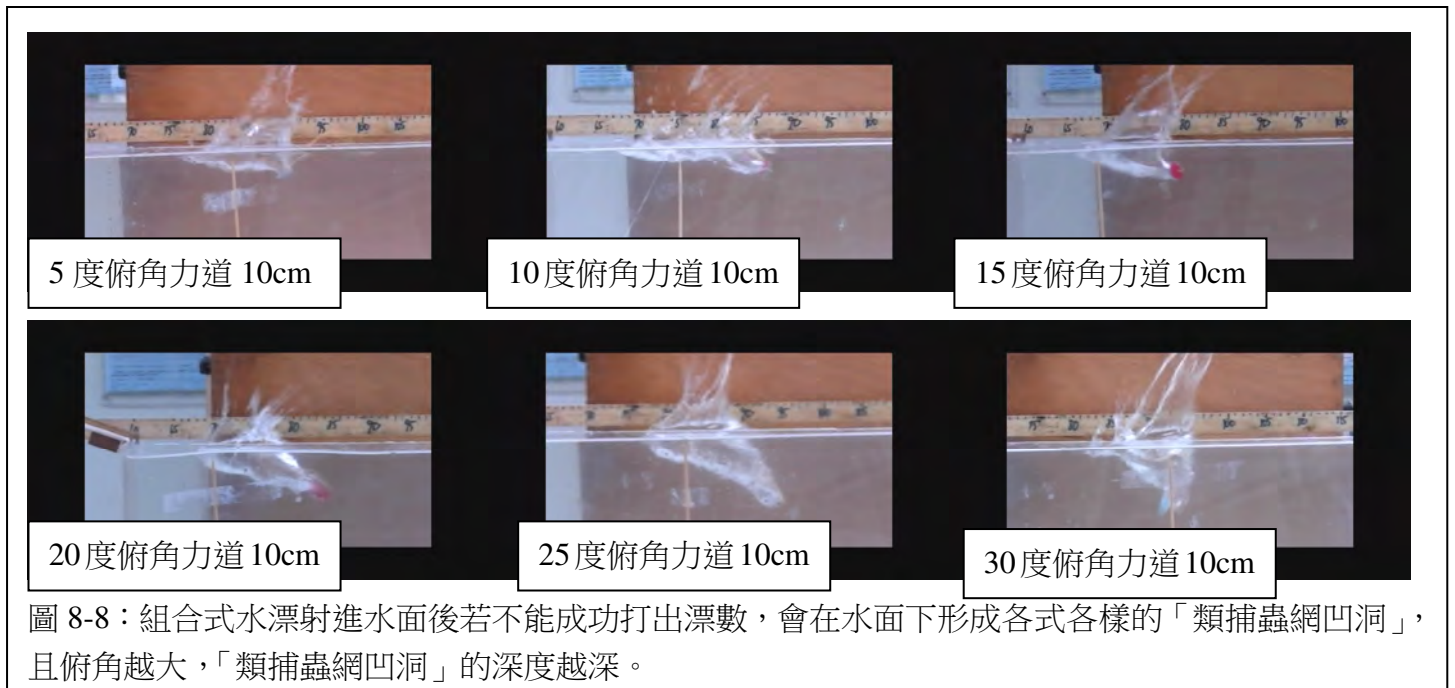


圖 8-7：組合式水漂射進水面後若能成功打出漂數，會在水面下形成一個「類半橢圓形的水凹洞」。

(2) 若不能成功打出漂數時：當組合式水漂射進水面後，這時會在水面下形成一個各式各樣的「類捕蟲網凹洞」(如圖 8-8)，待組合式水漂掉入水中後，「類捕蟲網凹洞」才會慢慢回復，但是水槽中的水受到擾動後，要一段時間才會恢復平靜。



(3) 在實驗過程中，我們還意外拍攝到在小小的透明水槽中竟打出 2 個漂數的「佳作」呢(如圖 8-9)！從連續圖(每張間隔 1/120 秒)中可以看見打出 2 個漂數的組合式水漂會在水面下製造出 2 個「類半橢圓形的水凹洞」，而第一個「類半橢圓形的水凹洞」的長度及深度都比第二個「類半橢圓形的水凹洞」來得小。



