

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

最佳(鄉土)教材獎

030104

蜻蜓點水，漂洋過海

學校名稱：基隆市立中正國民中學

作者： 國二 張允維 國二 陳子珩 國二 黃品鈞	指導老師： 王世宏 林恆毅
---	-----------------------------

關鍵詞：水漂、黃金角度、水漂彈跳

蜻蜓點水，漂洋過海

摘要：

我們從自製水漂發射器，經由高速攝影機拍攝的影片軌跡與運用 kwon3D 軟體探討影響水漂彈跳次數的因素，找出打水漂彈跳次數最多的方法。得到實驗結果如下：

- 一、在同一發射角度下，發射彈力越大，則第一次觸水距離越遠；但在同一力道下，發射角越大，則第一次觸水距離不一定越遠。
- 二、使水漂功彈跳起的最佳入水角度為 12 度，我們稱為「黃金角度」。
- 三、水漂並不是直線運動，而是有弧度的落水，且各觸水點的出水角皆大於入水角，且水漂每彈跳後的兩觸水點間距離會「變小」而高度差也會「變小」。
- 四、成功打起水漂的共同特點是從發射器射出時，水漂不會在空中翻轉。而無法使水漂成功彈跳一次時，發現水面呈「束狀」，分析其入水角度均未符合 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 間。

蜻蜓點水，漂洋過海

壹、研究動機

我們所住的地方「基隆」，是一個靠海的城市，而我們這群小孩經常去海邊，最常玩的就是打水漂的遊戲，但我們卻始終不知道要如何將水漂打得好，於是我們現在便投入了這個研究。然而知易行難，我們嘗試輕輕的打、用力的打，水漂卻連一下都彈不起來。因此，我們與理化老師討論此物理現象形成的原因，最後得知有可能是和「發射力道」及「入水角度」等有關係，我們便開始進行一連串有關打水漂的研究，期望能找出每次都成功打起水漂的方法。

貳、研究目的

- 一、探討打水漂的原理。
- 二、研發自製的水漂發射器。
- 三、探討影響水漂彈跳次數的原因。
- 四、進一步探討水漂在各觸水點的差異性。

參、實驗器材與設備

- 一、材料：石頭、橡皮筋、夾板、PVC 透明塑膠布、鋼條、鋼板、螺絲、螺帽、釘子、長尾夾、拉力彈簧條、瞬間接著劑、AB 膠、10 元硬幣、。
- 二、工具：電子秤、游標尺、捲尺、量角器、水平儀、鐵鎚、螺絲起子、扳手、鋸子、砝碼、彈簧秤、筆記型電腦、相機(CASIO EXILM EX-F1，每秒可拍 300 張)、電腦軟體「KwonCC 及 Kwon3D」、相機(CASIO ZR-1000，每秒可拍 240 張)兩台。

肆、研究過程及方法

一、自製水漂發射器：

(一)手打

實驗一開始，我們使用最傳統的「手打」方式來打水漂，經過幾次的實驗下來，我們非常容易就能夠把水漂打起來，但是都只能夠彈起一下或兩下下，接著我們也逐漸找出一些問題，我們發現用手打（人為操控）的情況變因太多，包括使用力度、入水角度、落水點不同，使每次打出的水漂彈跳次數差異過大，時兒成功，時兒失敗，不具準確性，因此用手打水漂僅能用在遊戲當中，不能當作科學實驗的方法。

(二)第一代發射器

基於以上原因，我們決定先著手製作出一台簡易且具穩定性發射器，藉以控制發射水漂的各種變因，進而才能探討發射水漂的力道、水漂入水的角度是否會影響水漂的彈跳次數及距離。我們所設計的第一代發射器如下圖：

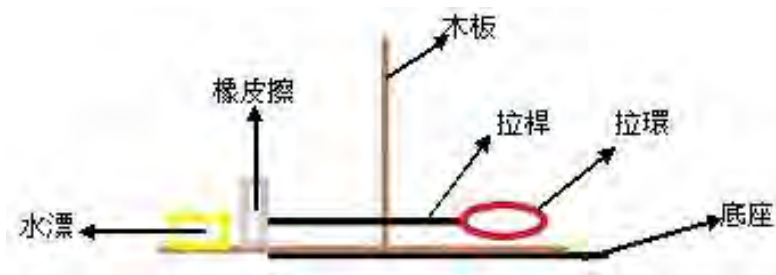


圖 1：第一代發射器示意圖

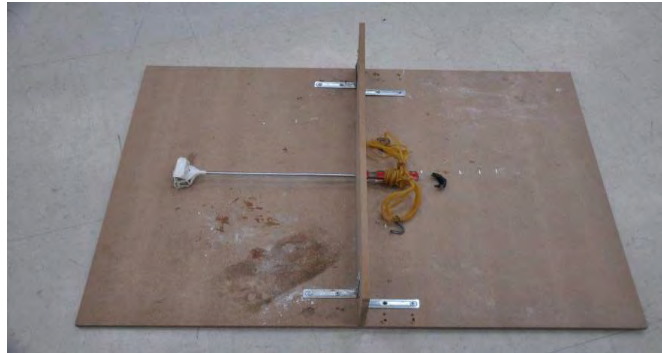


圖 2：第一代發射器實體照片

當我們在發射水漂時，只要將把手往後拉動，利用橡皮筋的彈力，便可以像十字弓一般，以拉桿前方的橡皮擦撞擊水漂，將水漂射出了。至於怎麼控制力度呢？我們使用彈簧秤測出了它的拉力分別有二、三、四和五公斤，我們在木板上標示出橡皮筋的各公斤拉力，只要將拉桿拉到標記的地方再放開，便可以準確的控制拉力了。製作出的這台第一代發射器，雖然能順利的將水漂射出，但是我們卻也發現了一些問題，首先，我們是利用橡皮筋的伸縮力量來發射，這樣是不穩定的做法，因為橡皮筋它拉久了之後，便會產生「彈性疲乏」的問題，使我們在實驗時將會無法準確的控制發射的力道。另外，因為我們的發射器底座上只立了一塊木板，使撞針通過，因此，便會產生撞針會左右晃動的情形，使我們每次發射水漂時，均不能確定撞針前端的橡皮擦是否有撞擊到水漂的中心點，這兩項因素便會影響我們實驗出的結果，因此，我們有改良的必要性。

(三)第二代發射器

我們針對了以上的兩項問題進行改良，首先，我們淘汰了橡皮筋，以拉力彈簧取代，改成像彈珠台一般的發射原理，如此以來，便較不會產生彈性疲乏的問題了。此外，我們也將原本的只隔一塊木板，改為前後各立一塊鋼板，撞針也就無法再左右自如的晃動了。再加上第二代發射器所使用的發射台經過重新設計研發出軌道式發射台（見下圖），能更精準且穩定水漂，使其不前後翻轉。第二代發射器示意圖如下：

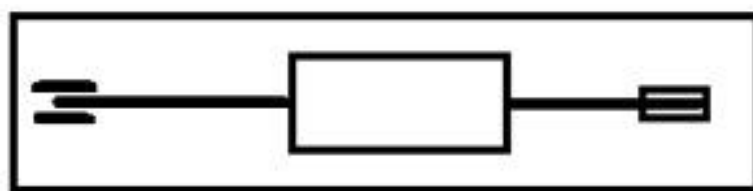


圖 3：第二代發射器示意圖



圖 4：第二代發射器實體照片

雖然如此，第二代的發射器也有一些新的問題，那就是彈簧的前端必須要和立起來的鋼板相接，本來我們是打算利用焊接的方式，不過，因為鐵的熔點較低，在焊的時候彈簧便熔掉了，我們試了好幾次，皆無法成功，因此，我們便想到用塑鋼膠（AB 膠）來接著，這個方法起初可行，但是隨著拉力漸漸增大，塑鋼膠也就黏不住了（見圖 5），因此我們便繼續改良出第三代發射器。



