

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080104

男人夢想的小老婆~探討水火箭車發射動力之研究

學校名稱：桃園市大溪區僑愛國民小學

作者： 小六 陳彥祖 小六 夏承緯 小六 江育安 小六 彭宏渝	指導老師： 游淑芳 譚美倫
-------------------------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：水火箭車、反作用力、氣壓

摘要

本研究利用回收寶特瓶、廢棄 CD 及重複使用的鐵條設計好玩的水火箭車，藉由高壓氣體將水推出瓶外，形成水火箭車行駛的動力，從實驗中找出空氣與水的比例、打氣壓力、輪胎寬度、大小與胎紋(摩擦力)……等對車子行駛的影響，探究能讓車子行駛最平穩、快速的最佳條件。研究結果發現：水量在 350cc、空氣壓力 120psi，水火箭車具有較大的動能；輪胎 CD 片數愈多、輪胎直徑愈大及止滑膠帶材質(摩擦力愈大)，皆會影響車子行駛的路徑及穩定性。

為了符合水火箭車創意設計競賽，從最佳行駛條件中去設計多款節能環保的創意水火箭車，經過不斷創作與改良，終於創作出一款符合競賽規則、節能環保的水動力概念車，也激發了另一個研究靈感，是這次科展最大的收穫。

壹、研究動機

這學期參加 107 學年水火箭車創意設計競賽，在操作與練習的過程中，我們學到了壓力差、作用力與反作用力、注入的水量、車輪寬度(光碟片數量)、車體穩定度等因素，能使水動力火箭車更平穩、更快速地行駛。而比賽的材料大多是固定的，能改變的只有裝水量、打氣壓力、車架組合的位置及車輪寬度，雖然這場比賽我們依規定完成發射動作，並在規定時間內(四分鐘)完成 10 公尺(10 分)、15 公尺(15 分)、20 公尺(20 分)的關卡，但車子行駛速度太慢，導致我們輸了比賽。

當教師問我們科展想做什麼題目時，在眾多題目中，大家一致決定，找出水火箭車競賽車子行駛的最佳組合條件，明年再戰，雖然到時我們已經畢業，但能留下必勝絕招給學弟妹們，也是我們對學校的最大貢獻。

而在自然與生活科技的課本中學習力與運動，正好與我們的研究相關，於是我們把想法和老師討論，試圖找出水火箭車最佳的行駛組合條件，我們決定著手進行更深入的研究。

貳、研究目的

水火箭車創意設計競賽是由參賽者現場創作及測試，除了大會規定的統一車架材料包，參賽者可以使用大會提供之車輪或廢棄光碟來設計車輪，利用水為動力之火箭車，並在規定的時間完成三個關卡的測試，以完成速度的快慢來決定成績。本研究主要探究影響水火箭車行駛動力的各種因素，找出水火箭車最快速、平穩的行駛組合條件，針對










研究我們進行下列的實驗探究：

- 一、探討水火箭車的行駛動力。
- 二、探討打氣壓力、空氣與水的比例及地面摩擦力對水火箭車之影響。
- 三、探討影響水火箭車前進的變因。
- 四、探討增進水火箭車推進性能的最佳條件。
- 五、設計創意的水火箭車。
- 六、探討水火箭車的創新設計。

參、研究設備及器材
















一、研究設備

表一 實驗設備一覽表(水火箭車實驗設備)

		
打氣筒	捲尺 (50m)	碼表
		
量杯 (200ml)	漏斗	水桶
		
電子秤	發射器	塑膠繩

二、研究器材

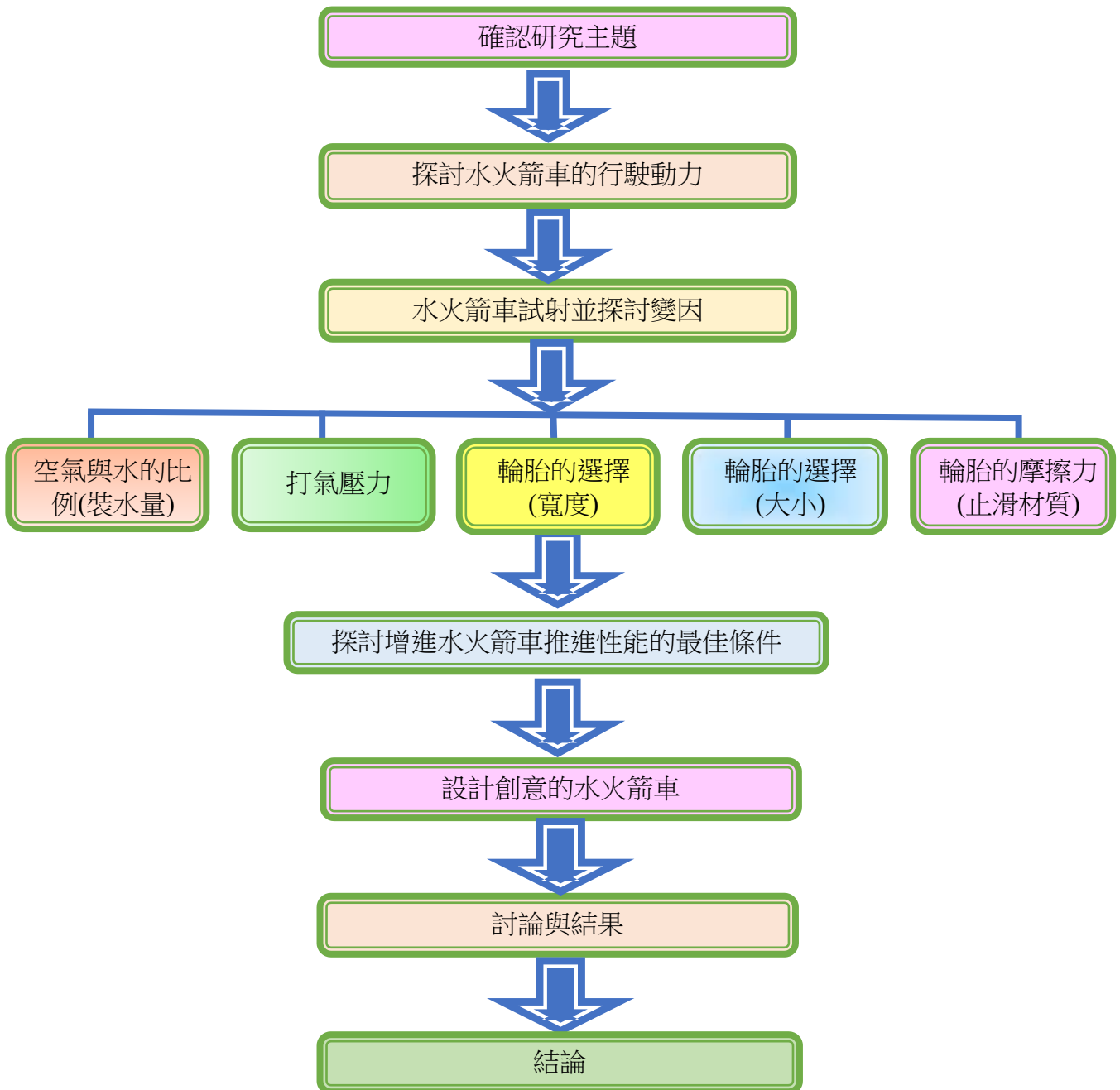
表二 實驗器材一覽表(水火箭車製作材料)

