

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081525

疾風飛馳，衝！衝！衝！～探討陸海空「氣壓水箭」的射遠動力之分析研究

學校名稱： 臺北縣永和市永和國民小學

作者：	指導老師：
小五 薛皓薰	劉秋燕、 劉純曲
小五 蕭子桓	
小五 林承泰	
小五 洪子森	
小五 林宗毅	
小五 施邵盈	

關 鍵 詞：反作用力、氣壓水箭

疾風飛馳，衝！衝！衝！

一 探討陸海空「氣壓水箭」射遠動力分析之研究

摘要

本研究利用寶特瓶製作好玩的環保水箭，藉由氣壓水箭的升空飛行實驗，體驗壓力、發射角、裝水量、箭頭配重或加長處理、噴嘴口徑的大小、噴嘴長度的變化、箭體總重量....等對飛行的影響。

從實驗中發現：壓力愈大具有較大的衝天動力，而噴嘴口徑愈大瞬間推力大，可是很快就噴完了，而且此時的空氣阻力也比較大；箭頭若太輕難以抵抗空氣阻力，太重則會提前墜落，所以箭頭重量要輔以裝水量之多寡來調整；裝水量太多會太重而影響飛行，壓力艙內氣體與水的比例約為 3：1 時較佳。

我們設計多款創意水箭，將它應用在陸地與水中，不斷創作與改良，實驗中對空氣阻力、浮力、水壓力、摩擦力有初步概念，是另一層面的收穫。

壹、研究動機

四年級時老師教我們玩空氣槍和水火箭，藉以瞭解空氣可以被壓縮，而水不可以被壓縮的特性，實在非常好玩，四年級下學期學氣球噴氣的反作用力時，勾起再玩水火箭的衝動，在科學研習社上課時，我們總算如願的再玩氣壓水箭，各組為了使水箭有更好的飛行性能，使出渾身解數，不斷的改良與測試，而展開一連串的探究活動，在老師的鼓勵下，家長們也加入了探索活動，展開一段好玩又有趣的實驗過程，並設計應用在水中與陸地上，成為學校內假日的親子水箭遊戲。

★與課程相關單元：自然與生活科技四上課程銜接補充教材第一單元空氣的特性（翰林版）
自然與生活科技四下第三單元奇妙的水（翰林版）

貳、研究目的

- （一）探討氣壓水箭的飛行動力。
- （二）探討增進氣壓水箭推進性能的最佳條件。
- （三）探討空氣阻力、水阻力、浮力與地面摩擦力對水箭之影響。
- （四）探討影響噴水賽車前進的變因。
- （五）設計創意的氣壓水箭。
- （六）探討氣壓水箭應用在水中與陸地上的創新設計。

參、研究設備與器材

表一 實驗器材一覽表

實驗設備	
組裝的發射架	木板（長寬高為 30*20*1cm）、鐵架、螺絲組。
	
實驗材料	
水箭	寶特瓶（600ml、1250ml、1500ml、2000ml）、剪刀、美工刀、電工膠帶、透明片、泡棉板、油土、有孔的橡膠塞（7 號）、專業噴嘴。
噴射車	水箭、CD 光碟片、條狀鋁片、鐵條、螺絲、熱熔膠、有孔橡皮塞、細塑膠吸管、螺絲、5mm 小圓環。
其他	捲尺（50m）、量杯（500ml）、水桶、漏斗、打氣筒、量角器、腳踏車輔助輪、積木輪、木板片、三腳架。

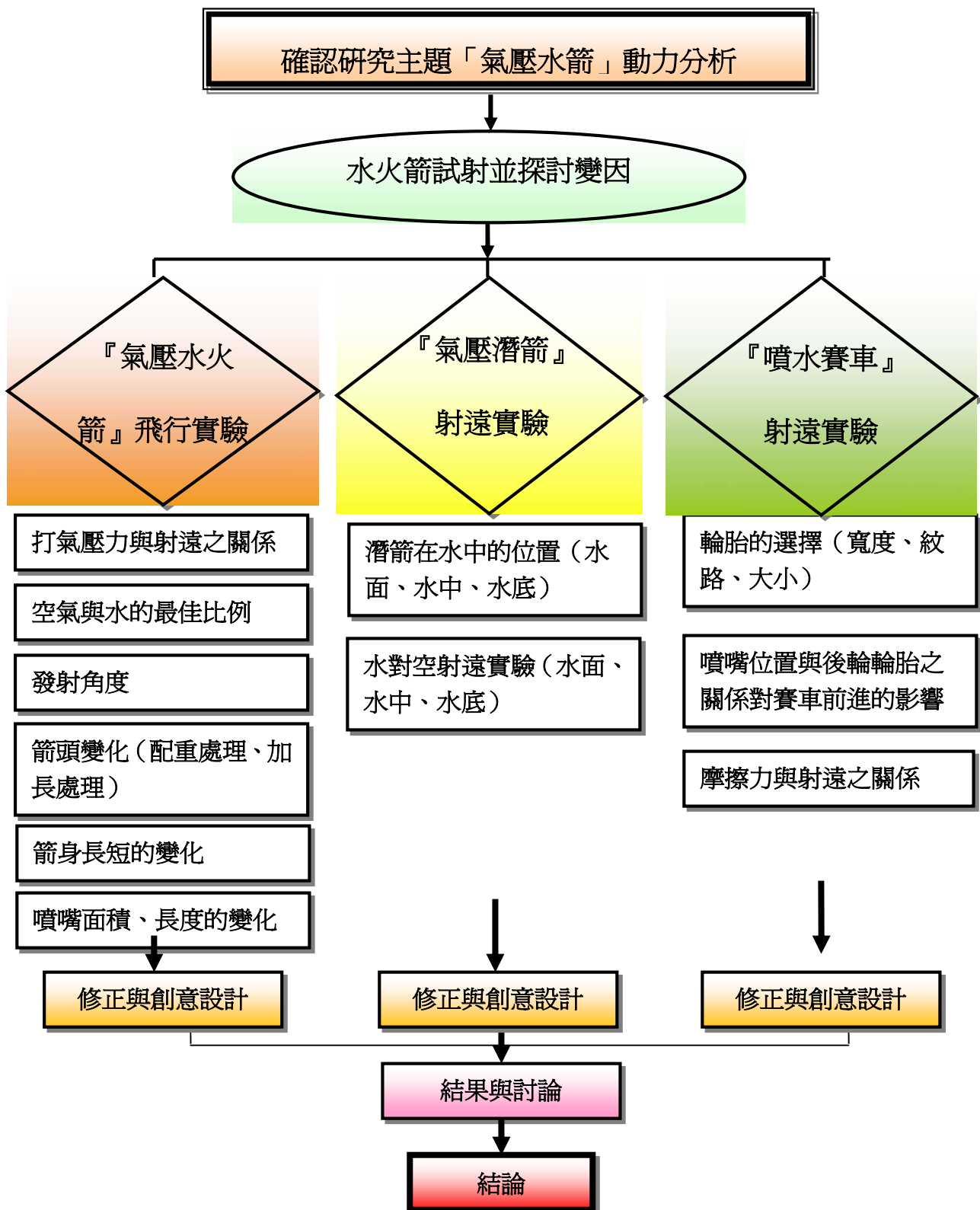
（一）氣壓水箭箭體資料

表二 氣壓水箭實驗的箭體資料表

水箭編號	A	A1	A2	B	C	C1	C2	C3	D	D1	D2	J	J1	J2
特點	—	箭頭 加長	箭頭 加重	—	—	箭頭 加長	箭頭 加重	噴嘴 加長	—	箭頭 加長	箭頭 加重	雙管 型	雙管 箭頭 加重	三管 箭頭 加重
廠牌	可口可樂			黑松汽水										
箭體容量 (ml)	1500			600	1250				2000			2500		3750
箭體 (cm)	32			20	26				25			54		84
箭頭 (cm)	13	25	13	10	12	23	12	12	12	25	12	12	12	12
噴嘴 (cm)	4	4	4	4	4	4	4	18	4	4	4	4	4	4
水箭全長 (cm)	48	60	48	33	41	52	41	55	40	53	40	70	70	100
頭油土配 重 (g)	0	0	50	0	0	0	50	50	0	0	50	0	50	50
噴嘴重 (g)	5	5	5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	5	5
空水箭的 總重量 (g)	120	165	170	80	115	155	165	260	135	175	185	205	255	300
噴嘴面積 (cm)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
箭體內大 徑 (cm)	8.0	8.0	8.0	6.8	8.5	8.5	8.5	8.5	10.5	10.5	10.5	8.5	8.5	8.5