圖 5：塑鋼膠脫落情況

(四)第三代發射器

這是一台兼具能精準控制力量、拉桿穩定、牢固，又能改變發射角度的發射器。見下圖：

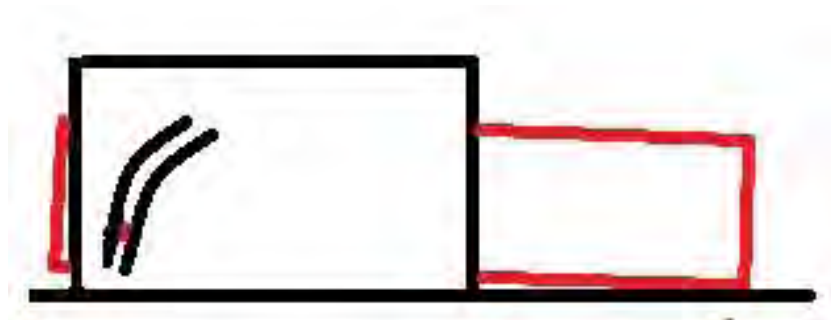


圖 6：第三代發射器示意圖

此為側面圖，黑色部分為木板（左右各一塊）中間一條挖空軌道為圓弧，目的在於讓中間紅色木板部分能自由活動以調整角度。軌道中鎖著一顆螺帽（左右各一顆），調整好角度後將螺帽拴緊加以固定其位置。

木板內側拉桿部分則與二代發射器原理大同小異，一樣是將拉桿穿過兩個等高的洞，並將尾端固定。我們再度改良軌道式發射台，變更成能將錢幣同時固定位子的定點式發射台(見下圖)。並且之前說過彈簧沒有辦法焊接在金屬（鋼板鐵板）上，所以第三代發射器與第二代最大的不同就是，第三代發射器是將彈簧的一個還扭曲變形後緊扣於一片金屬片上，再將金屬片焊接在 L 形金屬片上，L 形金屬再像二代發射器異樣固定在底座（木板）上即可形成一樣的效果。

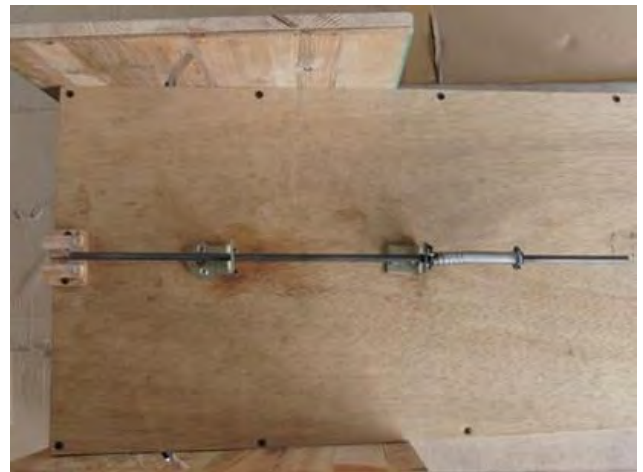


圖 7：第三代發射器實體照片

二、探討影響水漂彈跳次數的原因：

(一)水漂發射器：使用自製的第三代發射器。

(二)設計水槽：自製長 8m、寬 1m、高 12cm 的水槽，利用夾板釘製外框，內鋪透明 PVC 塑膠布，加自來水至水深 10cm。



圖 8：自製水槽實體照片

(三)實驗的水漂：一開始，我們使用傳統的石頭來做實驗。但是做了數次之後，我們發現由於每顆石頭的形狀大小及質量均不相同，因此每次射出後的彈跳次數及距離也不固定，如此一來，我們的實驗將不具準確性及規律性。因此，我們想到可以利用形狀及質量都固定的 10 元硬幣來做為實驗的水漂，這樣實驗將會更具準確性及規律性。

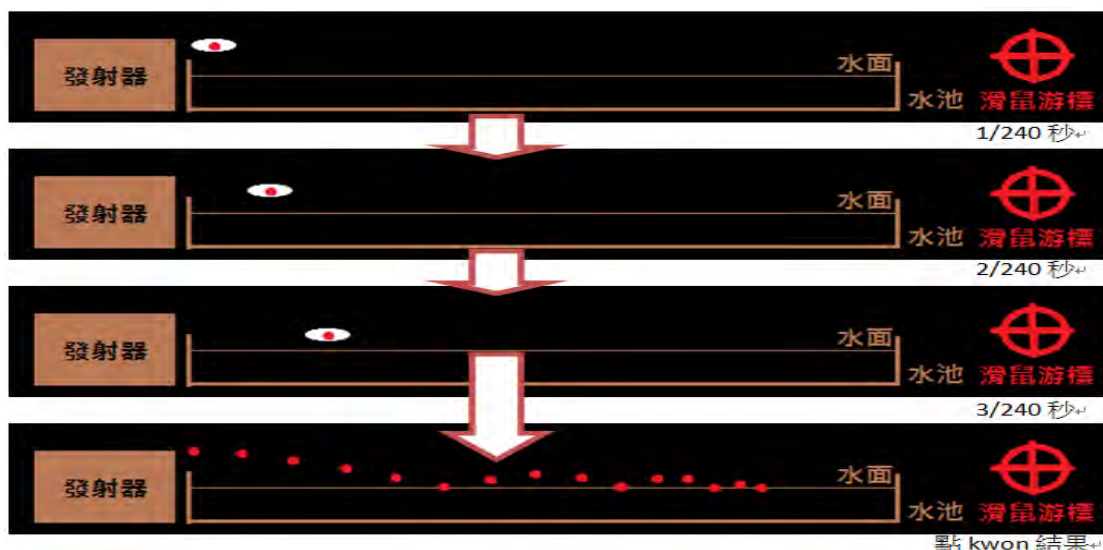
(四)水漂彈跳次數的定義：經我們討論之後，定義出水漂射出後，第一次接觸水面若直接沉沒，即視為彈跳次數 0 次，也就是無法成功；水漂射出後，若是第二次接觸水面才沉沒，即視為彈跳次數 1 次，以此類推……。

(五)場地布置：

我們先將高速攝影機架在水池的側邊(鏡頭與水池垂直)，並將拍攝背景以黑布覆蓋，使之能和漆白的水漂形成對比，而拍攝的範圍為從發射器到第一次落水後彈起約 20 公分處。

(六)**實驗一**：探討作用力的改變對水漂的影響。

- 1.每次固定發射器角度，分別改變自製水漂發射器的彈力大小($F=5\text{ kgw}$ 、 10 kgw 、 15 kgw 、 20 kgw 、 25 kgw 、 30 kgw)來發射水漂。
- 2.利用 CASIO EXILM EX-F1 高速攝影機，將水漂的飛行路徑拍攝下來，並記錄「水漂彈跳次數」。
- 3.每一彈力的實驗都重複 5 次水漂的發射。
- 4.將高速攝影的影像檔輸入電腦軟體「KwonCC 及 Kwon3D」，求得「第一觸水點」的「入水角度」、「出水角度」、「第一觸水點的距離」，記錄數據與分析。



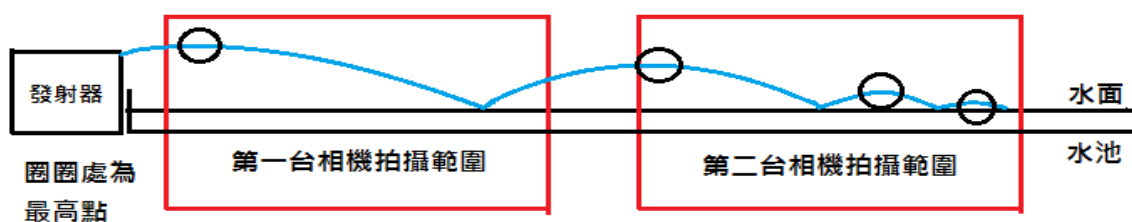
(七)實驗二：探討發射角度的改變對水漂的影響。

1. 分別改變發射角度 $\theta = 0、5、10、15、20、25$ ，每次改變發射角度時，重複實驗一的實驗過程。
2. 完成實驗一與實驗二後，找出本實驗設計最佳水漂彈跳的發射角度與發射力量。