		
六角長鐵條(cm)	圓形長鐵條(cm)	圓形短鐵條(cm)
		
三孔螺絲	螺帽	細塑膠吸管
		
專業噴嘴	5mm 小圓環	寶特瓶 (1250ml)
		
氣嘴	CD 光碟片	鐵尺
		
背膠	電工膠帶	止瀉帶



肆、研究過程或方法

一、研究過程流程圖



圖一 研究過程流程圖

二、研究方法

(一)活動一：水火箭車原理

- 1、研究目的：了解水火箭車運用的科學原理。
- 2、實驗步驟：查閱文獻後，整理本實驗會運用原理。



圖二 資料查詢



圖三 資料整理

(二)活動二：水動力火箭車製作方法及過程

- 1、研究目的：
自製簡易型水火箭車(詳見展示會場)，測試水火箭車行駛的基本資料。
- 2、實驗步驟：
 - (1)準備實驗材料：1250ml 的寶特瓶一個、圓形長鐵條 2 根、六角長鐵條 2 根、圓形短鐵條 2 根、三孔螺絲 4 個、螺帽 4 個，細塑膠吸管 2 根、圓形墊片 12 個、專業噴嘴、氣嘴 4 個、CD 片 4 片、止瀉帶、電工膠帶。
 - (2)利用上述材料組裝水火箭車，如圖四、圖五。

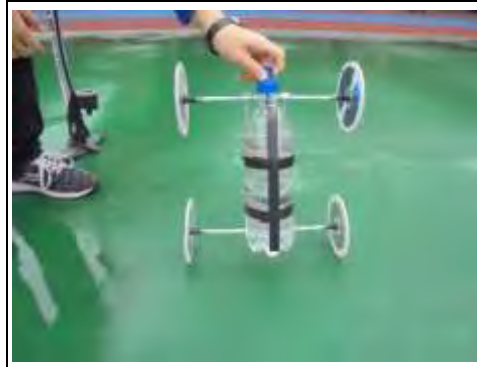


圖四 組合材料



圖五 水火箭車

- (3)製作好的水火箭車，裝入適量的水(圖六)，將裝有噴嘴的水火箭車連接到打氣筒的發射器，再開始打氣(圖七)，直到水火箭車發射出去。



圖六 裝水



圖七 打氣

(4)測量水火箭車發射距離(圖八、圖九)。



圖八 測量起始點(發射線)



圖九 測量終點(停止線)

(三)活動三：探討水火箭車行駛的動力

為了使水火箭車行駛的更遠，應提高水火箭車儲存壓力的發射方式，因此我們提出以下變因，試圖找出最佳行駛條件，並瞭解水火箭車行駛的動力。透過試射的過程中，提出問題，並設法找出答案。

1、探究水火箭車之裝入不同水量對射程遠近的影響：

(1)實驗步驟：

- ①利用相同瓶身的水火箭車，分別裝入六種不同水量：200 cc、350cc、500 cc、650cc、800 cc、950 cc、1100 cc 及 1250cc。
- ②利用相同空氣壓力 100 psi，分別測量不同水量(200 cc、350cc、500 cc、650cc、800 cc、950 cc、1100 cc 及 1250cc)的水火箭車，從發射至停止的直線距離。
- ③上述試驗連續做 10 次，去除極端值，取紀錄最佳的前 8 者，求其平均值並紀錄之。

(2)結果討論。



2、探究水火箭車之不同空氣壓力對射程遠近的影響：

(1)實驗步驟：

- ①利用相同車體的水火箭車，分別打入四種不同空氣壓力：60psi、80 psi、100 psi 及 120 psi。
- ②利用相同水量，分別測量不同空氣壓力(60 psi、80 psi、100 psi 及 120 psi)的水動力火箭車，從發射至停止的直線距離。
- ③上述試驗連續做 10 次，去除極端值，取紀錄最佳的前 8 者，求其平均值並紀錄之。

(2)結果討論。



3、探究水火箭車之不同 CD 片數量對射程遠近的影響：

(1)實驗步驟：

- ①利用相同車體的水火箭車，分別裝上三種數量的 CD 片：1 片(圖十六)、2 片(圖十七)及 3 片(圖十八)。
- ②利用相同水量、壓力的車體，分別測量裝上不同 CD 片數量的輪子的水火箭車，從發射至停止的直線距離。
- ③上述試驗連續做 10 次，去除極端值，取紀錄最佳的前 8 者，求其平均值並紀錄之。

(2)結果討論。

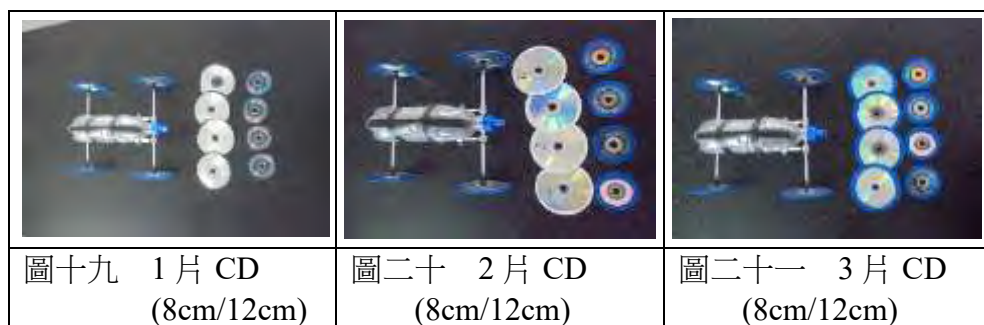


4、探究水火箭車之不同輪胎大小對射程遠近的影響：

(1)實驗步驟：

- ①利用相同車體的水火箭車，分別採取不同大小的 CD 片：8cmCD 片及 12cmCD。
- ②利用相同水量、壓力的車體，分別測量不同大小 CD 片的水火箭車，從發射至停止的直線距離。
- ③上述試驗連續做 10 次，去除極端值，取紀錄最佳的前 8 者，求其平均值並紀錄之。