**若成功打出漂數，組合式水漂的入水角度等於出水角度嗎？**

子題八的研究中，我們已經知道發射角度不一定等於入水角度，但是組合式水漂成功留下的水凹洞稍縱即逝，且組合式水漂掠過水面的時間很快速，縱使透過威力導演軟體要仔細判讀入水角度還是相當不容易，更不用說想觀察出水角度了。我們嘗試用各種方式想留住水凹洞：將水盆中的水改成麵糰、洗碗精、黏黏球……，最後發現在水盆中填入密實的石灰粉後再打水漂，可以成功的留住凹洞，我們將它稱為「粉凹洞」！

### 子題九：利用石灰粉水槽探究組合式水漂的入水角度及出水角度

(一) 研究方法：

- 1.先在透明水槽（長 65cm×寬 30cm×高 20cm）的環境下架設稍加改良的第六代發射器，在水槽中填入密實的石灰粉（如圖 9-1）。
- 2.調整發射器角度與水面呈 5 度俯角，依序調整發射區的發射力道為 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm 處，每個力道連續發射組合式水漂數次，分別取 5 次成功打出漂數及 5 次不成功打出漂數的數值。
- 3.每次實驗都要記錄粉凹洞的長度、寬度、深度、組合式水漂的入射角度及射出角度：

(1) 用長尺丈量粉凹洞的長度、寬度（如圖 9-2）。

(2) 利用自製儀器丈量粉凹洞的深度：

使用長竹籤、吸管、棉繩自製「深度測量儀」，右邊竹籤從底部每 0.5cm 畫一刻度，待粉凹洞形成後，在粉凹洞中置入「深度測量儀」，直至 A 部分觸碰到粉凹洞的最深處，此時右邊竹籤的刻度讀數即為粉凹洞的深度（如圖 9-3）。

(3) 利用自製儀器丈量粉凹洞入射角及射出角：

使用竹籤、吸管、量角器、棉繩、珠子自製「角度測量儀」，待粉凹洞形成後，將長竹籤順著粉凹洞的角度緊靠著，此時珠子所指向量角器的讀數稍加換算即是入射角度或射出角度（如圖 9-4）。