三、進一步探討水漂在各觸水點的差異性：

(一)實驗三：從本實驗最佳化條件中，進一步探討水漂在「第一觸水點」、「第二觸水點」、「第三觸水點」間相關的差異性。

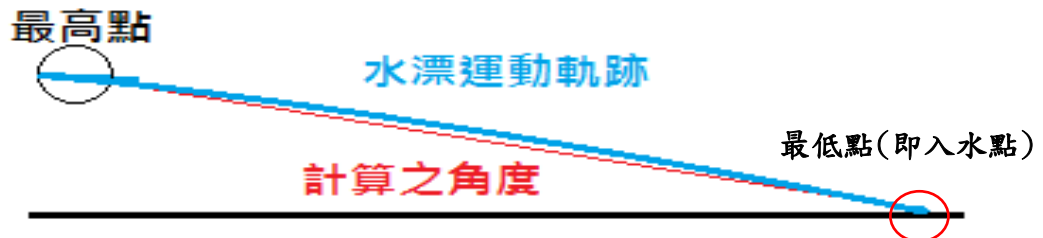
1. 新的場地布置：由於接下來的實驗我們要觀察的為水漂的所有路徑，單靠一台攝影機僅能捕捉到第一入水點，因此我們改用兩台相同的相機(CASIO ZR-1000，每秒可拍 240 張)拍攝，第一台僅拍第一落水點，第二台即拍完剩下的路徑。為了探討其入水及出水角度，因此我們在架相機進行拍攝時必須考量到水漂「落水點」和「最高點」是否皆入鏡，我們架相機的方法如下：



2. 再設計水槽：自製長 8m、寬 1m、高 12cm 的水槽，利用透明壓克力板製作外框，加自來水至水深 10cm。

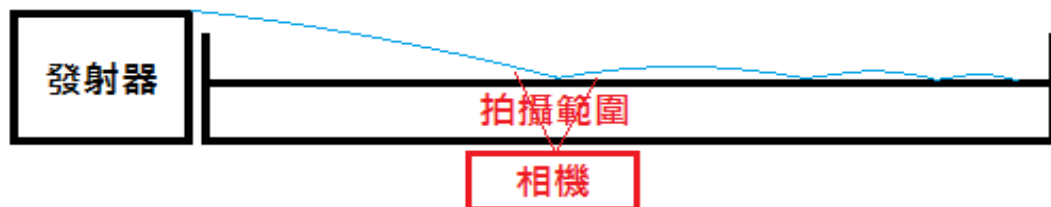


3.將發射器調整到最佳組合，即發射角=5 度，發射彈力=20kgw，重複發射 5 次。同時按下快門鍵拍攝所有路徑。將影像檔輸入電腦軟體「KwonCC 及 Kwon3D」，分別求得水漂在「第一觸水點」、「第二觸水點」、「第三觸水點」的「入水角度」、「出水角度」、「相鄰兩觸水點間的距離(利用影片求相對位置)」、「相鄰兩觸水點間的最高點和水平面高度差」，記錄數據並比較。計算方式為：先用軟體計算出點座標後輸入 excel 公式算出其入水角度。計算角度的方法統一規定如下：



(二)實驗四：觀察水漂在最佳條件下第一入水點的入水情形。

只使用一台相機，將相機貼近水池(距離約 5 公分)，透過水池一面的透明壓克力板即可拍攝到水漂的入水情形。



伍、實驗結果與討論

一、水漂位置的判定方法的改進：

- (一)亂槍打鳥法：進入實驗的步驟，最早測彈跳次數及距離的方法是「目測法」，但是測了幾次之後我們便發現如果單單使用目測法紀錄彈跳次數與入水角度，那麼實驗數據將不具客觀性，亦不具參考價值。
- (二)利用數位攝影機與數學比例計算長度：

- 1.我們透過數位攝影機記錄發射器打水漂的過程，並且用電腦軟體「KMPlayer」放慢，以等比放大的方式分別計算出水漂的彈跳次數和落水距離，如下示意圖。



- 2.用比例計算長度，如此一來，再加上 KMPlayer 放慢功能的輔助下，我們就能夠有效看出錢幣在電腦軟體上的彈跳次數和落水距離。電腦軟體比例換算實際比例方法如下：

設 X =總長度； Y =落水距離，即可得比例式：

X 實際水池長： Y 實際落水距離= X 電腦上水池長： Y 電腦上落水距離

例如：水池長 220cm。電腦上水池長 22cm、一元硬幣落水處為 6cm，依上述比例式可算出實際落水距離為 60cm。

- 3.當我們準備進行「改變發射角度」實驗時，我們卻遭遇了極大的問題，而阻撓了我們繼續向前發展，即當我們要改變角度，必須將發射器抬高仰角，進行發射的工作，然而射出來的水漂入水角是否等於我們發射器的仰角，我們仍然需要證實，水漂入水角度將會深深影響我們後續的研究，如果要驗證，就必須用影片來證明，依照目前我們的這種由上往下拍的拍攝方法，只能夠拍出水漂的彈跳次數，無法拍出入水角度，若要拍出入水角度，就必須與水池平行拍攝，我們用目前的攝影機無法清楚拍出水漂的入水情形。
- 4.轉機，三月初我們正苦思如何改進時，我們民俗班畢業的學長現在是本校替代役，他之前就讀台師大體育研究所時，實驗室購置 CASIO EXILM EX-F1 高速攝影機，可借給我們三個星期，於是我們換了一台每秒可拍三百張照片的高速攝影機進行實驗，拍出來的照片再用軟體「KwonCC 及 Kwon3D」進行計算，便能夠算出我們所需的入水角、出水角、發射仰角等與水漂彈跳次數的關聯了。
- 5.「kwoncc 與 kwon3D」的使用流程：首先新設定好一組校正架(用來計算水漂落水的距離和角度)將校正架 X、Y 座標(公分)設定好之後開 kwon3D 視窗，再將前面已經做好含有四個叫正點的校正架開啟，同時選擇我們所要的影片，軟體就可以比利計算的方式算出水漂的落水點以及路徑(需搭配每秒 300 幅的高速攝影機，每幅照片點一次硬幣位子)這樣一來，軟體就可以計算出硬幣運動的距離和軌跡了。

二、探討影響水漂彈跳次數的原因

(一)作用力與發射角度的改變對水漂彈跳的實驗結果紀錄如下：

表 1：發射水漂仰角=0 度時，不同發射彈力的水漂彈跳結果

發射彈力	實驗次數	1	2	3	4	5	平均值
5 kgw	入水角度(°)	26	26	25	26	26	26
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	36	38	38	36	39	37
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
10 kgw	入水角度(°)	16	16	17	16	17	16
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	61	63	60	60	59	61
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
15 kgw	入水角度(°)	13	12	12	12	12	12
	出水角度(°)	15	14	14	15	14	14
	第一觸水點距離(cm)	88	91	93	91	91	91
	水漂彈跳次數	2	2	2	2	2	2
20 kgw	入水角度(°)	11	11	11	12	11	11
	出水角度(°)	12	11	12	12	12	12
	第一觸水點距離(cm)	107	107	110	108	107	108
	水漂彈跳次數	1	1	1	1	1	1
25 kgw	入水角度(°)	8	8	7	8	7	8
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	131	130	133	131	131	131
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
30 kgw	入水角度(°)	7	7	7	7	7	7
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	145	142	144	144	145	144
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0