其他創意水箭、水船、噴水車請詳見現場展示

肆、研究過程與方法

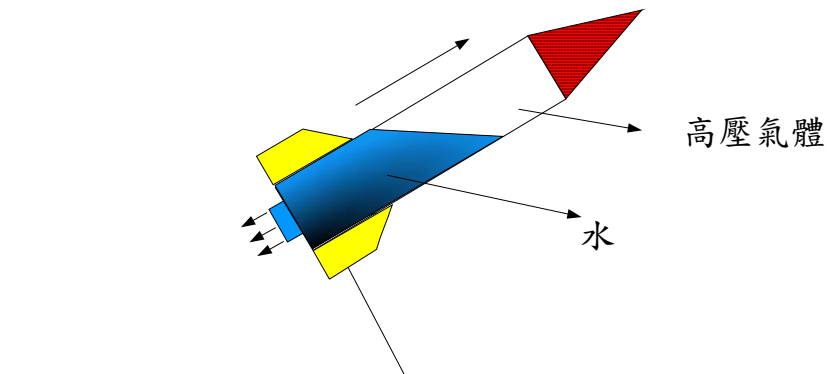


圖一 研究架構圖

活動一、『氣壓水火箭』試飛活動

一、自製簡易型水火箭：詳見展示會場

二、水火箭試飛活動



氣壓水箭斜角發射示意圖

活動二、探討『氣壓水火箭』飛行動力

（一） 研究目的：

爲了使射程更遠，應提高水箭儲存壓力的發射方式，因此瓶口的密封性愈大，打入氣體愈多，壓力愈大，噴水能量即愈大。我們提出以下變因，試圖找出最佳飛行條件，並瞭解水箭推動力。

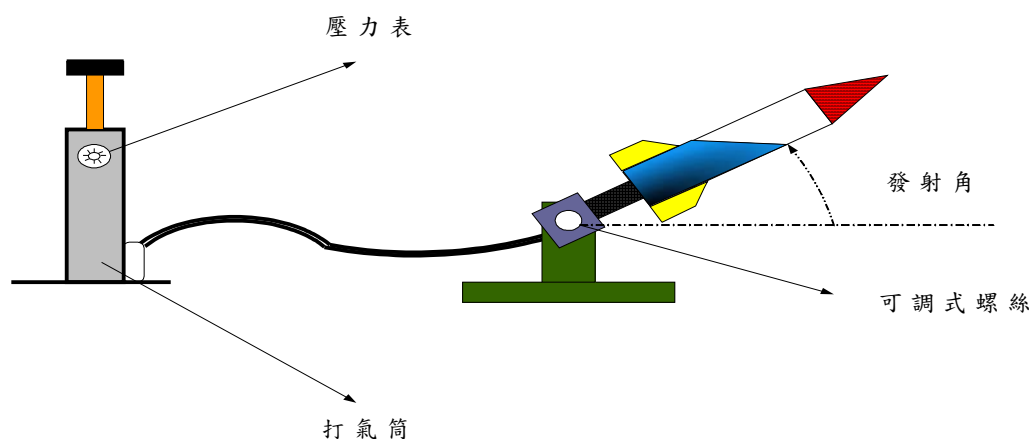
（二） 查閱文獻：氣壓水箭運動原理整理，詳見比賽會場資料本。

（三） 影響水箭飛行的可能變因是什麼？

透過試射的過程中，不斷的嘗試各整規格之水火箭，發現水火箭瓶身的容量、裝入的水量、打氣的壓力、發射角度、風向、噴嘴排放口的大小、尾翼的特性、頭錐的重量、箭身的長度.....等，皆是可能的變因。爲了設計更佳性能的氣壓水箭，提出問題，並設法找出答案。

（四） 氣壓水箭正式實驗階段發射示意圖：

爲了探討水箭最佳飛行狀況，採購專業發射噴嘴，使密合度加強，打氣至固定氣壓時，才發射，如下圖：



(五) 發射步驟

1. 射遠測量：

1. 將加水後的水箭安架在發射器上。
2. 發射區 100 公尺內清場淨空。
3. 依操縱變因調整，並做好其他控制變因。
4. 調整發射角度並打氣至固定的壓力後發射。
5. 測量水箭落點的距離。
6. 反覆做 5 次，紀錄最佳的前三者，求其平均值。

2. 高度估算方法：採用目測仰角度數估測法。

發射地點選在學校操場，後面有高樓，可以利用射高時和大樓作比較，初估大約位置，再以仰角觀測器，測量箭體飛行時之最高點。由五人站再發射點二十公尺遠的位置，先觀察水箭最高點之背景物，再測量最高時之仰角刻度，若有四人皆相同時，表示所測量的角度正確。仰角刻度愈大，代表箭體飛行高度愈高。

活動三、『氣壓潛水艦』射遠實驗

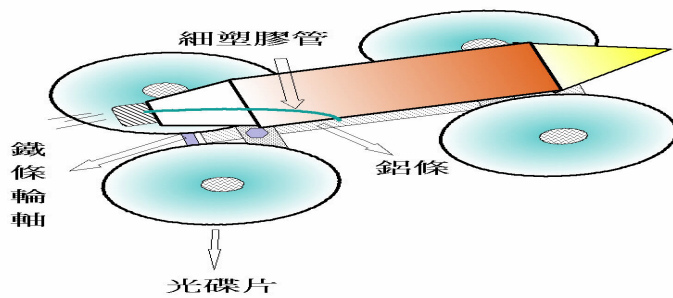
實驗場地與方法：

1. 實驗地點在無人使用時段的校園內游泳池，有家長與救生員陪同。
2. 射遠的距離估算由兩位同學採目視射程達泳池磁磚的格數來估計，一格為 20cm，0.2m 乘以格數即是射遠位移距離（單位為 m）。
3. 將水箭裝水後放入水裡，依設定條件調整後發射，估算射遠距離。

<問題一> 水箭在水中的位置對射遠的影響如何？

<問題二> 水對空射遠實驗，發射角度不同對射遠與射高的影響如何？

活動四、『噴水賽車』射遠實驗



- 1.車底：利用鋁條、巴沙木、墊板……等自由創作。
- 2..車輪與輪軸：可利用任何圓柱形的物品來創作，如光碟片、泡棉、圓柱形保麗龍或玩具車輪子鑽孔來製作，輪軸可利用圓環、吸管、竹筷等。
- 3.車身：利用氣壓水箭加上一條可彎吸管來吸取瓶內的水。

- <問題一> 不同樣式的輪胎的選擇對射遠的影響如何？
<問題二> 噴嘴位置與後輪輪胎之關係對賽車前進的影響如何？
<問題三> 地面摩擦力與射遠之關係如何？

活動五、創意水箭設計

水箭飛行到最高點後,推進力量減弱，受到重力與空氣阻力而自由落下，箭體從高空掉落的損毀情況，可感受其破壞力之大，因此必須加裝減速裝置來降低損毀與危險性，可設計降落傘或加螺旋槳……等，該如何讓氣壓水箭順利開傘或讓螺旋槳旋轉是設計重點。

伍、研究結果

活動一、『氣壓水火箭』試飛活動

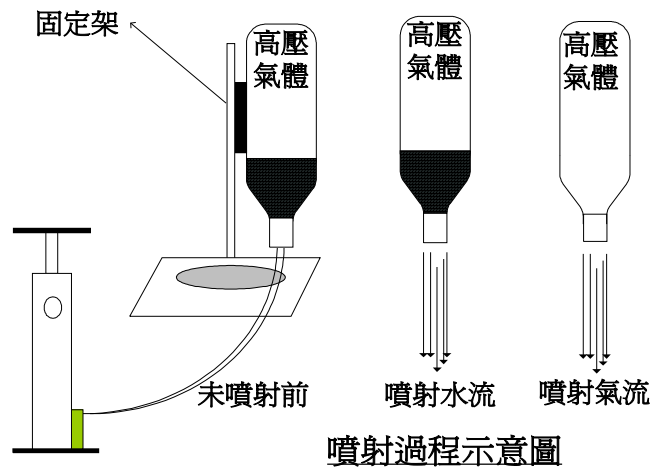
(一) 試飛歷程：

- 1.手持橡皮塞噴嘴發射：一旦水箭內部壓力逐漸增大，最後推開瓶口 橡皮塞，噴水向天空推進飛行
- 2.放置在三腳架試射：比手握橡皮塞省力。
- 3.可調角度發射架試射：爲了增加更大的打氣壓力，決定採購專業噴嘴，將噴嘴旋緊於噴水口，按入發射架中，待一切就緒時，打氣後按壓發射器，水箭隨即噴射而出，發射區域內一定要淨空，以策安全。

(二) 討論與發現：

- 1 .水箭升高是藉由打氣筒將空氣打入瓶中，壓迫水向後排出的反作用力，而產生向前衝的力量。
2. 水箭在空中飛行時，會受到空氣阻力、風向而阻礙前進，加上流線型頭錐並順風發射，射遠成績比較好。
3. 瓶口的塞子愈緊、密封性愈好，可加入較多的氣體，射遠效果也愈佳。

4. 爲了瞭解水箭的噴射反作用力及高壓噴射水流如何流動，我們將水箭固定在架上，打氣後拔掉發射塞子，發現水被高壓氣體排出，產生很大的反作用力用在瓶身上，水噴射完畢後，接著有一股氣流噴出，只是此時可明顯感到力量遠小於噴水時之作用力，可以推知瓶內因爲水的噴出，而重量漸之減少，內部氣體因容積漸增而壓力逐漸降低，但噴射氣流的現象仍然可發現瓶內此時仍高於瓶外的大氣壓力。