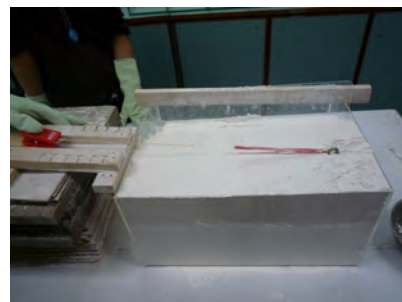


圖 9-1：實驗環境設計。

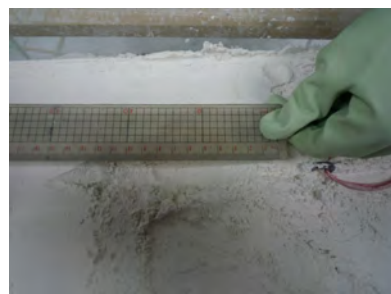


圖 9-2：用長尺丈量粉凹洞的長度。

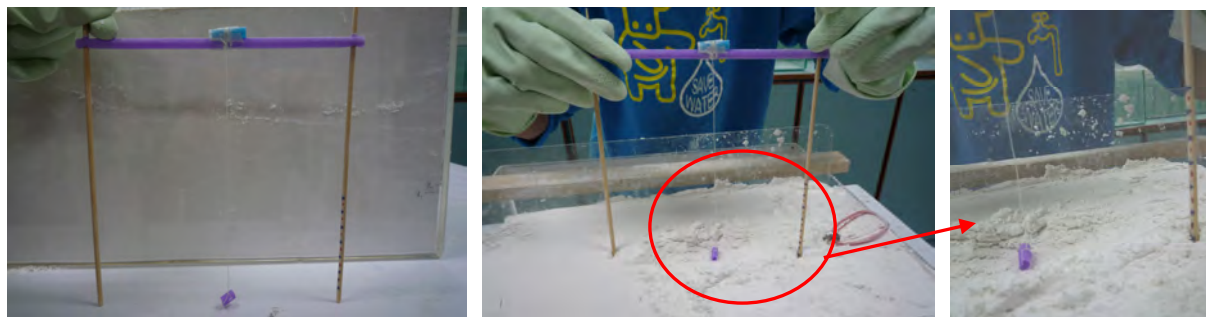


圖 9-3：利用自製儀器「深度測量儀」丈量粉凹洞的深度。



圖 9-4：利用自製儀器「角度測量儀」丈量粉凹洞入射角及射出角。

(二) 研究結果：

表 9-1：粉凹洞的長度、寬度、深度、入射及射出角度一覽表

測量項目	力道 次數	成功打出漂數					沒有打出漂數				
		長(cm)	寬(cm)	深(cm)	入射 角度	射出 角度	長(cm)	寬(cm)	深(cm)	入射 角度	射出 角度
2 公分	1	12.0	3.5	1.4	11.0	18.0	12.2	3.1	1.6	12.0	31.0
	2	12.2	3.6	1.3	11.5	20.0	12.5	3.2	1.6	13.0	28.0
	3	12.2	3.5	1.6	11.0	19.0	11.5	3.4	1.4	12.0	30.0
	4	12.3	3.7	1.4	11.5	19.0	11.8	3.1	1.4	12.0	28.0
	5	12.1	3.6	1.4	11.5	19.0	12.2	3.1	1.5	12.0	32.0
	平均	12.16	3.58	1.42	11.30	19.00	12.04	3.18	1.50	12.20	29.80
4 公分	1	12.6	4.0	1.4	10.0	21.0	13.3	3.7	1.8	11.0	33.0
	2	12.8	3.9	1.5	10.0	21.0	12.8	3.5	1.6	10.0	36.0
	3	12.5	4.0	1.3	10.5	20.0	13.5	3.5	1.5	11.0	35.0
	4	12.5	4.0	1.4	10.5	21.0	13.3	3.4	1.6	11.0	35.0
	5	12.8	3.8	1.5	10.0	19.0	13.0	3.5	1.6	12.0	32.0
	平均	12.64	3.94	1.42	10.20	20.40	13.18	3.52	1.62	11.00	34.20
6 公分	1	13.6	4.6	1.5	9.0	18.0	13.7	4.0	2.0	9.0	36.0
	2	13.4	4.5	1.3	8.0	19.0	13.5	4.0	1.9	10.0	36.0
	3	13.6	4.5	1.3	8.0	22.0	13.8	3.8	2.0	10.0	40.0
	4	13.6	4.3	1.5	9.0	21.0	13.8	3.9	1.8	10.0	37.0
	5	13.2	4.2	1.5	9.0	19.0	13.5	4.0	1.8	10.0	36.0
	平均	13.48	4.42	1.42	8.60	19.80	13.66	3.94	1.90	9.80	37.00
8 公分	1	13.7	4.7	1.4	7.0	19.0	14.6	4.4	2.0	9.0	45.0
	2	13.9	4.9	1.5	8.0	20.0	14.5	4.2	1.9	9.0	42.0
	3	14.2	4.9	1.3	7.0	17.0	14.8	4.3	1.8	8.0	44.0
	4	13.9	4.5	1.4	8.0	19.0	15.0	4.4	1.9	8.0	47.0
	5	13.9	4.9	1.5	8.0	19.0	14.6	4.3	1.9	9.0	45.0
	平均	13.92	4.78	1.42	7.60	18.80	14.70	4.32	1.90	8.60	44.60
10 公分	1	15.5	5.0	1.4	7.0	19.0	X	X	X	X	X
	2	15.6	4.9	1.3	6.0	18.0	X	X	X	X	X
	3	15.3	5.0	1.5	7.0	21.0	X	X	X	X	X
	4	15.5	5.1	1.5	6.0	19.0	X	X	X	X	X
	5	15.6	5.0	1.4	7.0	21.0	X	X	X	X	X
	平均	15.50	5.00	1.42	6.60	19.60	X	X	X	X	X
12 公分	1	16.2	5.2	1.5	6.0	19.0	X	X	X	X	X
	2	16.5	5.4	1.3	7.0	20.0	X	X	X	X	X
	3	16.3	5.4	1.4	5.0	21.0	X	X	X	X	X
	4	16.3	5.2	1.4	6.0	21.0	X	X	X	X	X
	5	16.2	5.5	1.5	5.0	18.0	X	X	X	X	X
	平均	16.3	5.34	1.42	5.8	19.8	X	X	X	X	X