表 2：發射水漂仰角=5 度時，不同發射彈力的水漂彈跳結果

發射彈力	實驗次數	1	2	3	4	5	平均值
5 kgw	入水角度(°)	33	30	33	32	33	32
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	37	40	43	40	43	41
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
10 kgw	入水角度(°)	20	18	19	19	20	19
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	70	72	73	72	70	71

	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
15 kgw	入水角度(°)	14	13	13	13	14	13
	出水角度(°)	17	18	18	18	18	18
	第一觸水點距離(cm)	113	115	113	114	113	114
	水漂彈跳次數	2	2	2	2	2	2
20 kgw	入水角度(°)	12	12	11	12	12	12
	出水角度(°)	14	15	14	14	14	14
	第一觸水點距離(cm)	132	135	130	132	132	132
	水漂彈跳次數	5	5	5	5	5	5
25 kgw	入水角度(°)	10	10	10	10	10	10
	出水角度(°)	11	12	11	12	11	11
	第一觸水點距離(cm)	164	168	165	166	164	165
	水漂彈跳次數	2	2	2	2	2	2
30 kgw	入水角度(°)	8	8	8	8	8	8
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	179	179	180	179	179	179
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0

表 3：發射水漂仰角=10 度時，不同發射彈力的水漂彈跳結果

發射彈力	實驗次數	1	2	3	4	5	平均值
5 kgw	入水角度(°)	32	33	30	32	32	32
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	37	35	37	36	37	36
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
10 kgw	入水角度(°)	22	24	23	23	22	23
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	60	64	62	62	60	62
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
15 kgw	入水角度(°)	18	17	18	18	18	18
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	94	93	97	95	94	95
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
20 kgw	入水角度(°)	15	15	15	15	15	15
	出水角度(°)	18	17	17	17	17	17
	第一觸水點距離(cm)	102	105	104	103	102	103
	水漂彈跳次數	1	1	1	1	1	1
25 kgw	入水角度(°)	11	12	12	11	12	12
	出水角度(°)	14	15	14	14	14	14

	第一觸水點距離(cm)	231	229	232	231	231	231
	水漂彈跳次數	3	3	3	3	3	3
30 kgw	入水角度(°)	8	8	8	8	8	8
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	285	287	285	286	285	286
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0

表 4：發射水漂仰角=15 度時，不同發射彈力的水漂彈跳結果

發射彈力	實驗次數	1	2	3	4	5	平均值
5 kgw	入水角度(°)	32	33	32	32	32	32
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	35	37	34	35	35	35
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
10 kgw	入水角度(°)	25	23	25	24	25	24
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	75	72	75	75	74	74
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
15 kgw	入水角度(°)	18	20	18	19	19	19
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	116	117	115	116	116	116
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
20 kgw	入水角度(°)	17	17	17	17	17	17
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	128	129	132	128	130	129
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
25 kgw	入水角度(°)	15	14	15	15	15	15
	出水角度(°)	18	17	18	17	18	18
	第一觸水點距離(cm)	240	238	241	240	240	240
	水漂彈跳次數	1	1	1	1	1	1
30 kgw	入水角度(°)	12	12	13	13	12	12
	出水角度(°)	14	14	14	15	14	14
	第一觸水點距離(cm)	253	251	251	252	253	252
	水漂彈跳次數	3	3	3	3	3	3

表 5：發射水漂仰角=20 度時，不同發射彈力的水漂彈跳結果

發射彈力	實驗次數	1	2	3	4	5	平均值
5 kgw	入水角度(°)	37	35	34	35	37	36
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0

	第一觸水點距離(cm)	60	59	63	61	60	61
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
10 kgw	入水角度(°)	26	26	25	26	26	26
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	155	154	158	155	155	155
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
15 kgw	入水角度(°)	22	21	19	22	22	21
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	206	207	205	207	206	206
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
20 kgw	入水角度(°)	20	20	18	19	20	19
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	234	232	231	234	232	233
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
25 kgw	入水角度(°)	19	19	17	18	19	18
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	269	267	268	268	269	268
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0
30 kgw	入水角度(°)	18	17	18	17	17	17
	出水角度(°)	0	0	0	0	0	0
	第一觸水點距離(cm)	290	293	291	291	290	291
	水漂彈跳次數	0	0	0	0	0	0

(二)我們進一步分析發射彈力與水漂發射處到第一觸水點的「平均距離」，根據以下的圖 9 所示，在同一發射角度下，發射力道越大，則第一次觸水距離越遠；但我們也發現在同一力道下，發射角越大，則第一次觸水距離不一定越遠。

表 6：統計各種角度、發射彈力下，水漂發射處到第一觸水點的平均距離

發射角度	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
發射彈力 (kgw)	與第一觸水點 平均距離(cm)	與第一觸水點 平均距離(cm)	與第一觸水點 平均距離(cm)	與第一觸水點 平均距離(cm)	與第一觸水點 平均距離(cm)
5	37	41	36	35	61
10	61	71	62	74	155
15	91	114	95	116	206
20	108	132	103	129	233
25	131	165	231	240	268
30	144	179	286	252	291

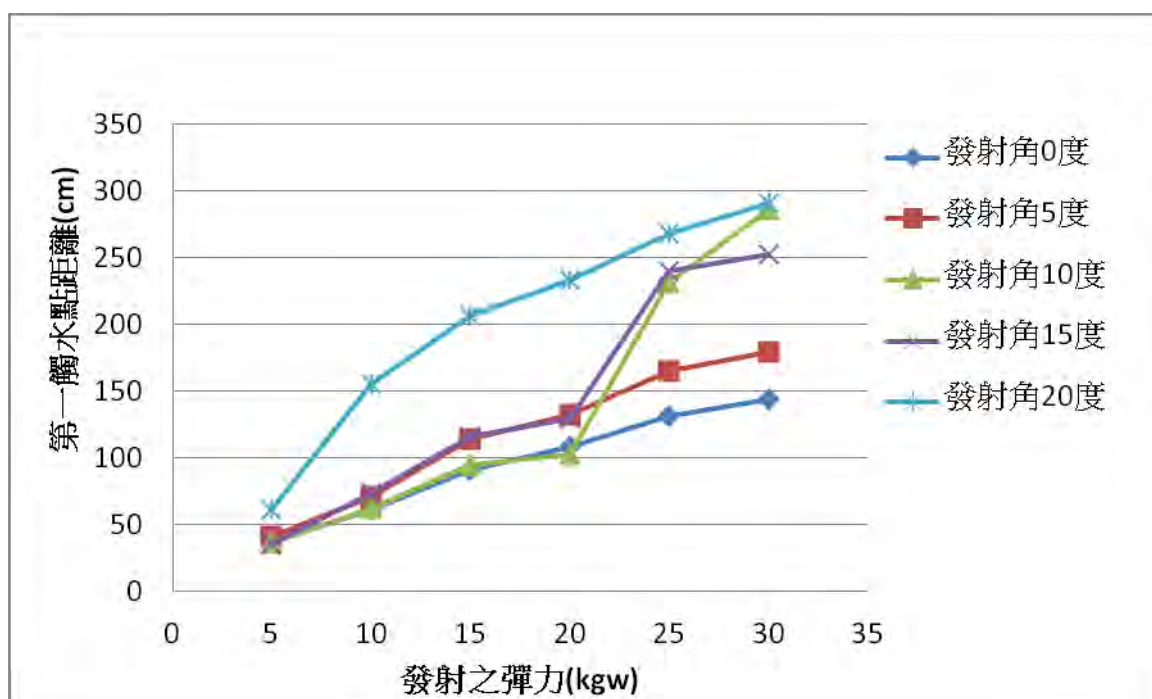


圖 9：不同發射角度下，發射彈力與水漂發射處到第一觸水點距離的關係圖

(三)我們進一步分析發射彈力與水漂發射處到第一觸水點的「入水角度」，根據以下圖 10，我們發現：能使水漂彈跳起的「**最佳入水角度為 12 度**」，我們稱之為「**黃金角度**」，因此，**無論發射角為多少度，只要能找出與其配合的力道，使其入水角度與黃金角度相符，便能使水漂成功彈跳。**例如發射仰角為 0 度配合力道 15kgw；發射仰角為 5 度時配合力道 20kgw，均能達到黃金角度。