製作火箭筒，利用橡皮筋的彈力發射，發現尾翼的平衡功用。四翼比二或三片尾翼更加平穩，於是我們的水箭決定採用四翼型。



去年 05/25 第一次試射自己作的環保水箭，利用有孔的橡皮塞塞住噴水口，塞得越緊射得越遠。



未裝尾翼的水箭或尾翼貼不平均時，會影響飛行而亂鑽。



裝水量太多時，打入的氣體會比較少，因此噴射出去且掉落時，內部仍有很多水未噴完。



90°時易掉落在發射點，很危險，0°時易在地面上滑行。



水箭發射後會形成一道水柱，而飛行路徑成拋物線。

活動二、探討『氣壓水火箭』飛行動力

<問題一> 錶壓（打氣）多寡變化與射遠、射高之關係如何？

表三 壓力變化和射高射遠之關係紀錄表

次 數	錶 壓	射高實驗			射遠實驗		
		2	4	5	2	4	5
一		25°	35°	40°	5	10.8	15.5
二		25°	35°	50°	4.8	14.0	17.5
三		30°	40°	45°	4.2	12.5	16.5
平均觀測之仰角度數		27°	37°	45°	27°	37°	45°
平均位移長度（m）		4.7	12.4	16.5	4.7	12.4	16.5

發現：從實驗紀錄得知，壓力愈大水箭射得愈高，也射得愈遠。



使用編號 A 水箭、傾斜角度 60°、箭體內初始水量 500ml。



採用目測仰角度數估測法，推估高度。



利用打氣筒打氣時，我們最大極限大約可打到 5 kg/cm^2 ，因此只能做到壓力 5 kg/cm^2 。



壓力 5 kg/cm^2 時站在距發射點 20m 所測得的仰角觀測高度平均可達 45° ，估算高度為 20m 。

<問題二>發射傾斜角度與射遠之關係如何？

表四 發射傾斜角度變化其射遠之比較表

(編號 D2 箭身 2000ml)

次 數 \ 傾 斜 角 度	0°	30°	60°	90°
一	64.8	67.4	70.6	10.4
二	61.4	70.3	67.4	8.6
三	68.5	65.3	68.6	4.8
平均位移長度 (m)	64.9	67.7	68.9	7.9

發現： 0° 、 30° 、 60° 發射時水箭射遠距離相差不多，但以發射傾斜角度 60° ，水箭射得稍遠些，所以發射角以 $60^\circ \sim 80^\circ$ 較好。



0° 發射時水箭距離地面相當近，最後會在地面滑行前進。



90° 發射掉落時，太接近發射點，相當危險，而且水平位移距離相當近。

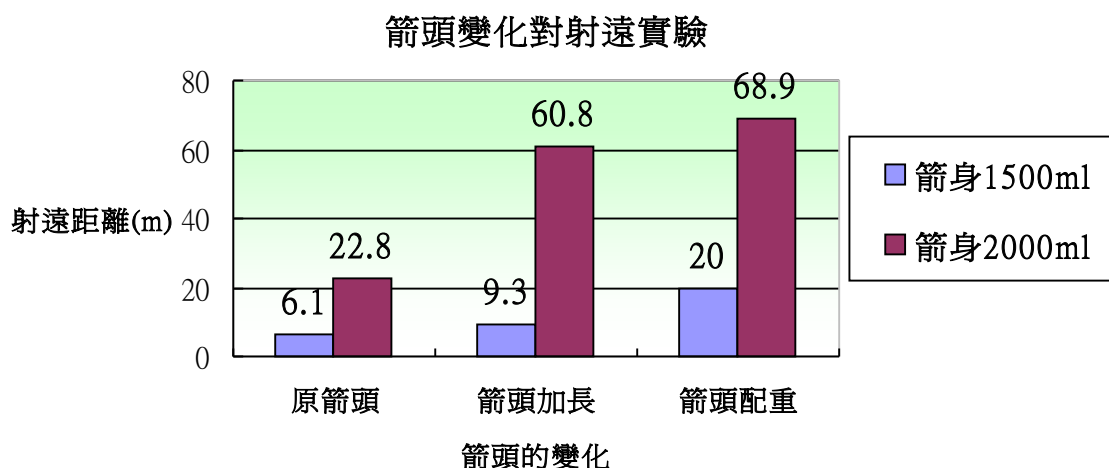


60°發射時水箭飛行的拋物線很漂亮。

<問題三> 箭頭變化與射遠之關係如何？

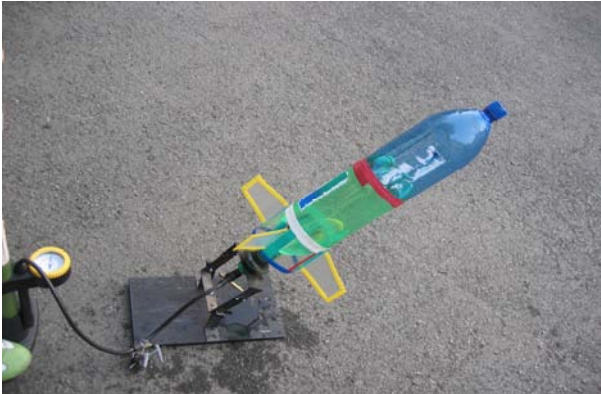
表五 箭頭變化其射遠之比較表

次 數	箭 頭 形 式	箭身 1500ml			箭身 2000ml		
		A (箭頭)	A1 (加長)	A2 (加重)	D (原箭頭)	D1 (箭頭加 長)	D2 (加重)
基本資料		全長 48 cm 總重 120 gw	全長 57 cm 總重 165 gw	全長 48 cm 總重 170 gw	全長 40 cm 總重 135 gw	全長 53 cm 總重 175 gw	全長 40 cm 總重 185 gw
一		6.8	9.2	15.5	25.3	56.1	70.6
二		5.4	9.3	23.8	24.0	63.9	67.4
三		6.2	9.3	20.8	19.2	62.5	68.6
平均位移長度 (m)		6.1	9.3	20.0	22.8	60.8	68.9
發現：箭頭適當的配重處理可以增加飛行距離，而加長處理也同樣可以增加飛行功效，可能是加長處理時，無形中將重心前移，和配重處理有異曲同工之妙。							
註：1.配重處理：箭頭配重 50 克 。 2.加長處理：箭頭加長但不加油土。							



討論結果：

1. 當水量保持一定時，將箭頭加長有助飛行，可是若太長則太重，也會影響飛行，氣壓水箭的重量太重則難以飛行，若太輕則難以抵抗空氣阻力。
2. 天氣因素對水箭發射也具有影響力，下著小雨且風力很大，實驗結果飛行狀況並不好。

	
箭頭加長處理（2000ml）	如果箭頭太長，我們試著減少箭頭處的油土配重處理，結果可提升飛行距離喔！

<問題四>發射傾斜角度 60°、打氣壓力 4 kg/c m² 時，最佳的箭頭配重是多少呢？

表六 箭頭配重處理其射遠之比較表-1

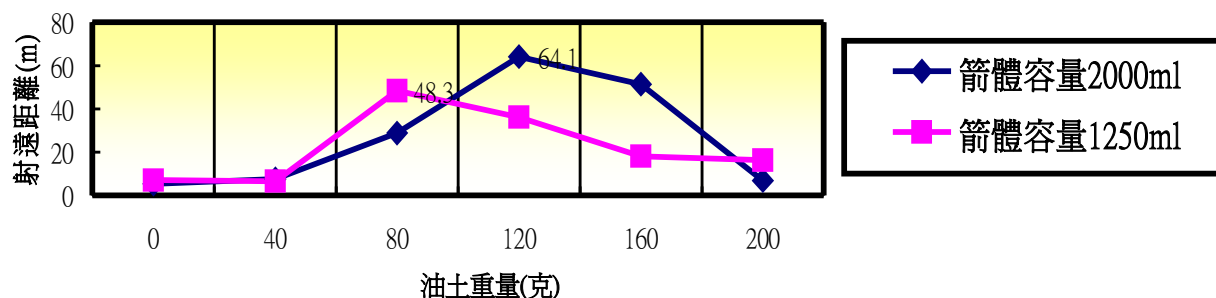
次 數	箭 頭 配 重	箭身 2000ml						箭身 1250ml					
		0 克	40	80	120	160	200	0 克	40	80	120	160	200
一		5.0	8.0	21.2	57.0	60.2	7.3	7.0	7.9	54.4	46.5	14.5	17.0
二		5.9	7.5	23.2	79.0	50.0	6.2	6.0	5.3	43.4	37.8	17.5	20.7
三		5.2	6.9	41.9	56.2	43.8	7.2	8.4	6.4	47.2	24.1	22.0	11.2
平均位移長度 (m)		5.4	7.5	28.8	64.1	51.3	6.9	7.1	6.5	48.3	36.1	18.0	16.3
發現： 裝水後箭體後段加重，適當的箭頭配重有其必要性，可讓重心前移。箭頭若太輕則難以抵抗空氣阻力。													
註：發射傾斜角度 60°、打氣壓力 4 kg/c m ² 、初始裝水量 500ml													

表七 箭頭配重處理其射遠之比較表-2 （箭身 600ml）

次 數	箭 頭 配 重	0 克	20	40	60	80	100
一		3.4	8.5	9.1	28.1	22.4	18.6
二		4.2	10.1	10.5	32.7	14.6	20.0
三		4.8	8.3	8.9	25.6	15.6	17.8
平均位移長度 (m)		4.1	9.0	9.5	28.8	17.5	18.8
發現： 箭頭的重量和初始的裝水量具有相關性，在實驗前的試射中發現當裝水量固定時，適當的箭頭配重才有助於飛行，頭太重和太輕皆會影響飛行距離。							