(三) 研究發現：

1.將表 9-1 經過整理製成圖 9-5~圖 9-6 後發現：

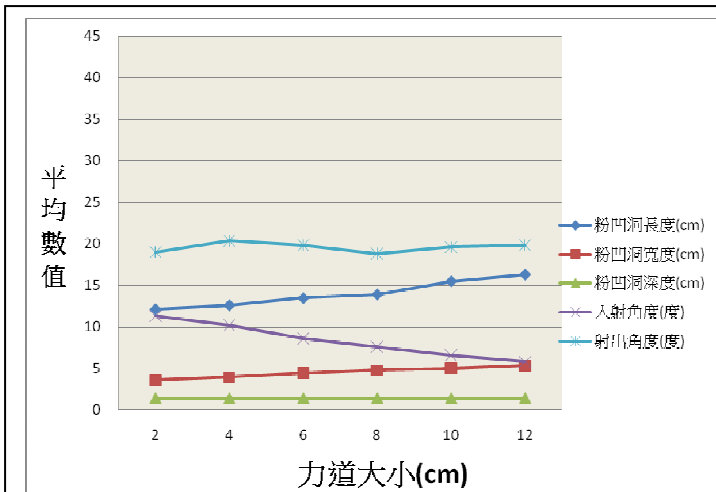


圖 9-5：成功打出漂數的粉凹洞之長度、寬度、深度、入射角及射出角關係表

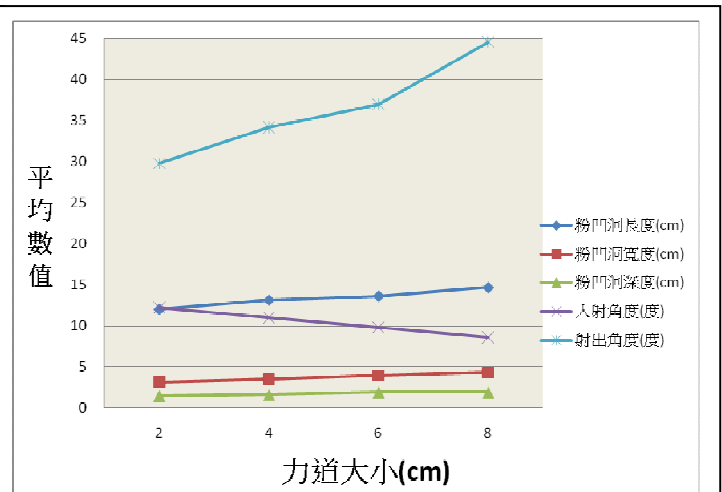


圖 9-6：無法打出漂數的粉凹洞之長度、寬度、深度、入射角及射出角關係表

(1) 俯角 5 度，在能成功打出漂數的粉凹洞實驗中：

- ①不論力道大小，粉凹洞深度介於 1.3cm~1.5cm 間，平均深度 1.42cm。
- ②力道越大，粉凹洞的平均長度及平均寬度越大。
- ③力道越大，粉凹洞測得入射角越小，平均入射角介於 5.8~11.3 度。
- ④粉凹洞測得的射出角度都大於入射角度，但射出角度大小和力道大小無明顯關係，平均射出角度介於 18.8 度~20.4 度。