表 7：統計各種角度、發射彈力下，水漂發射處到第一觸水點的入水角度

發射角度	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
發射彈力 (kgw)	第一觸水點之入水角度(°)	第一觸水點之入水角度(°)	第一觸水點之入水角度(°)	第一觸水點之入水角度(°)	第一觸水點之入水角度(°)
5	26	32	32	32	36
10	16	19	23	24	26
15	12	13	18	19	21
20	11	12	15	17	19
25	8	10	12	15	18
30	7	8	8	12	17

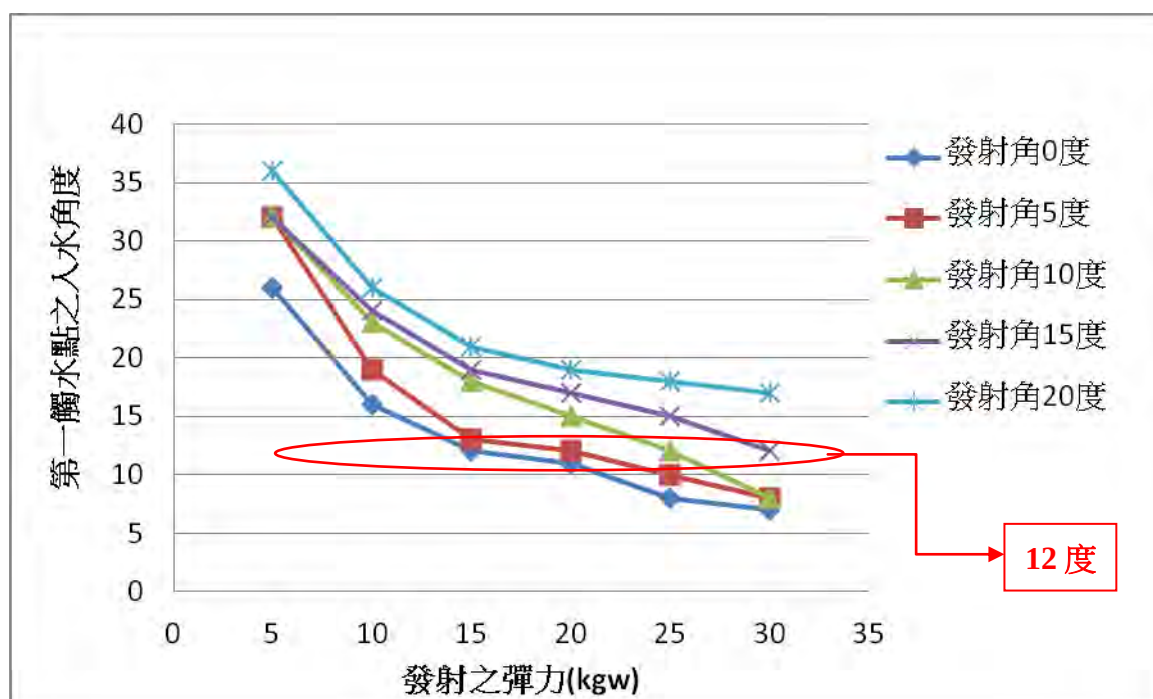


圖 10：不同發射角度下，發射彈力與水漂發射處到第一觸水點入水角度的關係圖

(四)我們進一步分析發射彈力與水漂發射處到第一觸水點的「出水角度」，根據以下圖 11，我們發現：在各發射角所組合出的黃金角度，其水漂的彈跳次數皆能達到 2 次以上，而我們進一步發現，這除了是因入水角度和黃金角度相符之外，還和其「出水角度」有密切關聯，由圖可得知：若想使水漂彈跳次數達到兩次以上，其「最佳出水角度為 14 度」。

表 8：統計各種角度、發射彈力下，水漂發射處到第一觸水點的出水角度

發射角度	0 度	5 度	10 度	15 度	20 度
發射彈力 (kgw)	第一觸水點之出水角度(°)	第一觸水點之出水角度(°)	第一觸水點之出水角度(°)	第一觸水點之出水角度(°)	第一觸水點之出水角度(°)
5	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
15	14	18	0	0	0
20	12	14	17	0	0
25	0	11	14	18	0
30	0	0	0	14	0

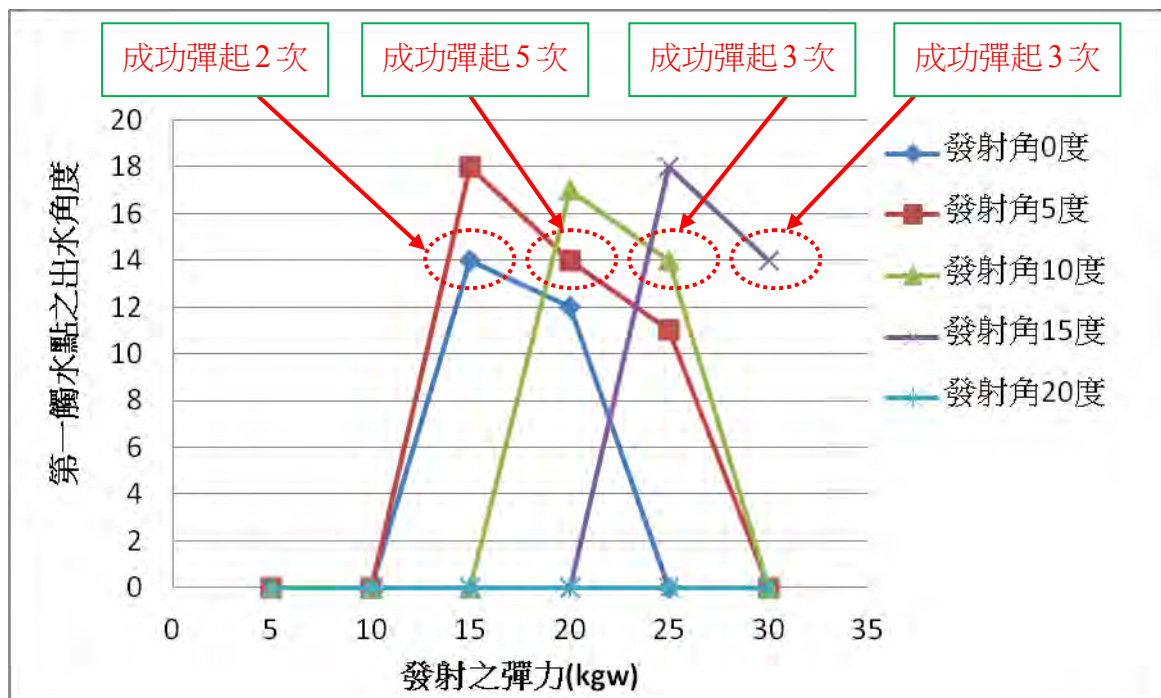


圖 11：不同發射角度下，發射彈力與水漂發射處到第一觸水點出水角度的關係圖

表 9：各實驗條件下，水漂彈跳次數統計表

實驗條件	0°，15kgw	0°，20kgw	5°，15kgw	5°，20kgw	5°，25kgw	10°，20kgw	10°，25kgw	15°，25kgw	15°，30kgw
水漂彈跳次數	2	1	2	5	2	1	3	1	3