(2)結果討論。

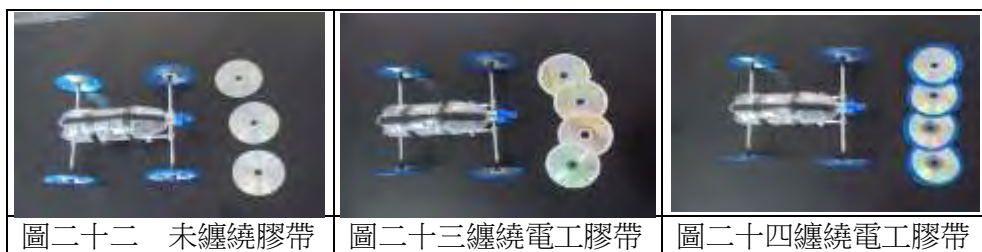


5.探究水火箭車之不同輪胎磨擦力對射程遠近的影響：

(1)實驗步驟：

- ①利用相同車體的水火箭車，分別採取不同材質的摩擦力：CD 片邊緣無膠帶(圖二十二)、CD 片邊緣纏繞電工膠帶(圖二十三)及 CD 片邊緣纏繞芯布膠帶(圖二十四)。
- ②利用相同水量、壓力的車體，分別測量 CD 片邊緣纏繞不同材質的水動力火箭車，從發射至停止的直線距離。
- ③上述試驗連續做 10 次，去除極端值，取紀錄最佳的前 8 者，求其平均值並紀錄之。

(2)結果討論。



(四)活動四：探討能讓水火箭車行駛的遠近因素實驗

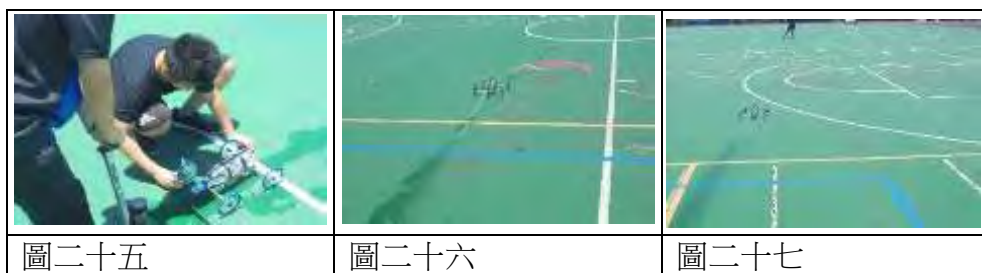
1、研究目的：

為了使水火箭車行駛的更遠，應提高水火箭車儲存壓力的發射方式，因此根據活動三的相關實驗數據統整，整理出能讓水火箭車行駛的較遠（ $>30\text{m}$ ）及行駛的較近（ $<30\text{m}$ ）的因素。

2、實驗步驟：

- (1)根據活動三的相關實驗數據統整，找出對水火箭車射程最遠的影響。
- (2)整理步驟(1)，依據影響射程遠之變因製作水火箭車，測量其從發射至停止的直線距離是否大於 30m 。
- (3) 整理步驟(1)，依據影響射程近之變因製作水火箭車，測量其從發射至停止的直線距離是否小於 30m 。
- (4)上述步驟(2)、步驟(3)試驗連續做 10 次，去除極端值，取紀錄最佳的前 8 者，求其平均值並紀錄之。

3、結果討論。



(五) 活動五：創意水動力火箭車設計

依據先前實驗結果，找出水火箭車最佳的組合條件，設計一台穩定性佳、射程遠（大於 50m ）的水火箭車，並探討設計車款的特性。



圖二十八

圖二十九

圖三十

伍、研究結果

一、活動一：水火箭車原理

(一)文獻整理

水火箭車是以高壓氣體當作動力來源，水就是推進劑，將高壓氣體灌入水火箭車中，當噴嘴打開，高壓氣體迅速將水推出瓶外，形成一股推進水火箭車行駛的力量，根據牛頓第三運動定律的作用，給水火箭車一個反作用力使車體前進。水火箭運用了水和空氣相互擠壓的原理。

表三 水火箭車施放程序說明及原理

施放程序	說明	物理名詞
加水	提供質量，增加動量。	動量守恆
打氣	利用空氣施壓瓶內水，水火箭車內部壓力增加，產生作用力。	氣壓
發射	打開噴嘴，利用水火箭車內、外空氣壓力差，使水瞬間向外噴出，產生反作用力推進水動力火箭車飛遠、飛快。	作用力 反作用力
前進	衝力使車子前進時，空氣阻力將使水火箭車減速、停止。	空氣阻力

1、加水→動量守恆

動量為物體質量和其運動速度的乘積。動量守恆為一系統之總動量為此系統中各物體之動量和。因為寶特瓶容納的空氣有限，在噴氣嘴打開的同時，空氣會瞬間衝出來了，產生的作用力很小；加入水後，因為水不會被壓縮，壓縮空氣將水向外推，當水流高速向外衝出時，增加反作用力，也就能推動水火箭車往前。

2、打氣→氣壓

氣壓為單位面積中所受的空氣壓力。寶特瓶打氣之後，內部的空氣壓力變大，瓶內的氣壓若瞬間向外作用，則外部必產生一個相對的反作用力，當快速

拔開瓶塞時，壓力瞬間降低，因此瓶內壓力愈大，所產生的作用力也愈大。

$$P=F/A \quad ; \quad P: \text{大氣壓力} \quad F: \text{作用力} \quad A: \text{面積}$$

3、發射→作用力與反作用力

如果以一力推（拉）一物體時，該物體會以相等大小的力推（拉）施力者，這是牛頓第三運動定律(用力與反作用力)，水火箭車發射的原理也和充氣的氣球放氣原理一樣，並非藉助外來的力量，而是靠水火箭車本身噴出一股水流，這些液體以高速噴出，所產生的反作用力，推動它向反方向前進。