(2) 俯角 5 度，在無法成功打出漂數的粉凹洞實驗中：

- ①力道 10cm 及 12cm 時，都能打出漂數，沒有不成功的經驗。
- ②無法成功打出漂數時，組合式水漂不會彈出，反而是卡在粉凹洞中(圖 9-7 的 C 位置)，所以這時所測的射出角度會較大。
- ③力道越大，粉凹洞深度越深，平均深度介於 1.5 cm ~1.9 cm 間。
- ④力道越大，粉凹洞的平均長度及平均寬度越大。
- ⑤力道越大，粉凹洞測得入射角越小，平均入射角介於 8.6~12.2 度。
- ⑥粉凹洞測得的射出角度都大於入射角度。
- ⑦力道越大，粉凹洞測得射出角越大，平均射出角介於 29.8~44.6 度。

- (3) 能成功打出漂數粉凹洞的深度比無法成功打出漂數的深度略小。
- (4) 成功打出漂數粉凹洞長寬和無法成功打出漂數的長寬幾乎無差異。
- (5) 成功打出漂數粉凹洞入射角和無法打出漂數入射角幾乎無差異。
- (6) 能成功打出漂數粉凹洞射出角比無法成功打出漂數射出角小很多。

- 2.能成功打出漂數的粉凹洞形狀俯瞰大多像雞蛋形或杏仁形(如圖 9-7)。
- 3.能成功打出漂數的粉凹洞中間常出現很細的粉突出物(如圖 9-8 的 C 部分)，是因為組合式水漂在此翻轉的因素。
- 4.無法成功打出漂數的粉凹洞形狀俯瞰多像橄欖籽形(如圖 9-9)。

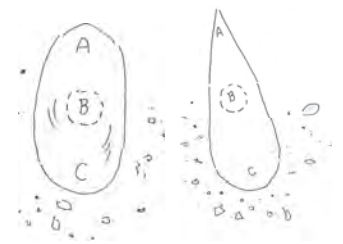


圖 9-7: 成功打出漂數粉凹洞形狀俯瞰如雞蛋形(左圖)或杏仁形(右圖)。

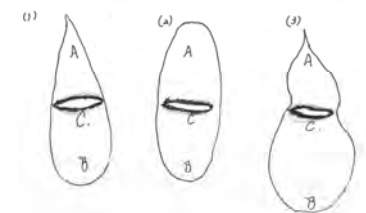
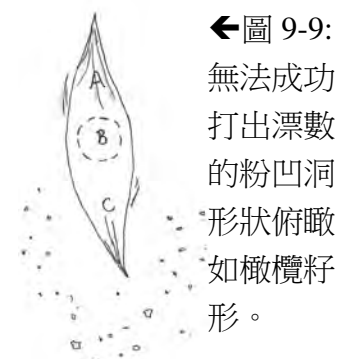


圖 9-8: 能成功打出漂數的粉凹洞中間常出現很細的粉突出物。



←圖 9-9: 無法成功打出漂數的粉凹洞形狀俯瞰如橄欖籽形。



## 擲出時的旋轉力道會增加漂數嗎？

之前實驗已經發現發射高度越接近水面，發射角度和水面保持平行、力道越大，在水槽中成功發射出多漂數的機率越大，最佳紀錄是在 165cm 長水槽中打出 4 漂！但目前發射器擲出組合式水漂時的方式及力道只能讓水漂在前進的同時還有左右晃動效果，很會打水漂的同學以個人經驗提出，必須甩動手腕，使擲出的水漂產生旋轉就可打出更多漂數，因此接下來將綜合之前研究結果，再嘗試以改良組合式水漂的構造及發射方式，使其在擲出時產生旋轉效果，以觀察該方式如何影響落點及漂數。