註：發射傾斜角度 60° 、打氣壓力 4 kg/cm^2 、初始裝水量 150ml

箭頭配重實驗



實驗中箭身容量 2000ml 的最佳配重是 120 克，箭身 1250ml 的最佳配重是 80 克，箭身 600ml 的最佳配重是 60 克。

<問題五> 找出最佳的裝水量

表八 裝水量多寡變化和射遠之關係紀錄表

編號 C 水箭 (1250ml)

次 數 \ 水 量	0ml	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
一	14.1	16.9	17.4	16.3	10.7	5.6	5.2	6.0	4.6	3.2	3.7
二	11.9	12.9	16.1	16.8	7.1	8.1	5.5	4.8	3.6	3.0	3.5
三	12.3	20.1	14.0	18.1	9.8	6.3	5.7	5.4	3.7	4.4	2.9
平均位移長度 (m)	12.8	16.6	15.8	17.1	9.2	6.7	5.5	5.4	4.0	3.5	3.4

發現：從實驗的紀錄發現，打氣 4 kg/cm^2 時，初始裝水量約佔水箭內容量的 $1/4$ 時最佳，即氣體與水的比例約為 3：1，換句話說裝水量約為壓力艙總容量的 $1/4$ 。

註：傾斜角度 60° 、打氣 4 kg/cm^2 、爲了減少誤差所以箭頭不作配重處理

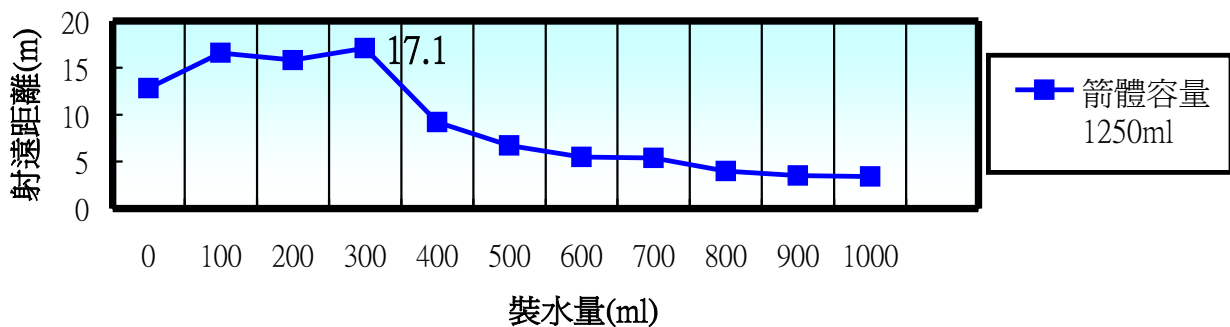
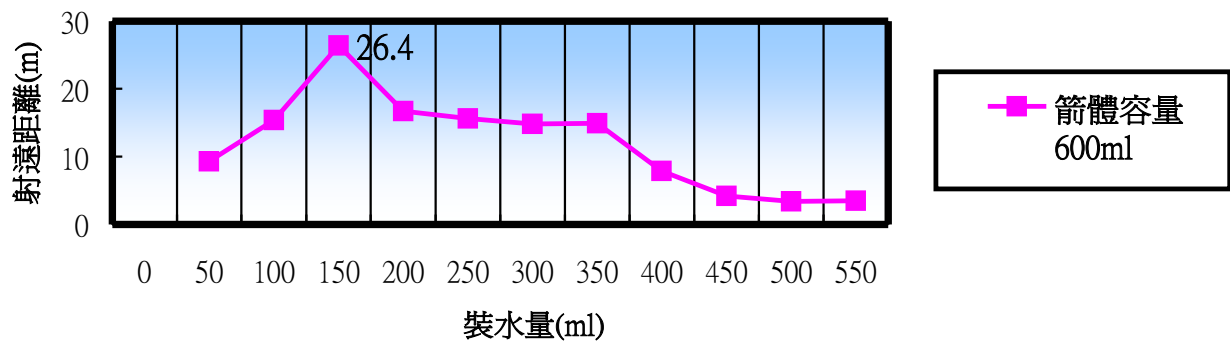
表九 裝水量多寡變化和射遠之關係紀錄表

編號 B 水箭 (600ml)

次 數 \ 水 量	50 ml	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
一	9.9	15.2	27.5	16.0	15.2	15.3	13.6	7.0	5.1	4.3	4.3	—
二	9.5	16.2	29.8	17.0	17.6	16.2	15.1	9.8	3.9	3.2	3.7	—
三	8.6	14.8	22.0	17.0	14.3	12.8	16.1	7.0	3.6	2.8	2.4	—
平均位移長度 (m)	9.3	15.4	26.4	16.7	15.6	14.8	14.9	7.9	4.2	3.4	3.5	—

註：傾斜角度 60°、打氣 4 kg/cm²、箭頭不作配重處理

最佳裝水量實驗



討論：

如果水量超過所打入之氣壓所能噴出的水量，則水就會噴不完，而且裝水太多反而影響飛行，因此最佳的初始的裝水量與打入氣壓值呈正比。



使用編號 C 水箭（1250ml）箭頭不加重的情況下，裝水量大約是 300ml 比較好，之後裝水越多，飛行越不理想，應是重量太重使然，而且落下的箭體內常有未噴完的水。使用編號 B 水箭（600ml）裝水量大約是 150ml 比較好。

<問題六> 箭身長短變化與射遠之關係？

表十 箭身長長度變化其射遠紀錄表（單管箭身 1250ml）

次 數 箭身形式	編號 C2（單管）	編號 J1（雙管）	編號 J1（雙管）	編號 J2（三管）
基本資料	全長 41 cm 重 115 gw	全長 70 cm 重 255 gw	全長 70 cm 重 255 gw	全長 100 cm 重 300 gw
初始裝水量	500ml	500ml	800ml	500ml
一	40.8	66.7	29.4	68.2
二	64.3	70.8	50.2	72.9
三	58.6	69.4	43.9	60.7
平均位移長度（m）	54.6	68.9	41.2	67.3

發現：加長型的水箭主要是由多個寶特瓶連接而成，目的是為了增加容量，用意是增加所攜帶的水量以及提高氣體的容量以增加箭體所攜帶的能量。但裝水太多，重量大，也會影響飛行。

註：傾斜角度 60 度，打氣壓力 4 kg/cm²，箭頭配重 50g

表十一 箭身長長度變化其射遠紀錄表（單管箭身 600ml）

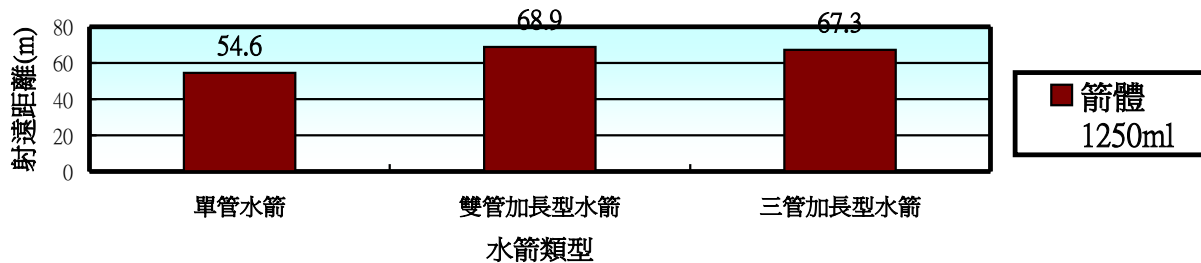
次 數 箭身形式	編號 B2（單管）	編號 B3（雙管）
基本資料	全長 33 cm 重 130 gw	全長 58 cm 重 190 gw
初始裝水量	300ml	300ml
一	25.8	44.7
二	28.0	51.9
三	32.2	50.5
平均位移長度（m）	28.7	49.0

發現：黏接處強度不夠時，因此抗壓情況差，常有漏氣或爆裂的情形，試射時無法灌到壓

力 4 kg/cm^2 ，因此尋找較佳的結合器具，在機械五金行找到中空螺絲，爲了防止漏氣還加上橡皮套圈。

註：傾斜角度 60° ，打氣壓力 4 kg/cm^2 ，箭頭配重 50g

多管加長型水箭射遠實驗



編號 J2（三管）全長 100 cm ，重 300 gw

加長型單管 1250ml 的雙管的水箭，裝水量 500ml 比 800ml 佳，可能中空管口徑小，氣體流動時比較不順暢是原因之一。加長型水箭的飛行是非常穩定的拋物線。