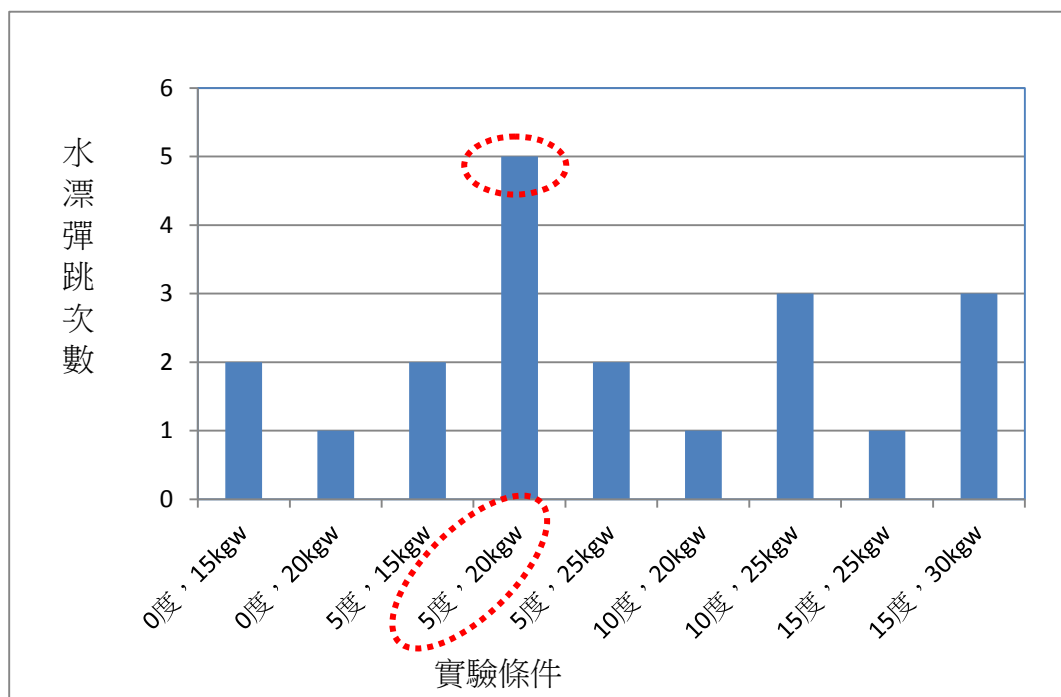


圖 12：各實驗條件下，水漂彈跳次數長條圖

- (五)根據實驗數據統計結果，見圖 12，最佳組合為「發射角 0 度配合力道 15kgw；發射角 5 度配合力道 20kgw；發射角 10 度配合力道 25kgw；發射角 15 度配合力道 30kgw」，而發射角 20 度時，則因所需的施力超過本實驗的發射彈力限制，故無法成功。我們再深入探討那些組合能打起水漂的原因，發現原來只要第一觸水角度在 10~15 都能成功打起水漂，而又以 12 度為最佳。
- (六)當我們一開始做研究時，最初認為發射器發射的力量到達一個臨界值時，水漂應該會完全直線前進，不會有曲線下墜的情形，同時入水角度也會等於出水的角度。但是經由這次的實驗配合 kwon3D 軟體，將水漂運動路徑找出來之後，證明水漂並不是直線運動，有弧度的落水，而水漂的出水角大於入水角。
- (七)我們發現能成功打起水漂的組合中有共同的特點，即水漂從發射器射出時，水漂並不會在空中翻轉，所以可以成功。
- (八)我們在本次實驗中，一共改良了 3 代發射器。第一代發射器主要的問題在於橡皮筋的拉力不穩定，容易彈性疲乏，且撞針無法擊中水漂的中心點，導致水漂射出後，彈跳次數不固定等問題；第二代發射器主要的問題在於彈簧與鋼板連結的塑鋼膠容易脫落，必須不斷重製發射器，使每次實驗結果仍有差異。因此，我們製作了第三代發射器，採用木板製作，既不像第二代發射器有黏接的問題，也沒有第一代發射器撞針及拉力不穩定的問題，且可任意改變角度以進行實驗。
- (九)當我們將水漂打向水面時，水漂會彈起來，這是由於水漂對水面施以作用力，而水面同樣施以水漂反作用力，基於作用力等於反作用力，當我們使用較大的力度打水漂時，水面則施以相同的力度做為水漂彈起來的依據，這是牛頓第三運動定律所提到的「作用力與反作用力」。

三、進一步探討水漂在各觸水點的差異性：

(一)從本實驗最佳化條件中，進一步探討水漂在「第一觸水點」、「第二觸水點」、「第三觸水點」的「入水角」、「出水角」、「相鄰兩觸水點間的距離」與「相鄰兩觸水點間的最高點和水平面高度差」，實驗結果紀錄如下表 10。

表 10：水漂在「第一觸水點」、「第二觸水點」、「第三觸水點」的實驗結果。

實驗次數	1	2	3	4	5	平均值
第一入水角度(°)	12.1	12.2	11.9	12.5	11.8	12.1
第一出水角度(°)	13.9	14.1	14.6	14.8	14.3	14.3
第一觸水間距長度(cm)	132.3	131.7	129.6	134.2	131.4	131.8
第一高度差(cm)	37.4	37.8	36.8	37.7	37	37.3
第二入水角度(°)	10.9	11.8	11.1	11.2	11.6	11.3
第二出水角度(°)	13.9	14.4	14.9	14.9	14.6	14.5
第二觸水間距長度(cm)	97.8	101.4	98.9	99.5	102	99.9
第二高度差(cm)	22.9	21.1	22.9	21.8	21.6	22.1
第三入水角度(°)	10.5	11.5	10.7	10.8	11.0	10.9
第三出水角度(°)	14.7	15.3	15.7	16.4	15.3	15.5
第三觸水間距長度(cm)	43.2	42.3	43	42.7	44.1	43.1
第三高度差(cm)	7.6	6.6	8.2	7.9	7.3	7.5