4、前進→空氣阻力

物體移動穿過空氣時，物體擦撞空氣分子產生磨擦力，此種摩擦力稱之為空氣阻力。水火箭車發射後，會靠著本身的慣性力量繼續前進，可是受到空氣阻力的影響，使得速度愈來愈慢，最後停止下來。

(二) 討論與發現

- 1、水能增加水火箭車動能，壓縮空氣將水向外推，增加反作用力，使水火箭車前進。
- 2、要水火箭車跑得遠，瓶內氣壓是關鍵性因素，壓力越大作用力越大，水火箭車行駛得更遠。

二、活動二：水火箭車製作方法及過程

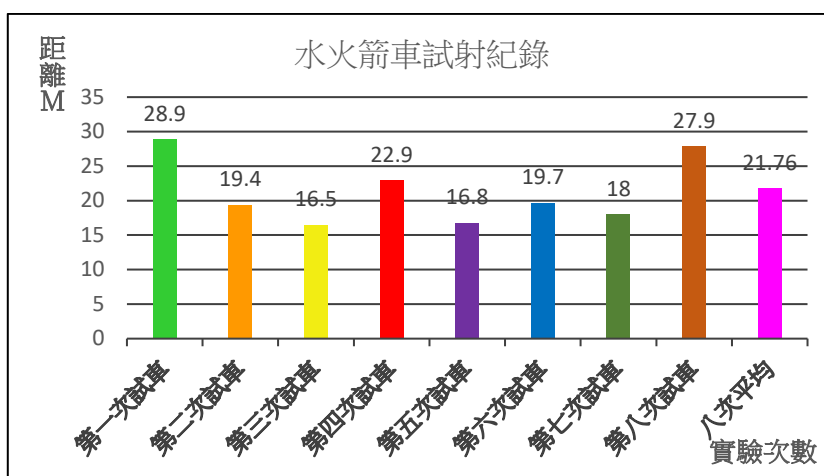
依照水火箭車創意設計競賽所規定車架材料組裝一台測試用水火箭車，主要測試水火箭車的性能，在相同的條件(水量 650cc、打氣壓力 100psi、車輪 12cm、CD 片數 1 片及無膠帶纏繞車輪)發射車子 10 次，去除距離極端值 2 次，取 8 次紀錄並計算平均值。

(一)實驗結果

表四 水火箭車發射記錄表

水火箭車 實驗次數	車體容 量(ml)	車體重 量(gw)	車輪 CD 片數量	水量 (cc)	空氣 壓力(psi)	時間 (秒)	距離 (m)
第一次試車	1250	467.8	1 片	650	100psi	5"13	28.9
第二次試車	1250	467.8	1 片	650	100psi	4"26	19.4
第三次試車	1250	467.8	1 片	650	100psi	2"84	16.5
第四次試車	1250	467.8	1 片	650	100psi	4"08	22.9
第五次試車	1250	467.8	1 片	650	100psi	3"46	16.8
第六次試車	1250	467.8	1 片	650	100psi	4"71	19.7

第七次試車	1250	467.8	1片	650	100psi	3''55	18.0
第八次試車	1250	467.8	1片	650	100psi	4''60	27.9
八次平均	1250	467.8	1片	650	100psi	4''08	21.76



圖三十一 水火箭車射遠之比較圖

(二) 討論與發現

1、實驗統計：

- (1)當打氣壓力 100 psi，注入水量 650cc，八次測試車子平均時間約 4 秒 08，平均距離 21.76m。
- (2)八次測試車子，射程超過 20m 共三次，分別為第一、四、八次試車；射程未超過 20m 共五次，分別為第二、三、五、六、七次試車。

2、研究發現：

- (1)在水火箭車無特別設計下，每次的發射均能完成水火箭車創意設計競賽第一關(10m)及第二關(15m)的挑戰，且每次發射時間不到 10 秒。
- (2)能完成水火箭車創意設計競賽關卡(10m、15m、20m)挑戰僅三次，有五次仍未全過關。

三、活動三：探討水火箭車行駛的動力

這個實驗活動在探究水火箭車行駛的動力，我們假設水火箭車的行駛動力與瓶內的裝水量、空氣壓力、車輪大小、輪胎寬度(CD 片數量)及輪胎止滑材質(摩擦力)相關，針對此我們設計一些相關的實驗，探究能讓水火箭車行駛更穩、更遠的變因，藉由以下相關實驗探究水火箭車行駛動力的相關因子：

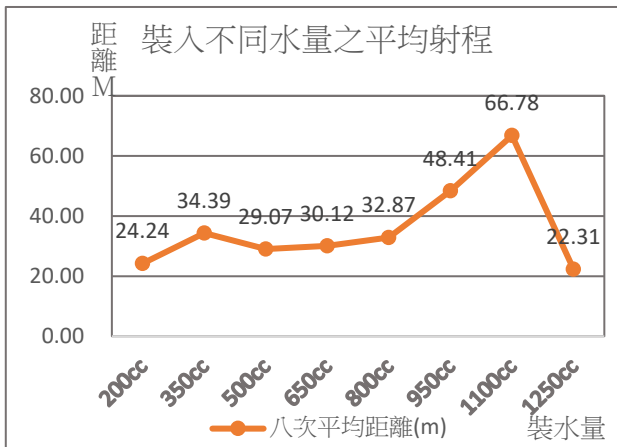
(一)探究水火箭車之裝入不同水量對射程遠近的影響：

在這個實驗，利用 1250 ml 容量瓶身、80psi 的空氣壓力、3 片 12cm 光碟片及纏繞
 芯布膠帶的水火箭車，分別裝入 200cc、350cc、500cc、650cc、800cc、950cc、1100cc
 及 1250cc 的水量後發射，再測量水火箭車的射程。