### 子題十：改良組合式水漂的構造及發射方式，使其在擲出時產生旋轉效果，將如何影響水漂的落點及漂數？

#### (一) 研究方法：

1. 將組合式水漂形狀改為「工」字型水漂(如圖 10-1)。
2. 彈性線材組合如圖 10-2，將 A 部分的橡皮筋纏繞在「工」字形水漂墊片處，再將 B 部分的橡皮筋套在水漂上(如圖 10-3)，用發射器上的夾子夾住水漂(如圖 10-4)。
3. 調整發射器發射角度與水面呈 0 度角，緊鄰不鏽鋼水盆，距水面 5cm 高，依序調整發射區的發射力道為 5cm、10cm、15cm、20 cm 處，每個力道連續發射水漂 100 次，每次都要觀測並記錄：水漂發射成功與否、組合式水漂第一落水點、漂數。使用攝影機錄製全部研究過程，再使用威力導演軟體判讀資料。

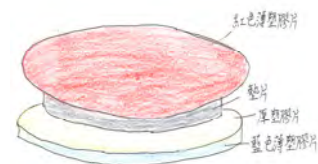


圖 10-1：將組合式水漂形狀改為「工」字形水漂。



圖 10-2：彈性線材新組合。

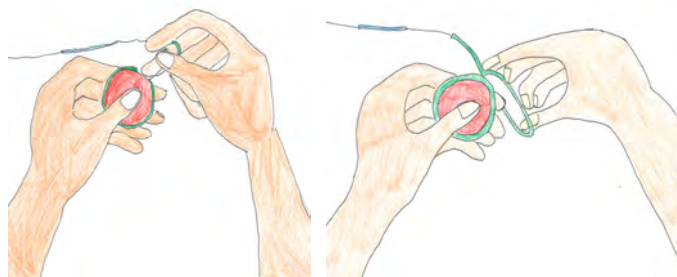


圖 10-3：組合式水漂的纏繞及固定方式。



圖 10-4：使用發射器上的夾子夾住已纏繞好彈性線材的水漂。

4. 利用透明水槽探究組合式水漂在水面下活動樣貌：緊鄰水盆架設發射器，調整發射角與水面平行，發射力道 15cm，發射 20 次，用攝影機錄製過程，再使用威力導演軟體判讀資料。
5. 利用石灰粉槽探究組合式水漂的入水角度及出水角度：調整發射器發射角度與水面呈 0 度角，調整發射力道為 15cm，每個力道連續發射組合式水漂數 20 次，觀察粉凹洞樣貌。

#### (二) 研究結果：

表 10-1：使組合式水漂擲出時產生旋轉效果，其落點及漂數一覽表

力道 (cm)	拉力對應克數	漂 數							組合式水漂第一落水點 (cm)
		0 漂	1~3 漂	4~6 漂	7~9 漂	10~12 漂	13~15 漂	16 漂 ↑	
5	48g	76	24	0	0	0	0	0	17.10
10	74g	61	33	6	0	0	0	0	22.50
15	100g	22	16	14	19	15	8	6	51.67
20	124g	32	22	28	18	0	0	0	66.67

### (三) 研究發現：

1. 改變彈性線材纏繞組合式水漂的方式後，藉由小實驗可證明水漂利用彈性線材拉力擲出後會脫離線材，一面產生旋轉(如圖 10-5)，一面在水面上進行彈跳。線和水漂走的路線不相同，水漂脫離線之後，會以圓弧型路線行進，線則是直線行進，過沒多久就掉入水中。
2. 此實驗中組合式水漂第一落水點遠近：力道 20cm > 力道 15cm > 力道 10cm > 力道 5cm >，換句話說，發射器發射力道越大，組合式水漂第一落水點越遠。而且同樣是力道 10cm，與實驗五平角發射實驗對照，其水漂第一落水點平均是 73cm，而讓水漂在擲出時產生旋轉，其水漂第一落水點平均是 22.5cm，我們推測之間差距 50.5cm 的原因是要讓水漂產生旋轉力道時，會削減擲出時水平的力，而使得水漂第一落水點變得較短。
3. 改變彈性線材纏繞水漂的方式後，發射器以力道 5、10、15、20cm 在 165cm 長不鏽鋼水槽發射水漂時，各有約 20%、40%、80%、70% 機率可成功打出水漂。其中力道 15cm 時，不僅約有 60% 機率可成功打出 7 漂以上，更令我們驚訝的是記錄中計數出最多漂數的是 **18 漂** 呢！這說明，水漂擲出時旋轉力道可大大增加成功的機率及成功的漂數(如圖 10-6)。