<問題七> 噴嘴面積與射遠之關係？

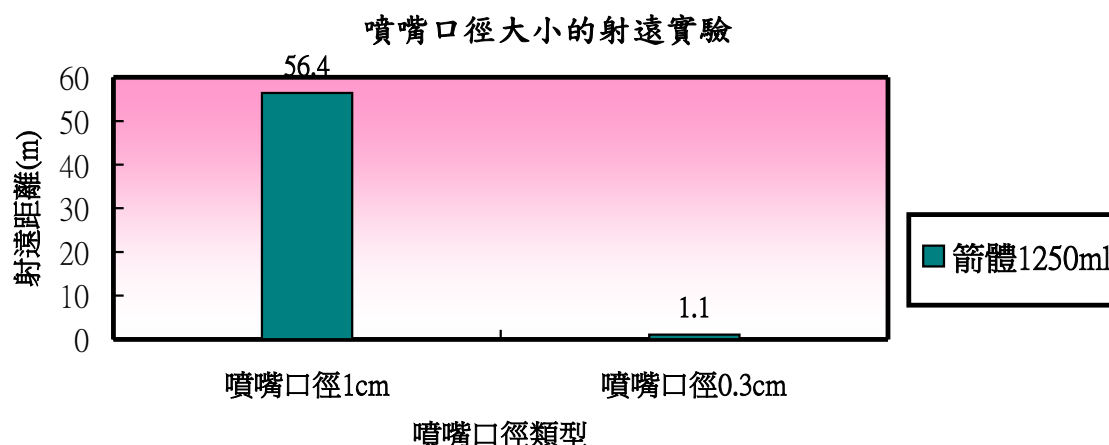
表十二 出口處噴嘴面積變化其射遠之比較表

次 數	噴 嘴 面 積	大（ 3.8 平方公分 ）	小（ 0.5 平方公分 ）
一		57.6	1.1
二		65.7	1.1
三		45.8	1.0
平均位移長度（m）		56.4	1.1

發現：

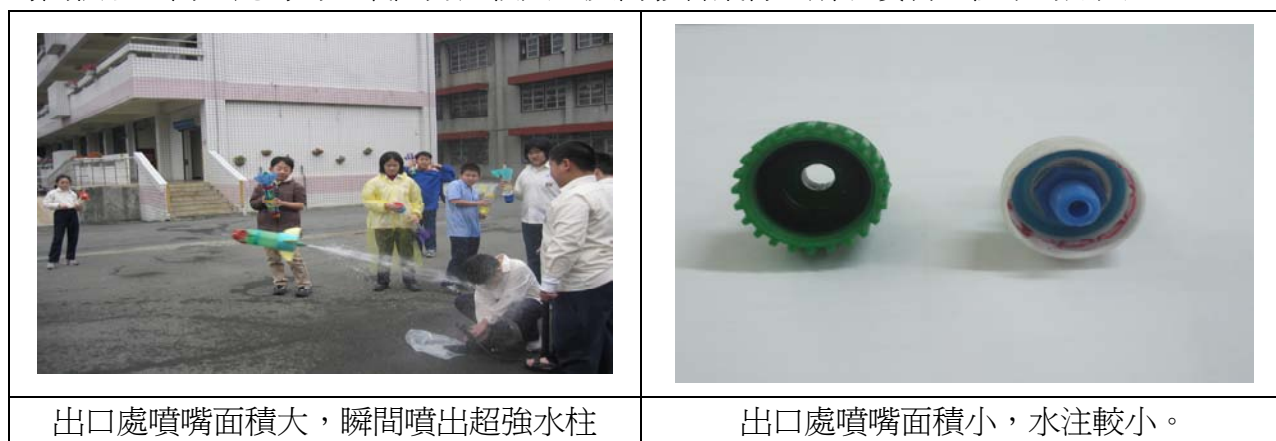
噴嘴面積太小時，水柱小而推力差，無法向上衝出去，掉落時也常有水未噴完。

註：初始裝水量 500ml 、傾斜角度 60° 、打氣壓力 4 kg/cm^2 、箭頭配重 50 克 、使用編號 A1500ml 水箭。



討論結果：

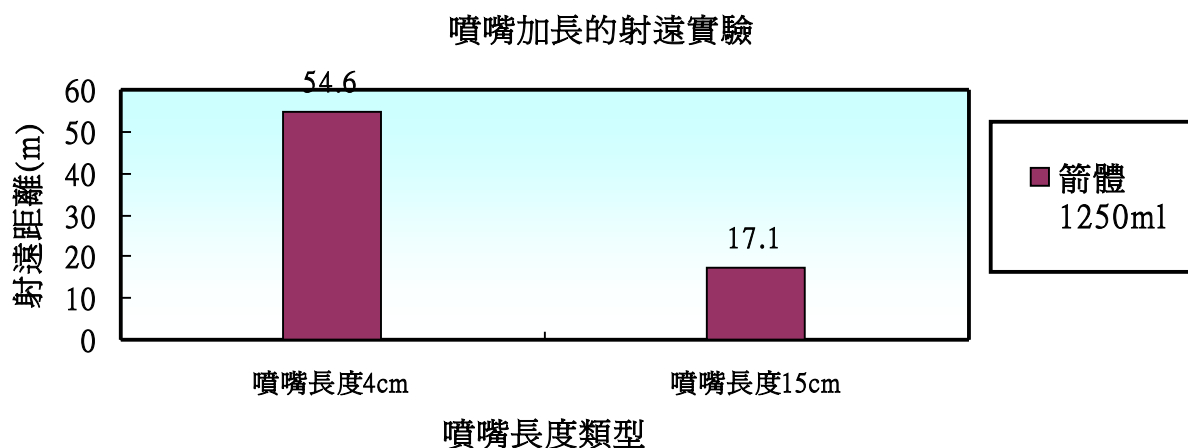
我們也曾利用有孔橡皮塞塞住噴水口打氣，水箭飛出時因為噴嘴面積變大，瞬間噴出超強水柱，動力充足，但是如果噴嘴太大時，雖然動力充足，可是水很快就噴完了，推力作用時間很短，而且此時的空氣阻力比較大，反而影響飛行，所以噴嘴口徑不可太大。



<問題八> 噴嘴長度加長與射遠之關係？

表十三 噴嘴長度變化其射遠之比較表 (箭身編號 A2 1250ml)

噴 嘴 長 度	4 cm	15 cm
次 數		
基本條件	全長 41 cm 總重量 165 gw	全長 56 cm 總重量 260 gw
一	40.8	19.4
二	64.3	14.1
三	58.6	17.7
平均位移長度 (m)	54.6	17.1
發現：噴嘴加長使水箭總長度增加，但卻比雙管加長型水箭輕些，而且在實驗過程發現此種水箭是屬於低拋物線的曲線，斜斜墜落地面。		
註：初始裝水量 500ml、傾斜角度 60°、打氣壓力 4 kg/cm ² 、箭頭配重 50 克		



在特定的條件下，我們使用塑膠硬水管製作，但噴嘴加長型的水箭重量增加，影響飛行，應設法選用時地較輕的材質來延長噴水口，而且噴嘴處必須緊密且能承受較大的壓力，否則打氣時常會有漏氣或爆破的情形，我們的經驗是用硬塑膠管時用火稍微軟化塑膠水管趁機緊扣住寶特瓶瓶口，內加水管防漏膠帶，並用鐵絲纏繞使噴嘴管與箭體噴口的螺旋紋緊密結合。

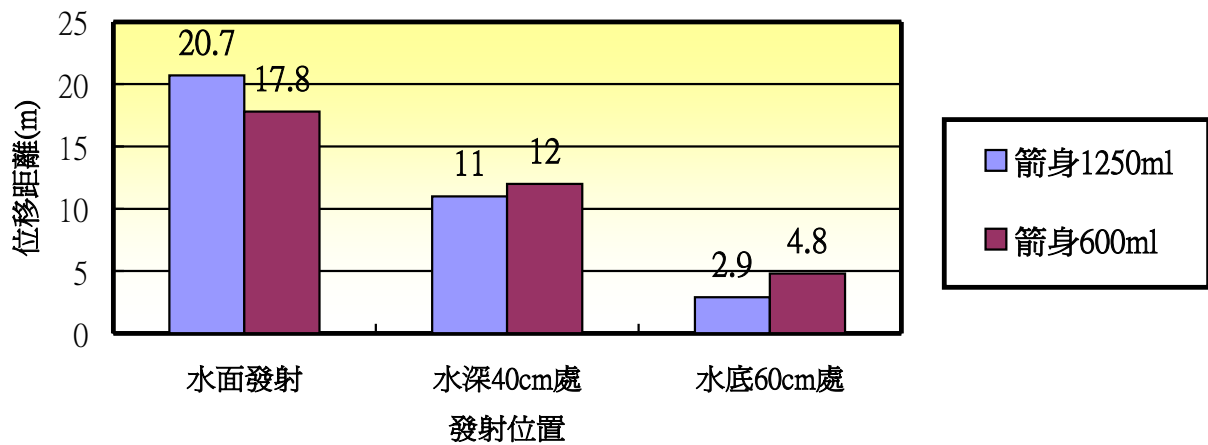
活動三、『氣壓潛水艦』射遠實驗

<問題一> 水箭在水中的位置對射遠的影響如何？

表十四 水箭在水中的位置對水平射遠之比較表

次 數	發 射 位 置	箭身 1250ml			箭身 600ml		
		水面發射	水深 40cm 處	水底 60cm 處	水面發射	水深 40cm 處	水底 60cm 處
箭身條件		箭頭配重 80gw、 初始裝水量 300ml			箭頭配重 60gw、 初始裝水量 150ml		
一		20.4	10.6	2.8	20.0	11.2	4.0
二		16.8	9.6	3.2	16.0	14.6	4.8
三		*25.0	12.8	2.8	17.6	10.4	5.6
平均位移長度 (m)		20.7	11.0	2.9	17.8	12.0	4.8
發現：水面發射時水箭常會在水面上跳動，而水中的發射情形發射點愈深射遠愈差，足見水壓與浮力影響了水箭的射遠。							
註.「*」表示射出 25 公尺的泳池。							