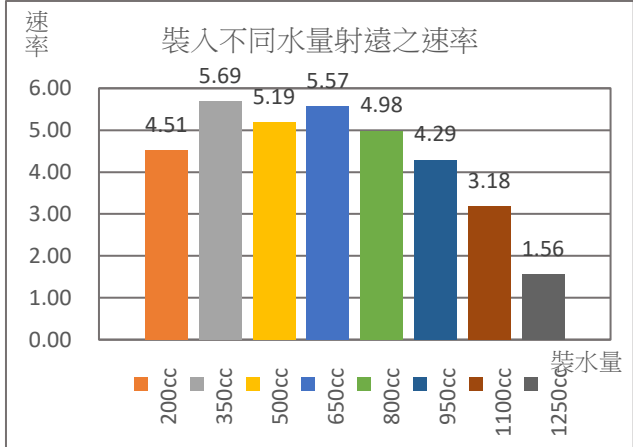
1、實驗結果

表五 水火箭車之裝入不同水量之射遠比較記錄表

光碟片數量		3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片
抓地力(摩擦力)		芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶
車體重量(gw)		636.2	636.2	636.2	636.2	636.2	636.2	636.2	636.2
車體水量(cc)		200	350	500	650	800	950	1100	1250
壓力(psi)		80psi	80psi	80psi	80psi	80psi	80psi	80psi	80psi
第一次試車	時間(s)	4''51	6''89	6''01	5''52	7''10	13''33	21''41	9''27
	距離(m)	28.9	40.9	35.5	31.5	41.4	61.3	77.2	9.9
第二次試車	時間(s)	5''55	5''92	5''49	5''92	6''93	11''24	22''73	16''80
	距離(m)	25.8	35.5	25.9	32.7	27.5	48.3	65.9	22.7
第三次試車	時間(s)	6''81	5''42	5''56	5''07	5''98	9''22	20''06	19''62
	距離(m)	20.9	30.7	28.8	29.3	33.0	41.4	64.3	35.0
第四次試車	時間(s)	5''03	5''75	5''88	5''72	7''02	12''81	22''07	15''25
	距離(m)	27.4	33.2	29.8	32.1	34.5	48.1	71.6	22.5
第五次試車	時間(s)	5''62	6''65	5''63	4''63	5''68	11''26	21''40	11''59
	距離(m)	25.2	34.5	29.4	23.3	25.4	50.3	69.1	17.7
第六次試車	時間(s)	4''77	6''08	5''75	5''62	7''06	12''29	17''98	17''44
	距離(m)	24.1	35.7	30.7	30.7	33.7	54.8	51.5	28.8
第七次試車	時間(s)	6''22	6''41	4''81	5''50	6''68	10''24	20''73	11''15
	距離(m)	23.1	38.2	22.5	31.2	34.0	45.9	66.7	25.7
第八次試車	時間(s)	4''46	5''24	5''69	5''29	6''33	9''84	21''74	13''04
	距離(m)	18.6	26.5	30.0	30.2	33.5	37.2	67.9	16.3
平均	時間(s)	5''37	6''04	5''60	5''41	6''60	11''28	21''01	14''27
	距離(m)	24.24	34.39	29.07	30.12	32.87	48.41	66.78	22.31
速率(m/s)		4.57	5.69	5.19	5.57	4.98	4.29	3.18	1.56



圖三十二 水火箭車裝入不同水量之射遠比較圖



圖三十三 水火箭車裝入不同水量射遠之速率比較圖

2、討論與發現

- (1)在相同控制變因下，不同水量對水火箭車射程遠近的影響，水量越多不一定跑得越遠，水量在 1100cc 平均射程距離最遠，但所花費的時間也最久；依各水量的速率，水量在 350cc，速率快，可達 5.69m/s。
- (2)與之前他人研究相同，水與空氣的比例在 1：3 的狀態下，車子速率最遠、最穩定。
- (3)雖然水量在 350cc 速率快，但考量水火箭創意設計競賽有時間的限制，討論後決定，以平均花費時間最短且速率排名第二的 650cc 為探究裝水量，進行後續相關實驗。
- (4)當水量超過 1100cc 時，水火箭車跑得最遠、最久；但裝至滿水位 (1250cc)，壓力達最大，水火箭車跑的最直，但也因為壓力過大，水一下子就洩光，所以並未跑得最遠。

(二)探究水火箭車之不同空氣壓力對射程遠近的影響：

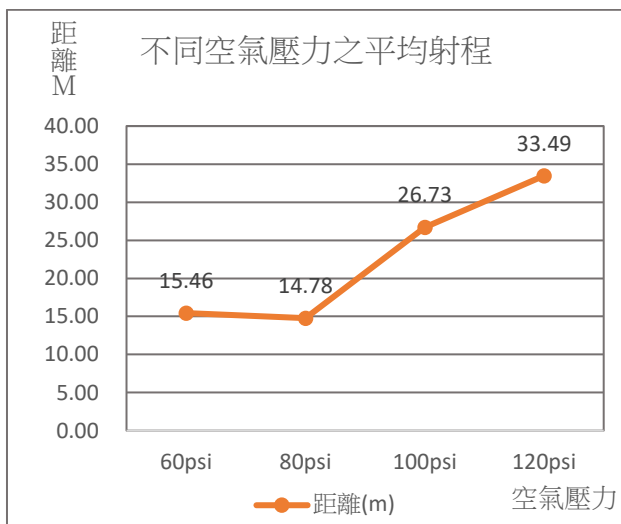
在這個實驗，利用 1250 ml 容量瓶身、650cc 的水量、3 片 12cm 光碟片及纏繞芯布膠帶的水火箭車，分別打入 60psi、80 psi、100 psi 及 120 psi 的氣壓後發射，再測量水火箭車的射程。

1、實驗結果

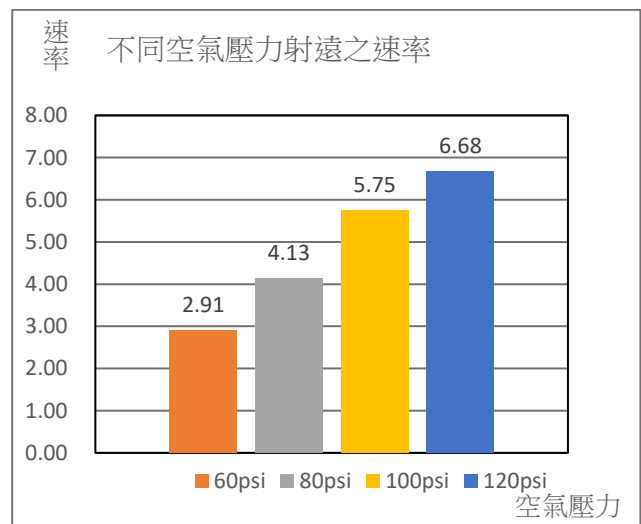
表六 水火箭車之不同空氣壓力之射遠比較記錄表

光碟片數量	3 片	3 片	3 片	3 片
抓地力(摩擦力)	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶
車體重量(gw)	636.2	636.2	636.2	636.2