4. 透過軟體可看到在打出 18 漂下，每增一漂，組合式水漂彈起高度會減少，而且漂與漂間距離會縮短。與實驗五相對照，發現讓水漂產生旋轉而成功打出的漂數，其彈起高度較不旋轉水漂小，且漂與漂間距離較不旋轉的水漂短，水漂碰到水，就像是蜻蜓點水，聲音較小。
5. 水漂產生旋轉後能在 65cm 長透明水槽中成功打出 4 漂，較不旋轉的水漂多 2 漂。
6. 以透明水槽觀察讓水漂產生旋轉而成功打出漂數時其在水面下的樣貌，發現每一漂成功的漂數會在水面下形成一個「類半橢圓形的水凹洞」，其長度 9.8~15.7 cm，平均長度 12.05cm；深度 1.6~2.2 cm，平均深度 2cm；而後一個水凹洞長度及深度都比前一個水凹洞小，每個形成的「類半橢圓形水凹洞」消失的很快，所以很難以軟體擷取 4 個漂數同時存在的水凹洞。
7. 讓水漂產生旋轉而成功打出漂數時的粉凹洞中，可發現粉面上形成一圈圈或一條條圓弧狀轉痕(如圖 10-7)，在同距離中我們推測，轉痕越密集，轉的圈數越多，表示當下轉速越快。
8. 粉凹洞形狀多為雞蛋形，長度 8.3~10.4 cm，平均長度 9.4cm；寬度 2.7~3.3 cm，平均寬度 3.0cm；深度 0.1~0.5cm，平均深度 0.33cm；入射角介於 2~8 度；射出角介於 6~11 度。

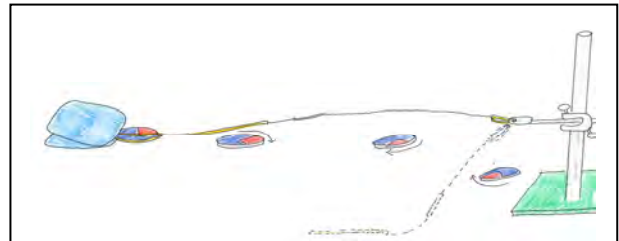
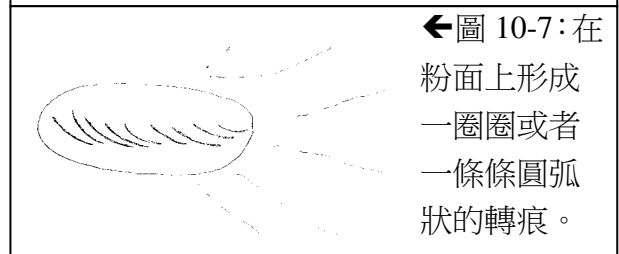


圖 10-5：水漂脫離彈性線材後，會產生旋轉，在水面上進行彈跳。



圖 10-6：水漂擲出時的旋轉力道可以大大增加成功的機率及成功的漂數。



←圖 10-7：在粉面上形成一圈圈或者一條條圓弧狀的轉痕。

## 伍、結 論

- 一、在實驗二中藉由自創的「排水法改良版」精確得知石頭密度介於  $2.60 \text{ g/cm}^3 \sim 2.71 \text{ g/cm}^3$  間。而適合打水漂的石頭長徑介於 3.0 cm ~ 3.9 cm 之間，短徑介於 0.9 cm ~ 2.8cm 之間，厚度介於 0.2 cm ~ 0.7cm 之間，其共同特徵都是扁平、趨近於圓形狀且體積和重量不大。
- 二、在實驗三中為了方便後續諸多探究「打水漂」實驗的變因控制，我們想設計一個和石頭密度接近、可以重複使用的物品來替代石頭，透過多次的嘗試，發現【塑膠片+墊片+塑