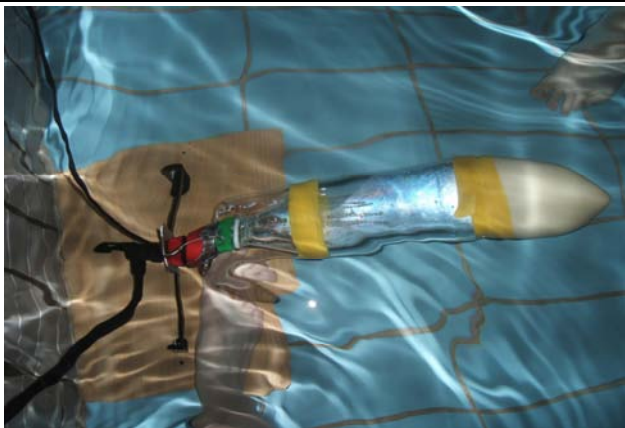
水箭在水中發射之比較圖



1250ml 水箭在水深 40cm 處水平發射情景。



不讓打氣筒浸水，必須打完氣再放入水中。



水中的發射點愈深時，水箭噴嘴固定在發射架上時，箭頭向上浮的情形愈嚴重，浮力相當大，爲了操作的安全性，僅做到水深 60 公分。

<問題二> 水對空射遠實驗，發射角度不同對射遠與射高的影響如何？

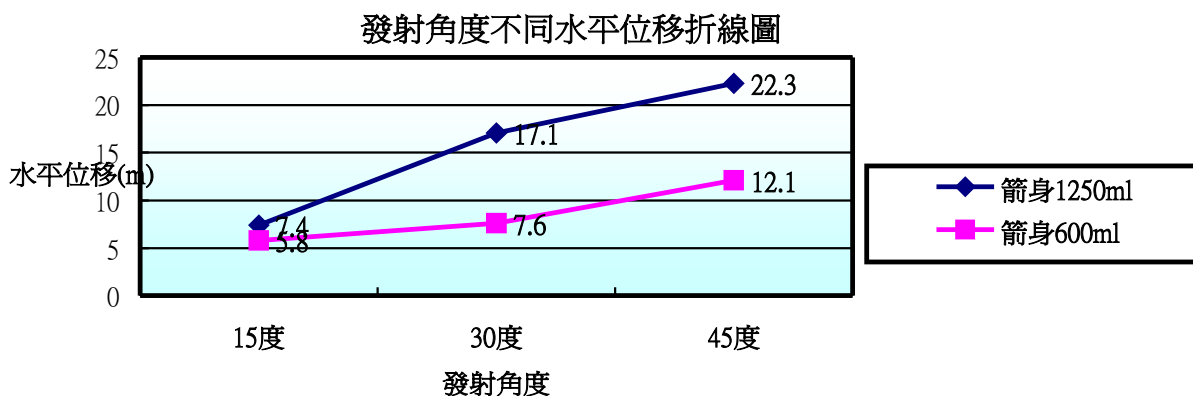
表十五 發射角度水平位移射遠比較表

發射角度 次數	箭身 1250ml			箭身 600ml		
	15 度	30 度	45 度	15 度	30 度	45 度
箭身條件	箭頭配重 80gw、 初始裝水量 300ml			箭頭配重 60gw、 初始裝水量 150ml		
一	5.6	16.8 *	20.8 *	5.6	7.6	12.0 *
二	8.0	14.0 *	22.8 *	6.0	8.8	12.8 *
三	8.6	20.6 *	23.4 *	5.8	6.6	11.6 *
平均位移長度 (m)	7.4	17.1	22.3	5.8	7.6	12.1

發現：

從紀錄表上發現 600ml 與 1250ml 的水箭，都是發射角度 45 時，其水平位移的距離較遠。

註：在水深 60cm 處對空發射，「 * 」表示有射出水面



討論結果：

1. 由於水箭從水底射出水面，而空氣阻力比水的阻力小的緣故，因此水箭在水中移動的長度比較小，而射出水面後射遠距離比較遠，因此 45 度優於 30 度與 15 度。
2. 水箭在水中時因阻力大而抵銷向前衝的推力，最後因水的浮力而浮出水面。





調整角度為 30 度。



發射角度 60 度時，水箭射出水面並撞擊到游泳池的屋頂而用力的掉落水面，爲了怕撞壞屋頂的電燈，因此無法做 60 度的實驗測量。

活動四、『噴水賽車』射遠實驗

<問題一> 不同樣式的輪胎的選擇對射遠的影響如何？

(一) 車輪寬度變化

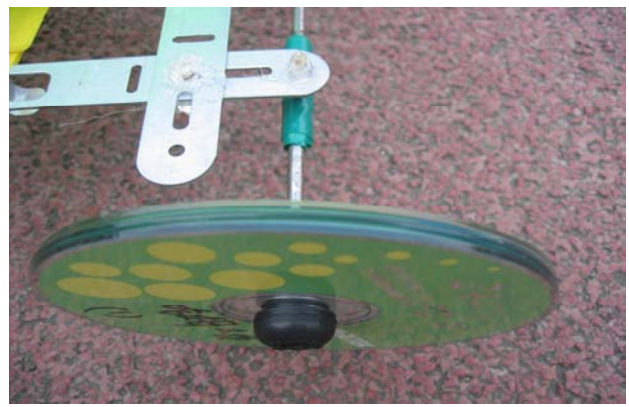
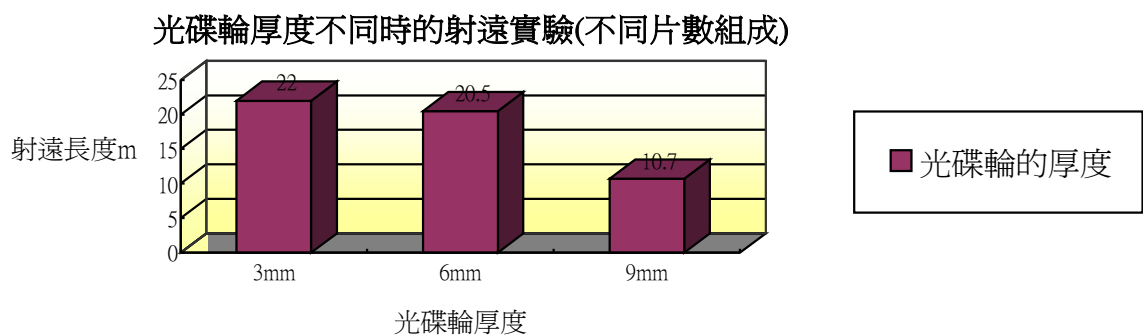
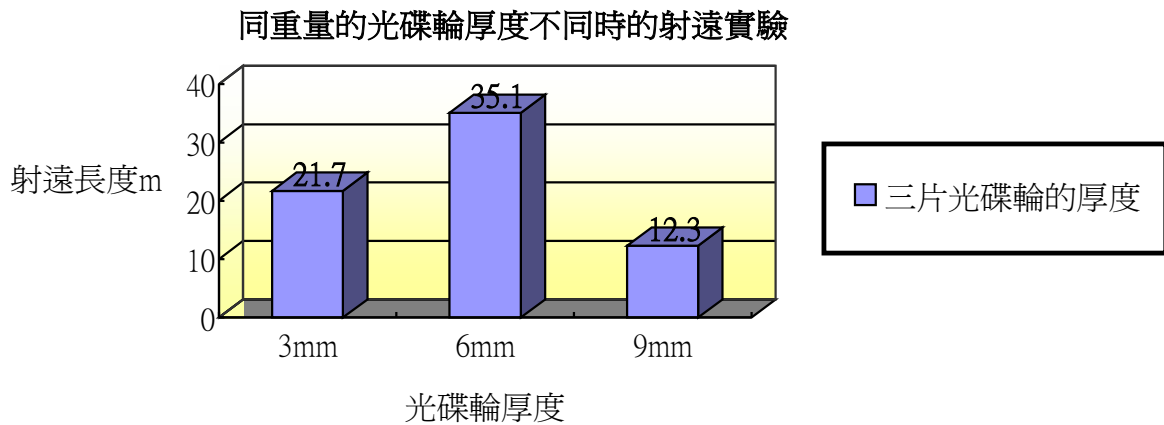
表十六 車輪寬度的射遠紀錄表

次 數 \ 車 輪 寬 度	三片光碟輪			光碟輪		
	3mm	6mm	9mm	三片 (3mm)	六片 (6mm)	九片 (9mm)
車底與輪重量(克)	540	545	550	540	730	920
一	20.9	35.4	11.3	20.9	21.4	11.4
二	19.8	34.3	12.9	19.8	20.3	10.7
三	24.5	35.6	12.4	24.5	20.0	10.1
平均距離(m)	21.7	35.1	12.3	22.0	20.5	10.7

發現：

1. 由實驗結果顯示三片光碟所製成 6mm 厚的輪子跑最遠，但如果是加厚至 9mm 反而不佳。
2. 三片光碟輪比六片、九片要好得多，可能是因爲輪子加寬，其摩擦力增加，妨礙車輪轉動，而重量增大也減緩向前的衝力。