車體水量(cc)		650	650	650	650
壓力(psi)		60psi	80psi	100psi	120psi
第一次試車	時間(s)	6''74	3''49	4''05	6''38
	距離(m)	14.9	12.6	20.9	33.9
第二次試車	時間(s)	4''08	3''41	4''56	4''72
	距離(m)	11.7	12.5	33.9	32.1
第三次試車	時間(s)	5''76	3''87	5''28	4''17
	距離(m)	18.6	18.9	21.9	35.0
第四次試車	時間(s)	5''41	3''63	4''31	4''45
	距離(m)	13.3	15.8	27.4	33.6
第五次試車	時間(s)	5''17	3''45	4''61	5''11
	距離(m)	14.2	12.6	27.7	33.3
第六次試車	時間(s)	5''23	3''66	4''78	4''77
	距離(m)	20.1	16.5	26.7	33.6
第七次試車	時間(s)	4''92	3''56	4''92	5''55
	距離(m)	15.2	14.5	27.9	33.0
第八次試車	時間(s)	5''18	3''57	4''65	4''94
	距離(m)	15.7	14.8	27.4	33.4
平均	時間(s)	5''31	3''58	4''65	5''01
	距離(m)	15.46	14.78	26.73	33.49
速率(m/s)		2.91	4.13	5.75	6.68



圖三十四 水火箭車不同空氣壓力之射遠比較圖



圖三十五 水火箭車不同空氣壓力射程之速率比較圖

2、討論與發現

(1)在相同控制變因下，不同空氣壓力對水火箭車射程遠近的影響，空氣壓力在 120 psi 平均射程距離最遠，空氣壓力在 80 psi 平均射程距離最短；但依各空氣壓力之速率，空氣壓力越大，水火箭車射程最遠；越小，則反之。

(2)當空氣壓力 120 psi，水火箭車每次試射的距離皆達 30m 以上，達到比賽所需的距離。

(3)雖然空氣壓力在 120 psi 之速率最遠，但考量車輛毀損率級路徑穩定性，區科展以 100 psi 為探究壓力，市科展以 80 psi 為探究壓力，進行後續相關實驗。

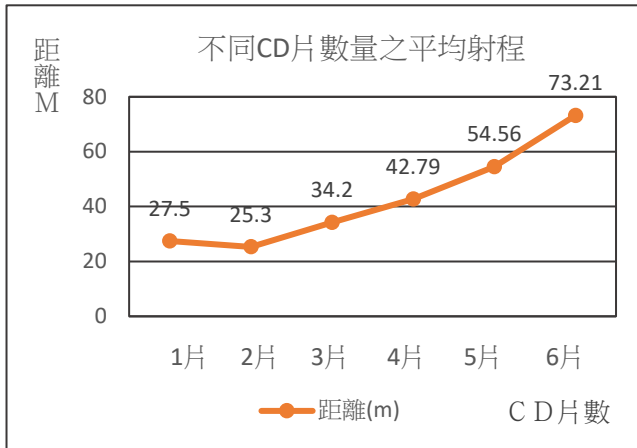
(三)探究水火箭車之不同 CD 片的數量對射程遠近的影響：

在這個實驗，利用 1250 ml 容量瓶身、650cc 的水量、80 psi 的氣壓及纏繞芯布膠帶的水火箭車，車輪分別安裝 1 片、2 片、3 片、4 片、5 片及 6 片 12cm 光碟片發射，再測量水火箭車的射程。

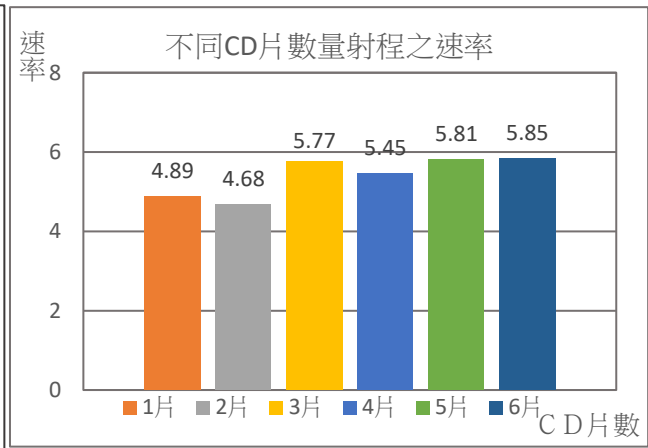
1、實驗結果

表七 水火箭車不同 CD 片數量之射遠比較記錄表

光碟片數量		1 片	2 片	3 片	4 片	5 片	6 片
抓地力(摩擦力)		芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶
車體重量(gw)		483.4	559.8	636.2	712.6	789.0	865.4
車體水量(cc)		650	650	650	650	650	650
壓力(psi)		80psi	80psi	80psi	80psi	80psi	80psi
第一次試車	時間(s)	5''49	6''52	4''93	5''18	10''13	10''09
	距離(m)	22.7	20.5	30.4	35.2	55.5	65.3
第二次試車	時間(s)	5''87	4''87	5''89	7''16	7''93	13''56
	距離(m)	22.9	22.5	38.0	32.5	49.7	82.7
第三次試車	時間(s)	5''43	4''76	7''03	8''33	8''67	12''76
	距離(m)	37.4	33.5	36.9	40.0	49.3	80.5
第四次試車	時間(s)	5''68	5''70	5''41	9''67	8''97	11''82
	距離(m)	22.8	21.5	32.2	57.9	60.1	59.8
第五次試車	時間(s)	5''46	5''64	5''98	5''18	11''03	14''96
	距離(m)	30.1	27.0	31.7	33.7	67.0	82.7
第六次試車	時間(s)	5''65	4''82	6''46	7''52	7''89	13''04
	距離(m)	30.2	28.0	37.5	47.8	39.7	77.9
第七次試車	時間(s)	5''60	5''38	5''95	9''07	10''13	11''55
	距離(m)	27.7	25.5	33.8	43.5	52.8	65.2
第八次試車	時間(s)	5''71	5''58	5''77	10''71	10''34	12''37
	距離(m)	26.0	24.1	33.2	51.7	62.4	71.6
平均	時間(s)	5''61	5''41	5''93	7''85	9''39	12''52
	距離(m)	27.5	25.3	34.2	42.79	54.56	73.21
速率(m/s)		4.89	4.68	5.77	5.45	5.81	5.85