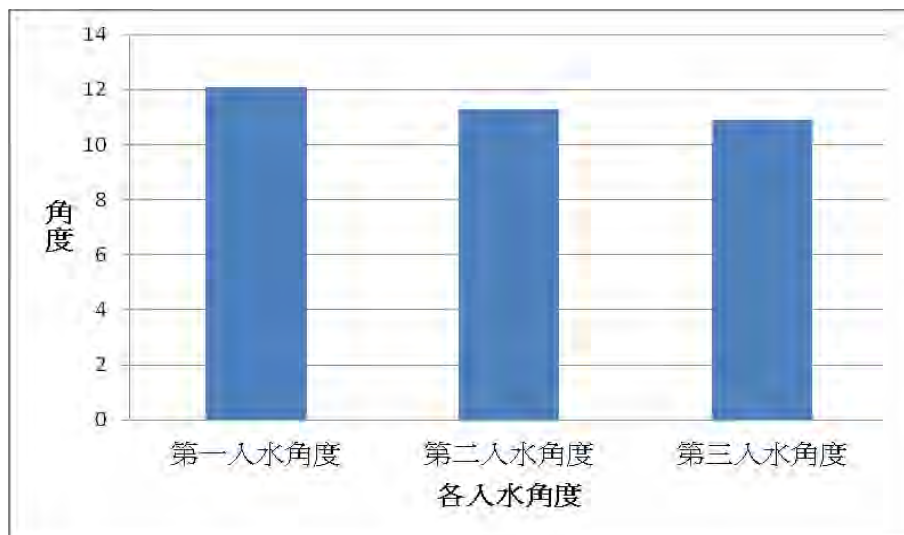


圖 13：水漂彈跳時，各入水角度平均值之長條圖

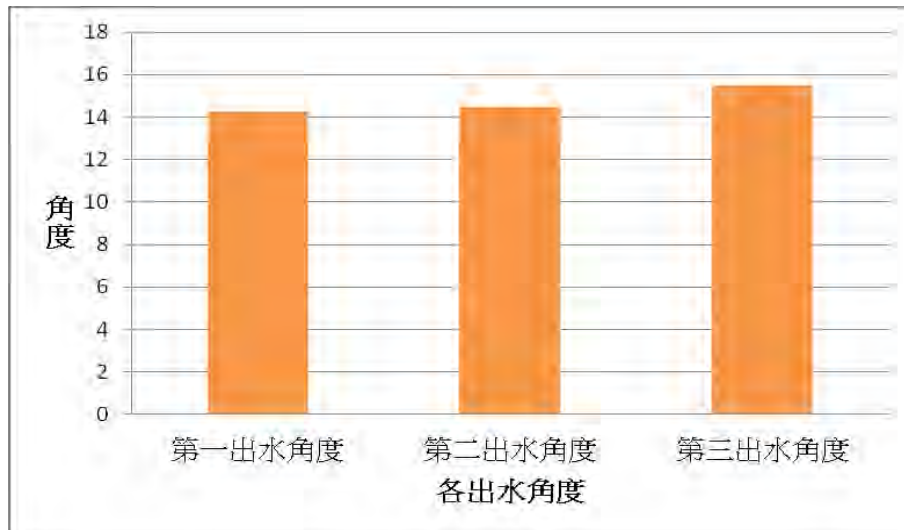


圖 14：水漂彈跳時，各出水角度平均值之長條圖

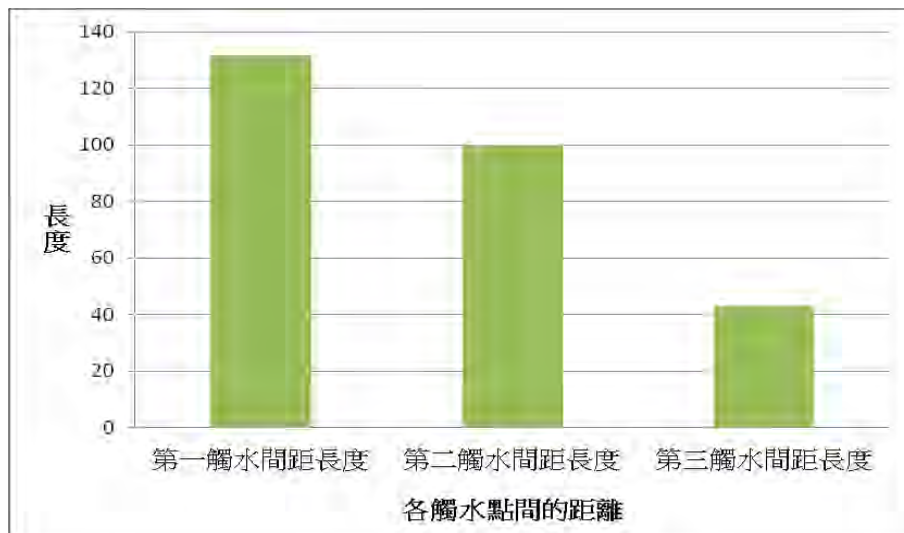


圖 15：水漂彈跳時，各觸水點間的距離平均值之長條圖

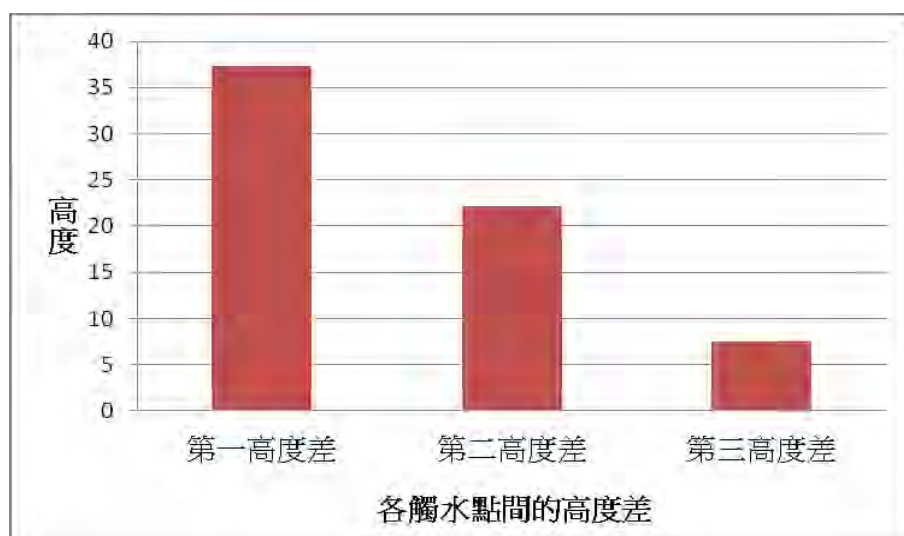


圖 16：水漂彈跳時，各觸水點間的高度差平均值之長條圖

(二)綜合實驗三結果可知：

- 1.比較「入水角」關係時，發現第一個入水角 > 第二個入水角 > 第三個入水角(見圖 13)。且其角度均在 10~15 度之間，且第一個入水角平均值 = 12.1，此與實驗二的結果「黃金角度」符合(見圖 10)。
- 2.比較「出水角」關係時，發現第一個出水角 < 第二個出水角 < 第三個出水角(見圖 14)。且其第一個出水角平均值 = 14.3，此與實驗二的結果：若想使水漂彈跳次數達到兩次以上，其「最佳出水角度為 14 度」符合(見圖 11)。
- 3.從表 10 的實驗數據中，也發現每一個觸水點的出水角皆大於入水角。
- 4.比較「相鄰兩觸水點間的距離」關係時，發現水漂每彈跳後的兩觸水點間距離會「變小」(見圖 15)，這應該是水漂在移動與觸水時的能量轉換發生衰減有關。
- 5.比較「相鄰兩觸水點間的最高點和水平面高度差」關係時，發現水漂每彈跳後的此高度差也會「變小」(見圖 16)，這應該也是水漂在移動與觸水時的能量轉換發生衰減有關。
- 6.我們將此實驗的水漂軌跡疊圖如下。(註：更詳盡的可見影片記錄)

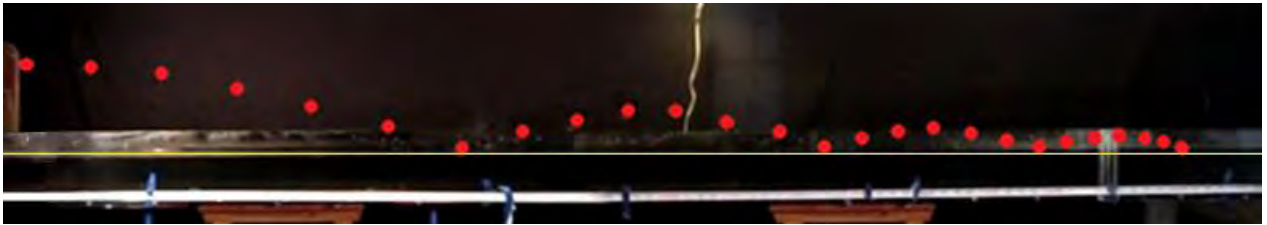


圖 17：水漂軌跡疊圖

(三)從實驗四以高速攝影機拍攝水漂在最佳條件下（即發射角 = 5° ，發射彈力 = 20kgw）第一觸水點的入水情形時，從水漂落水後的近拍水面截圖，發現水面呈「半圓袋狀」(我們取名)，可成功的使水漂彈跳 5 次，其入水角及出水角均符合實驗二的結果「黃金角度」，見圖 18。