註：箭身 1500ml、初始裝水量 500ml、噴嘴口在後輪處、場地爲 PU 跑道、壓力 4 kg/cm²、車底寬 16cm。



利用三片光碟片，每片中間貼上泡棉膠以增加厚度，做出尺寸為 6mm 厚的車輪和 9mm 的車輪。車身重量並沒有重大的差異。

(二) 紋路變化

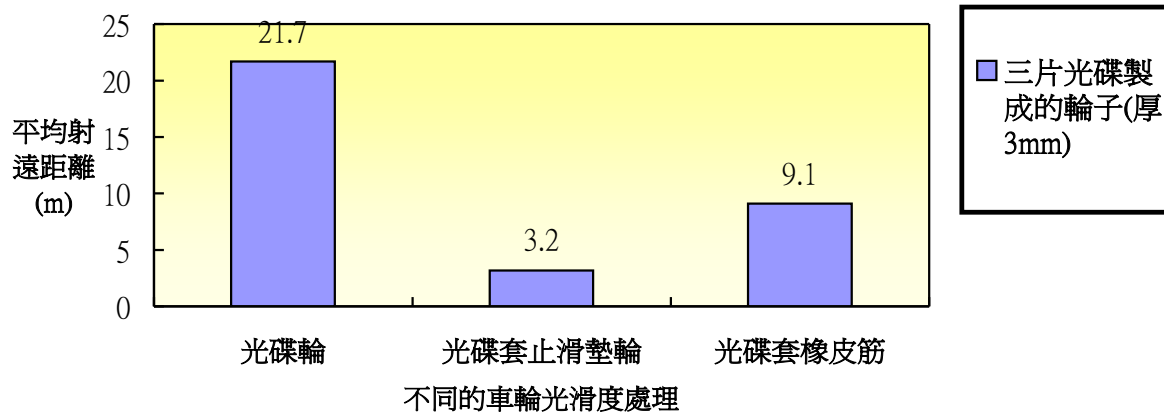
表十七 車輪光滑的射遠紀錄表

次 數	車輪光滑度	三片光碟輪	三片光碟輪 套上止滑墊	三片光碟輪 套上橡皮筋
一		20.9	2.6	7.7
二		19.8	3.8	10.2
三		24.5	3.3	9.4
平均距離		21.7	3.2	9.1

發現：加上止滑墊和橡皮筋的輪子可能是摩擦力增大，所以表現並不如原先的光碟輪。我們發現紙滑墊預水會潮濕，濕掉的輪子表現不佳。

註：箭身 1500ml、初始裝水量 500ml、噴嘴口在後輪處、場地為 PU 跑道、壓力 4 kg/c m²、車底寬 16cm。

不同車輪光滑度射遠實驗



(三) 大小變化

表十八 車輪大小的射遠紀錄表

次數 \ 車輪大小	場地為 PU 跑道		場地為磨石子地板	
	大光碟輪 (三片)	小光碟輪 (三片)	大光碟輪 (三片)	小光碟輪 (三片)
車身重量 (gw)	460	355	460	355
一	12.5	4.1	11.8	4.9
二	12.2	2.8	11.8	5.2
三	11.9	3.0	13.0	4.7
平均距離 (m)	12.2	3.3	12.2	4.9

發現：大光碟輪在 PU 跑道和磨石子地面皆比小光碟好，雖然大光碟比較重，但軸轉一圈的滾動距離比小光碟多很多，所以比較遠。

註：箭身 2000ml、初始裝水量 500ml、噴嘴口在後輪處、壓力 4 kg/c m²、車 底寬 21cm。

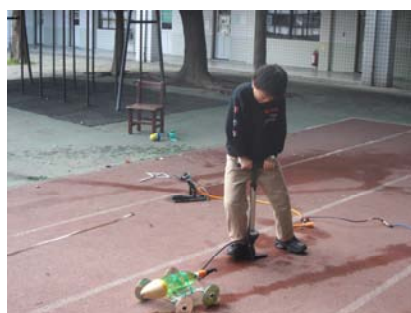


小光碟在比較光滑的磨石子地板比 PU 跑道佳。大光碟在 PU 跑道和磨石子地並未有明顯的差異。

(四) 不同類型車輪

表十九 不同類型車輪的射遠紀錄表

車輪類型 次數	光碟輪（三片）	腳踏車輔助輪	積木齒輪（大）	積木齒輪（小）
車身重量（gw）	460	590	520	495
一	12.5	1.1	0.5	0.4
二	12.2	1.4	0.3	0.5
三	11.9	1.5	0.2	0.3
平均距離（m）	12.2	1.3	0.3	0.4
發現：不同類型、材質的輪子，會有不同的射遠表現，腳踏車輔助輪比較重，而且橡膠的摩擦力比光碟大，在整體的表現上以光碟輪比較好。輪的形狀以圓形優於齒輪型。				
註：箭身 2000ml、初始裝水量 500ml、噴嘴口在後輪處、場地為 PU 跑道、壓力 4 kg/cm ² 、車底寬 21cm。				



光碟輪（三片）

腳踏車輔助輪

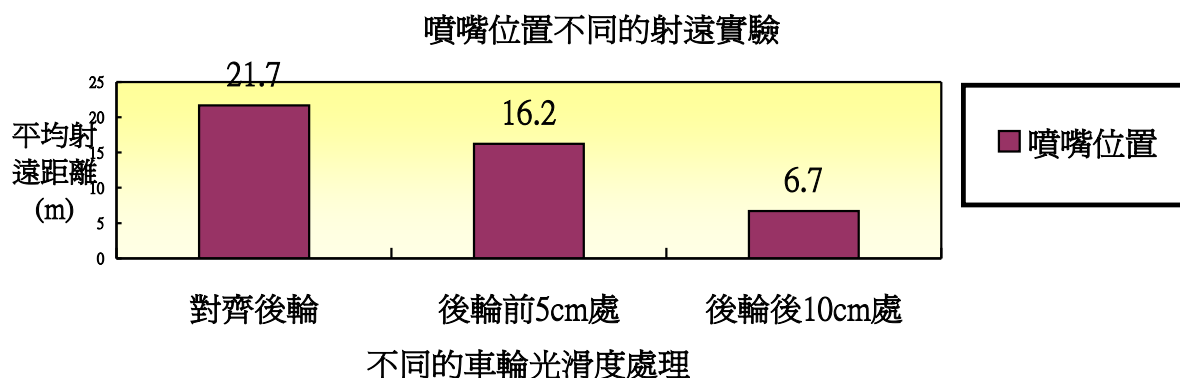
積木齒輪

<問題二> 噴嘴位置與後輪輪胎之關係對賽車前進的影響如何？

表二十 噴嘴位置與後輪輪胎之關係對賽車前進之觀察紀錄表

噴嘴位置 次數	對齊後輪處	在後輪前 5cm	在後輪後 10cm
一	20.9	16.5	6.5
二	19.8	16.4	6.7
三	24.5	15.6	6.9

平均距離	21.7	16.2	6.7
發現：噴嘴位置在後輪處，車子前進表現比較好。			
註：箭身 1500ml、初始裝水量 500ml、噴嘴口在後輪處、壓力 4 kg/c m ² 、車底寬 16cm、三片光碟輪寬 3mm。			



討論結果：

1. 討論後認為噴嘴在後輪後面時，當水噴出時會產生一股向下的力量，而噴嘴如果在後輪處，下壓的力量會被後輪吸收，所以前進時會比較穩。
2. 噴嘴在後輪前方時，表現不佳，距離最短的原因之一可能是車底長度不夠長，水箭無法平穩的放在車底床上，造成車身前方太重無法跑遠。討論結果下回設計創意車時應將車底床的長度加長，才能將水箭平穩放在車底床上。

噴嘴在後輪後方時，方向常不易控制。	噴嘴在後輪前方時，表現不佳，距離最短。	噴嘴位置在後輪處，車子前進表現比較好

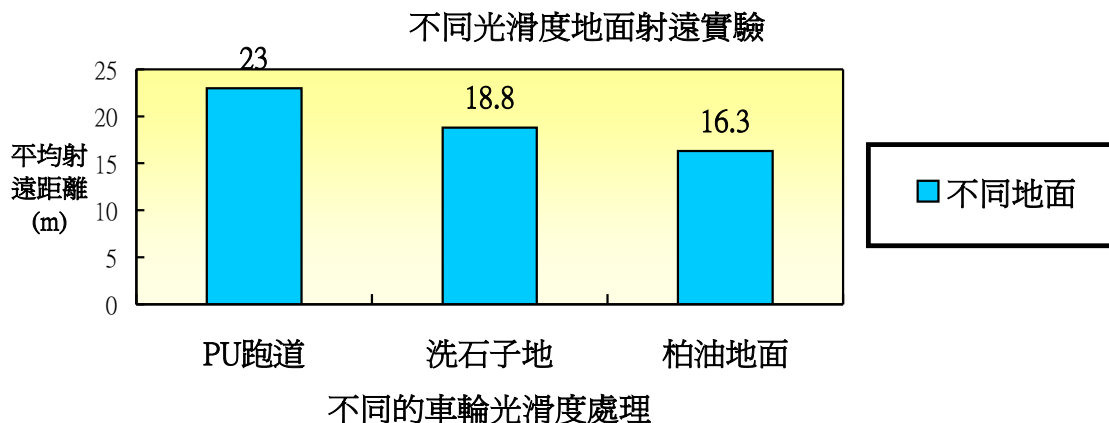
<問題三> 地面摩擦力與射遠之關係如何？

表二十一 不同地面的射遠紀錄表

次 數 \ 地 面 種 類	PU 跑道	洗石子走廊地面	柏油路面
一	20.9	17.9	15.5
二	19.8	20.6	16.8
三	28.5	18.1	16.6
平均距離 (m)	23.0	18.8	16.3
發現：噴水車在不同的地面上，其前進會受到輪子與地面上摩擦力的影響。以光碟輪之轉			