圖三十六 水火箭車不同 CD 片數量之射遠比較圖



圖三十七 水火箭車不同 CD 片數量射程之速率比較圖

2、討論與發現

- (1)在相同控制變因下，車輪安裝不同 CD 片的數量對水火箭車射程遠近的影響，發現車輪安裝 6 片 CD，水火箭車平均射程最遠；2 片 CD，水火箭車射程最短；但依各安裝不同 CD 片的數量之速率，CD 片數量越多，水火箭車射程最遠。
- (2)當車輪安裝 3 片 CD 以上，水火箭車每次試射的距離皆達 30m 以上，且速率皆達 5 m/s 以上，證明輪胎寬度越寬，車子行駛越平穩，但考量 CD 片數安裝愈多，車輛跑得越遠，愈不易抓車，毀損率極高。因此，在 CD 片數量非屬操作變因情況下，實驗之水火箭車皆安裝 3 片 CD 為探究車輪寬度，並進行後續相關實驗。

(四) 探究水火箭車之不同車輪大小對射程遠近的影響：

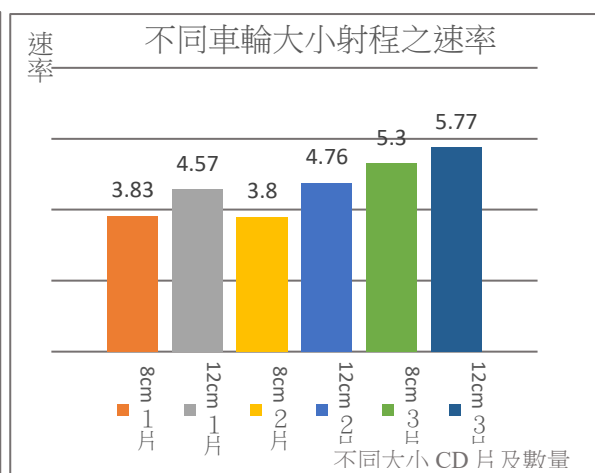
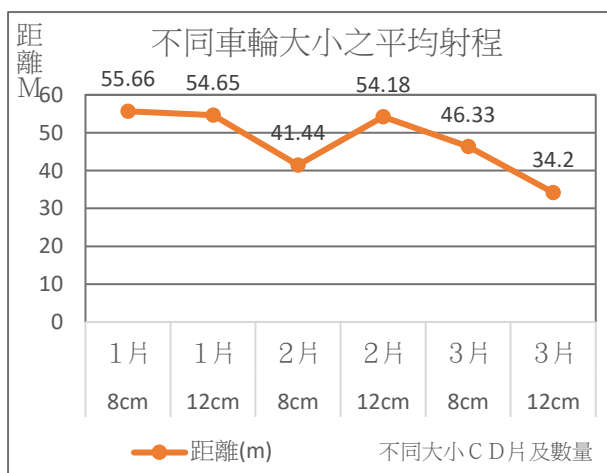
在這個實驗，利用 1250 ml 容量瓶身、650cc 的水量、80 psi 的氣壓及纏繞芯布膠帶的水火箭車，車輪分別安裝 1 片 8 cm 及 1 片 12 cm、2 片 8 cm 及 2 片 12 cm、3 片 8 cm 及 3 片 12 cm 光碟片發射，再測量水火箭車的射程。

1、實驗結果

表八 水火箭車之不同車輪大小之射遠比較記錄表

光碟片大小	8cm	12cm	8cm	12cm	8cm	12cm
光碟數量	1 片	1 片	2 片	2 片	3 片	3 片
抓地力	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶	芯布膠帶
車體重量(gw)	437.4	483.4	467.8	559.8	498.2	636.2
車體水量(cc)	650	650	650	650	650	650
壓力(psi)	80psi	80psi	80psi	80psi	80psi	80psi

第一次試車	時間(s)	13''54	13''33	10''34	15''86	8''62	4''93
	距離(m)	65.0	47.83	36	65.0	47.9	30.4
第二次試車	時間(s)	14''38	10''74	12''06	17''44	7''77	5''89
	距離(m)	48.4	48.6	38	67.5	41.3	38
第三次試車	時間(s)	11''41	12''95	16''46	9''61	9''82	7''03
	距離(m)	61.2	57.7	35.2	54.0	51.4	36.9
第四次試車	時間(s)	11''01	9''26	9''72	7''35	8''79	5''41
	距離(m)	40.4	51.5	37.23	40.0	37.2	32.2
第五次試車	時間(s)	13''76	8''35	6''48	7''83	8''73	5''98
	距離(m)	65.2	41.5	38.6	52.5	46.9	31.7
第六次試車	時間(s)	19''11	17''19	7''38	13''57	10''01	6''46
	距離(m)	66.1	65	41.2	55.5	57.3	37.5
第七次試車	時間(s)	15''16	12''17	10''29	7''88	8''95	5''95
	距離(m)	57.5	77.3	57.2	51.7	46.7	33.8
第八次試車	時間(s)	18''01	11''77	12''56	11''54	7''25	5''77
	距離(m)	41.5	47.8	48.1	47.2	41.9	33.2
平均	時間(s)	14''55	11''97	10''91	11''39	8''74	5''93
	距離(m)	55.66	54.65	41.44	54.18	46.33	34.2
速率(m/s)		3.83	4.57	3.80	4.76	5.30	5.77



圖三十九 水火箭車不同車輪大小之射遠比較圖

圖四十 水火箭車不同車輪大小射程之速率比較圖

2、討論與發現

- (1)在相同控制變因下，不同車輪大小對水火箭車射程遠近的影響，1片和3片CD，小車輪之射程距離比大車輪遠，但小車輪的行徑路線較怪異，行駛過程先慢後快。
- (2)從速率來看，不論安裝CD片數量，大車輪比小車輪之速率快，且CD數量越多，車子行駛愈平穩愈快。因此，實驗以大車輪(12cm)為探究因素，並進行後續相關實驗。