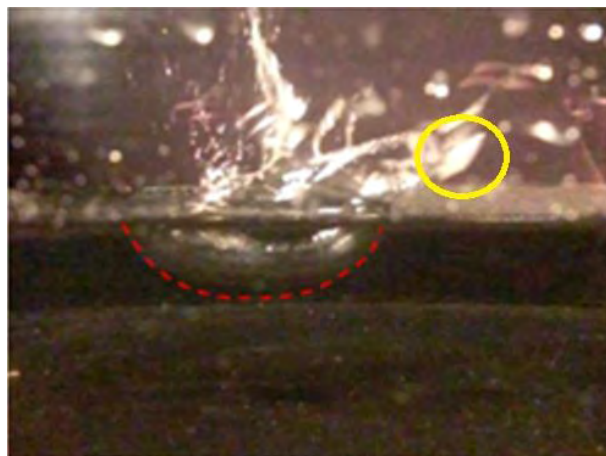


圖 18：水漂落水後的近拍水面截圖，發現水面呈「半圓袋狀」

(四)另外，拍攝水漂其他條件下在第一觸水時近拍水面截圖，歸納發現水面呈「半橢圓袋狀」(我們取名)，雖水漂會繼續彈跳，但次數變少，見圖 19。

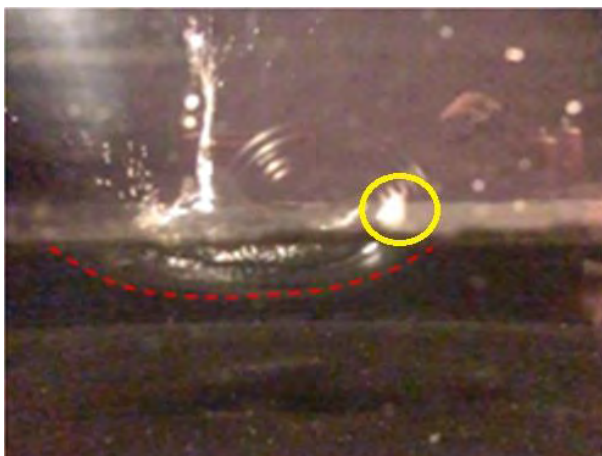


圖 19：水漂落水後的近拍水面截圖，發現水面呈「半橢圓袋狀」

(五)而無法成功使水漂彈跳一次以上的拍攝在第一觸水時近拍水面截圖，發現水面呈「束狀」(我們取名)，見圖 20，分析其入水角度，左圖為小於 10° ，右圖為大於 15° 。

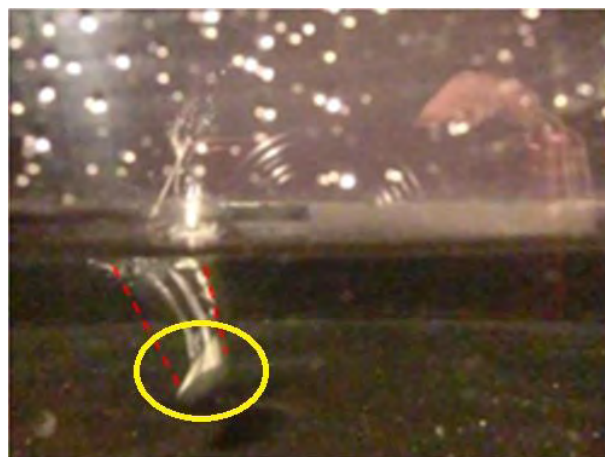
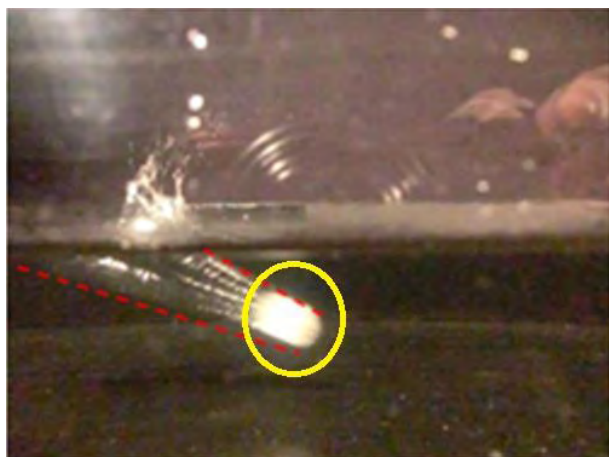


圖 20：無法成功打起水漂，落水後的近拍水面截圖，發現水面呈「束狀」

陸、結論

- 一、從我們的實驗結果中得知，在同一發射角度下，發射彈力越大，則第一次觸水距離越遠；但在同一力道下，發射角越大，則第一次觸水距離**不一定**越遠。發射彈力愈大時，水漂的移動的軌跡弧度便會比較平滑些，入水角度相對的也比較小，反之，發射彈力愈小時，水漂的移動的軌跡弧度非常大，導致入水角度相對的變大，水漂就比較不容易打成功。
- 二、使水漂功彈跳起的**最佳入水角度為 12 度，我們稱之為「黃金角度」**，至於如何造成此最佳入水角，涉及發射彈力與發射角度有關，即**無論發射角為多少度，只要能找出與其配合的力道，使其入水角度與黃金角度相符，便能使水漂成功彈跳，甚至使水漂的彈跳次數增多**。從本實驗的結果得知，在我們的實驗設計下，發射角為 5 度、發射彈力為 20 公斤重，最多彈跳的次數為 5 次，如此便造成黃金角度的產生，**使水漂在第一次觸水後的「最佳出水角為 14 度」，便能使水漂持續的向前地彈跳**。
- 三、我們利用高速攝影機拍攝協助觀察記錄，並學習透過 kwon3D 軟體，將水漂運動路徑找出來之後，進一步分析計算入水角、出水角、相鄰兩觸水點的距離、最高點與水平面高度差等。經由影片軌跡的發現**水漂並不是直線運動，而是有弧度的落水，且水漂多次的彈跳結果發現出水角皆大於入水角，且水漂每彈跳後的兩觸水點間距離會「變小」而高度差也會「變小」**，這應該是水漂在移動與觸水時的能量轉換發生衰減有關。
- 四、我們發現能成功打起水漂的組合中有共同的特點，即**水漂從發射器射出時，水漂並不會在空中翻轉，所以可以成功**。此外，在實驗四以高速攝影機拍攝水漂於最佳條件下第一觸水點的入水情形時，從水漂落水後的近拍水面截圖，發現水面呈「半圓袋狀」（見圖 18），而無法使水漂成功彈跳一次以上的拍攝於第一觸水時近拍水面截圖，發現水面呈「束狀」（見圖 20），分析其入水角度均未符合 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 間，這是我們另一個嶄新的發現。
- 五、經過半年的實驗過程，發現自不量力的我們三人，從一開始的好奇，以這個題目去做研究參加校內科展比賽，也訝異能出線代表學校參加市賽。其實我們花大部分時間在「水漂發射器」的設計與改進，因為我們發現最重要的在這裡，真的謝謝這次實驗的指導老師及與我們一同製作發射器的總務主任。另外真是關關難過，如何記錄入水角度與出水角度，又是一個難題，此時，替我們到台灣師大體育研究所借到高速攝影機的替代役學長，功不可沒，雖然只能借出三個禮拜，但是對我們能完成這次的實驗幫助非常大。

柒、參考資料

- 一、自然與生活科技(第四冊)，第六章，林英智等著，康軒版。
- 二、自然與生活科技(第五冊)，第一章、第二章，林英智等著，康軒版。
- 三、《觀念物理 I》，Paul G. Hewitt 著，常雲惠譯。
- 四、國立科學教育館網站 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2011/pdf/140025.pdf>，水漂的物理現象之研究，蔡卓忻、林昱安、施中右著，2011 年。

【評語】 030104

1. 作品內容能吸引興趣。
2. 設計發射器很重要，如能詳加展示會更佳。
3. 資料收集很多，可以嘗試整理出自訂現象規則會更佳。
4. 對硬幣面入水面的角度影響缺乏探討。