動情形來看，實驗結果以 PU 跑道為佳。

註：箭身 1500ml、初始裝水量 500ml、噴嘴口在後輪處、壓力 4 kg/cm^2 、車底寬 16cm、三片光碟輪寬 3mm。



討論：

1. 柏油地面可能太粗糙，而磨石子地面又太光滑，皆會影響車子的前進。
2. 討論結果認為車子要前進的重要關鍵是水噴出所產生的動力要能克服摩擦力，如果地面太粗糙，必須要有更大的推力才能突破靜止狀態。但摩擦力太小無法吸地滾動，也會影響前進成績。

活動五、創意設計

(一) 創意氣壓水箭設計：



流線型噴嘴加長型氣壓水箭

雖然美觀，但是噴嘴長度的重量不可以太重以免影響飛行。



砲彈型頭錐重力開傘氣壓水箭

利用箭頭配重，使向下掉時因頭錐重力的緣故而使傘室打開，放出降落傘，但有時會卡住而無法釋放降落傘，不過網球具有彈力，水箭不易摔壞



加長型開傘氣壓水箭

利用中空螺絲結合兩個寶特瓶，可攜帶較多的水量升空，若成功開傘則不易摔壞，但中空螺絲孔洞才 10mm，口徑太小，阻礙氣體的流動。



三管齊發氣壓水箭

發射時必須準備三個打氣裝置，且發射時不易完全同時發射，箭身重，因此效果較差。



發條機降落傘氣壓水箭

優點是水箭不易摔壞，且成功機率很高。缺點是發條機釋放開傘的時機可能不是最高點，在預估時間方面，尚無法完全掌握水箭飛行在最高點開傘，而且如果風太大時，易被吹走。



自動顛峰開傘彈力球氣壓水箭

傘蓋中間的彈簧在水箭飛行至最高點時，會有一瞬間的無重狀態，因此彈簧會彈開傘蓋，降落傘即被彈出而開傘。彈力球可避免箭頭摔壞。

(二) 創意水中潛水箭設計：製作方法與設計構想請詳見會場檔案資料夾



噴射快樂魚



隱形衝浪水雷

利用泡棉墊子的浮力使水箭在水面噴射。



衝鋒快艇

水箭快速在水面上飛馳。

水箭在水面下方噴射前進。



胖豬號

10 公升礦泉水空瓶可控制水箭吃水的深度。



藍魚沉浮號

左右的兩條小魚增加了他的平穩度。



飛馳貨輪艇

平穩的向前飛馳。

游泳池實地操作照片如下：





(三) 創意陸地噴水賽車設計：



花花坦克噴水車

噴水的水柱很強。



噴射號

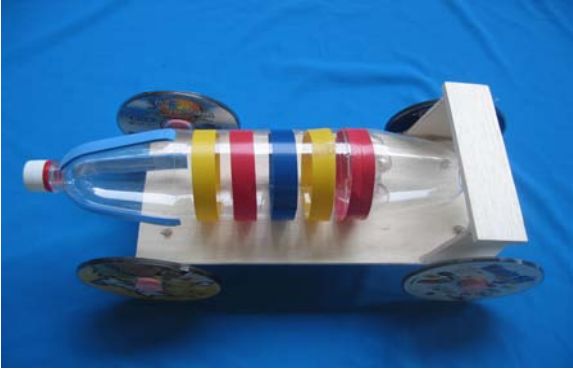
是一台會耍特技的賽車。



擾流板衝鋒小水車



玩具孔雀水車

應用汽車尾翼之擾流原理。	在車輪上加裝了橡皮圈。
 機翼型衝鋒車 噴嘴設計在後輪處，後輪會吸收部份的下壓力量。	 老鼠飛車號 性能佳且速度敏捷的小型水車。

陸、討論與結論

- (一) 氣壓水箭是將水注入壓力槽 1/4 的水，充入約 5 kg/cm² 的空氣，產生壓力差，壓力將水擠出，造成一股強大的作用力，並藉其反作用力將水火箭推送昇空，水火箭會因地心引力及空氣阻力而形成弧線型的彈道飛行。
- (二) 氣壓水箭飛行過程的動力行為非常複雜，影響因素包含空氣阻力瓶內壓力、瓶內水噴出過程中的反作用力與瓶內部水位變化、瓶內水與空氣的變化、重量大小、尾翼頭錐的功用……等。
- (三) 全程的水箭飛行過程可明顯看出水箭由靜止狀態開始加速前進，直至水噴完，是一段具有推進力的階段，而高壓氣體噴完後，會進入自由飛行階段，此時影響飛行的因素主要為空氣阻力與重力。
- (四) 在實驗過程中發現打氣壓力愈大，水噴出的反作用力愈大，剛開始的爆發性很大，而後能量減少便向下飛行掉落，討論結果為箭體內氣壓逐漸降低且瓶內氣壓的體積逐次增大，水噴出的流速變小，因此噴射推力降低，影響水箭的推進性能，加上地心引力，一旦推力減弱，便向地面落下。
- (五) 發射角愈小，常在墜落的水箭內部發現水並未完全噴光，而且發射角愈小，殘留的水量愈多，影響發射距離。
- (六) 發射時若以斜角發射時，我們發現氣壓水箭會以一個仰角飛行，但是水箭內的水面卻呈現水平面，所以箭體內水平面降至某一低點，會造成噴嘴處出現一漏洞，因此瓶內水還未完全噴完前，瓶內高壓氣體卻快速從漏洞流失，而失去推進力。

- (七) 發現角度接近垂直時，雖可避免水未噴完即掉落的情形，但掉落時太接近發射點，易打到發射者，有潛在的危險性。
- (八) 降落傘在空中的開傘時機不易掌握，太早開傘會影響射程，多次測試發現傘蓋的配重會影響開傘的時機。
- (九) 氣壓水箭是以高壓氣體當動力來源，以水當推進劑，用隨手可得的汽水寶特瓶當箭身，加上彈頭，並加上適當的油土配重，以及尾翼，即完成一個兼具環保、簡單又有趣味的科學玩具，但影響水箭之飛行性能的因素眾多，值得探究，將它改良成水中潛箭與噴水賽車也相當有趣，全班同學皆樂此不疲。

柒、限制與展望

- (一) 箭頭配重與裝水量的多寡對水箭射遠有重大的影響，然而總重量也是影響射程之重要因素。在時間限制下，無法一一交叉實驗，因此只能在特定條件下找出較佳的裝水量與箭頭配重處理，仍有繼續實驗的空間。
- (二) 在飛行高度的測量上採角度量測的方式，日後應可利用儀器量測，可更加精確。
- (三) 壓力艙的壓力愈大，則具有較大的反作用推力，因此選擇的瓶子必須是耐高壓的汽水寶特瓶，不可選用礦泉水的瓶子，以免有爆破的危險。
- (四) 水箭飛行到最高點後，從高空掉落的損毀情況，其破壞力之大，因此必須加裝減速裝置來降低損毀與危險性，討論後決定設計降落傘、加有彈性的箭頭或加螺旋槳……等，但如何讓氣壓水箭順利開傘或讓螺旋槳旋轉呢？在傘布的選擇上，發現傘布以質輕不沾黏的雨傘布最好，而且中央要開個小洞，如果傘布太大時，洞一定要再大些才行，否則會飄走。螺旋槳最好要選擇質地稍硬的材質，而且長度寬窄不能太小，翼要稍加傾斜，才能抵抗空氣阻力而且旋轉。
- (五) 水箭可在箭頭的傘室內負載物品，因此可應用在慶祝活動中增加活動的高潮，或一般救援任務中攜帶纜繩或食物，以及軍事方面因其不會產生煙與熱，作為短程火力支援兵器能使敵軍較不易發現，而且可做為大型火箭發射的輔助動力來源，使火箭具有初速度，又可節省能源，因此氣壓水箭的研發具有發展性。

捌、參考資料

1. <http://www.sonking.com.tw/>孩子王的寶特瓶世界
2. http://ideaking.com.tw/new_page_17.htm 點子王智慧館
3. <http://water-rocket.myweb.hinet.net/profile.html> 水火箭權威
4. <http://www.fcps.tcc.edu.tw/12/認識水火箭.htm>

評語

081525 疾風飛馳，衝！衝！衝！~探討陸海空「氣壓
水箭」的射遠動力之分析研究

1. 解決水箭設計的創意頗佳。
2. 測量的科學方法很好。
3. 表達能力佳，但內容解說稍嫌凌亂。