膠片】的組合之密度  $2.63 \text{ g/cm}^3$  最接近石頭的密度，我們稱它為「組合式水漂」。至實驗十為了讓水漂在擲出時能產生旋轉而改變彈性線材纏繞水漂的方式，故將相同組合的水漂的形狀改成「工」字型的水漂。

三、實驗四~九與實驗十在彈性線材的組合及纏繞水漂的方式不同，所以成功打出水漂的條件、水凹洞及粉凹洞的樣貌有各有不同發現，茲將其異同以表 10-2 所示：

表 10-2：線材組合及纏繞水漂方式不同，其打出水漂條件、水凹洞及粉凹洞實驗發現一覽表

類別項目		彈性線材沒有纏繞水漂	彈性線材有纏繞水漂
水漂樣式		2 個塑膠片夾住墊片的組合	2 個塑膠片夾住墊片組合-「工」字型水漂
彈性線材組合		橡皮筋+釣線+橡皮筋	橡皮筋+釣線+橡皮筋+釣線+橡皮筋+釣線+橡皮筋
擲出方式		在前進時也能有左右晃動的效果	在前進時能產生 <b>旋轉</b>
最佳發射條件		發射高度越接近水面，發射角度與水面平行，力道 12cm 時，有最佳的發射效果。	發射高度越接近水面，發射角度與水面平行，力道 15cm 時，有最佳的發射效果。
最佳紀錄		在 165cm 的水槽中最多成功打出 4 漂。(100 次的投擲中能出現 11 次 4 漂)	在 165cm 的水槽中最多成功打出 <b>18 漂</b> 。(100 次的投擲中能出現 13 次 13 漂以上)
水凹洞	形狀	成功水漂-「類半橢圓形水凹洞」 不成功水漂-「類捕蟲網凹洞」 ◎由此實驗推測組合式水漂之所以可成功打出漂數，是因水面的浮力和張力，會給組合式水漂一個向上的作用力，而使其彈起來。	成功水漂-「類半橢圓形水凹洞」 不成功水漂-「類捕蟲網凹洞」
	出現多漂	最多出現 2 漂 水凹洞長度及深度比前一個水凹洞大。	最多出現 4 漂 水凹洞長度及深度都比前一個水凹洞小。
粉凹洞	形狀	雞蛋形或葫蘆形，水漂會 <b>翻轉</b>	雞蛋形或杏仁形，粉面上會出現 <b>轉痕</b>
	長寬深	長寬深數值較大	長寬深數值較小
	入射角 射出角	入射角及射出角較大(註 1) 射出角 > 入射角	入射角及射出角較小 射出角 > 入射角

註 1：實驗八中透過透明水槽觀察到不論角度及力道，組合式水漂發射角都小於入水角。發射力道越大，入水角度與發射角度落差越小，其中發射器在 20 度俯角、力道 12 cm 發射出組合式水漂時，其第一落水點最小為 0.58cm，表示在此條件下，組合式水漂的發射角最接近入水角。

## 陸、參考資料

1. Jearl Walker 原著 (1997)。物理學飛行馬戲。凡異出版社。
2. Yam 天空部落格-影音分享 <http://mymedia.yam.com/m/1583692>。
3. 克里斯·斯蒂芬·格雷 (2010)。好爸爸的第一本親子遊戲書：孩子跟爸爸搶著玩的 70 個遊戲。江西科學技術出版社。
4. 科學漫畫講義 (2009)。啟思文化事業有限公司。
5. 莊家榮等 (1992)。打水漂兒知多少。中華民國第三十二屆中小學科學展覽會初小組物理科。



## 【評語】 080110

水漂是有趣的傳統主題，作者們樂在其中，並且設計製作「水漂」與發射系統，並且控制各種發射變因，觀測紀錄水漂發射之後的行為，累積許多實驗與數據，仍可再精簡精進。