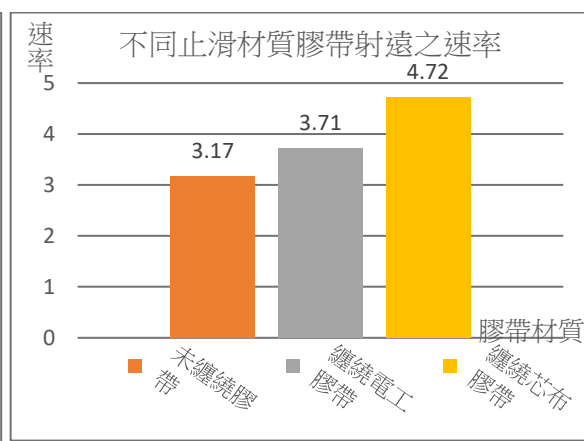
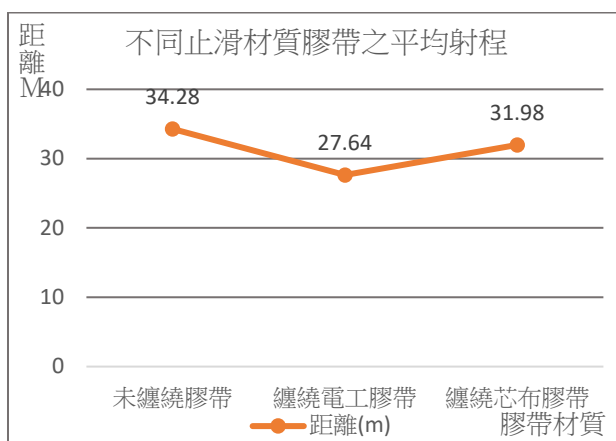
(五)探究水火箭車不同輪胎磨擦力對射程遠近的影響：

在這個實驗，利用 1250 ml 容量瓶身、650cc 的水量、80 psi 的氣壓、車輪分別以 1 片 12cm、2 片 12cm 及 3 片 12cm 光碟片，再分別纏繞電工膠帶、芯布膠帶及未纏繞膠帶等不同止滑材質之水火箭車，然後發射並測量水火箭車的射程。

1、實驗結果

表九 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶之射遠比較記錄表 (一)

光碟片數量		1 片	1 片	1 片
抓地力		未纏繞膠帶	纏繞電工膠帶	纏繞芯布膠帶
車體重量(gw)		467.8	472.6	483.4
車體水量(cc)		650	650	650
壓力(psi)		80psi	80psi	80psi
第一次試車	時間(s)	5''13	5''82	5''49
	距離(m)	32.9	16.5	22.7
第二次試車	時間(s)	7''68	7''23	7''03
	距離(m)	23.8	22.5	36.9
第三次試車	時間(s)	11''42	9''97	7''32
	距離(m)	31.5	36.8	37.4
第四次試車	時間(s)	10''98	6''53	6''26
	距離(m)	42.2	29.5	34.8
第五次試車	時間(s)	15''16	6''59	7''36
	距離(m)	38.2	26.2	32.7
第六次試車	時間(s)	11''82	7''38	5''63
	距離(m)	41.5	28.7	27.7
第七次試車	時間(s)	15''17	7''93	6''91
	距離(m)	38.3	27.5	29.6
第八次試車	時間(s)	9''21	8''13	8''21
	距離(m)	25.8	33.4	34.0
平均	時間(s)	10''82	7''45	6''78
	距離(m)	34.28	27.64	31.98
速率(m/s)		3.17	3.71	4.72

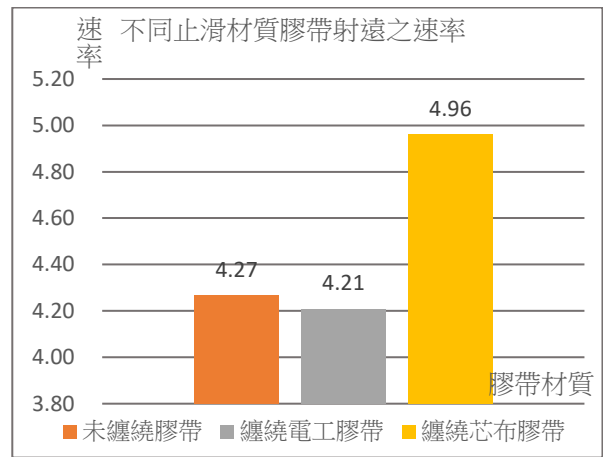
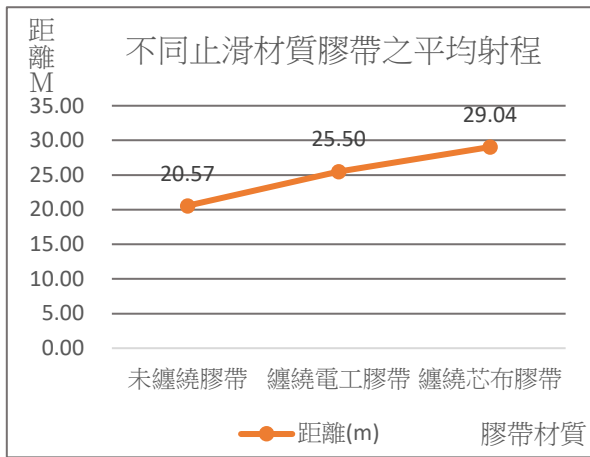


圖四十一 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶之射遠比較圖(一)

圖四十二 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶射程之速率比較圖(一)

表十 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶之射遠比較記錄表(二)

光碟片數量		2片	2片	2片
抓地力		未纏繞膠帶	纏繞電工膠帶	纏繞芯布膠帶
車體重量(gw)		528.6	538.2	559.8
車體水量(cc)		650	650	650
壓力(psi)		80psi	80psi	80psi
第一次試車	時間(s)	4'87	7'21	6'52
	距離(m)	16.5	22.5	20.5
第二次試車	時間(s)	4'35	4'89	4'87
	距離(m)	20.5	21.4	22.5
第三次試車	時間(s)	3'73	5'17	4'76
	距離(m)	17.1	19.0	33.5
第四次試車	時間(s)	4'32	5'76	5'38
	距離(m)	18.0	21.0	25.5
第五次試車	時間(s)	4'51	5'95	5'59
	距離(m)	21.8	27.3	28.2
第六次試車	時間(s)	6:06	8'03	7'53
	距離(m)	26.5	31.3	36.8
第七次試車	時間(s)	5'54	5'34	6'88
	距離(m)	24.3	28.6	33.6
第八次試車	時間(s)	5'16	6'13	5'29
	距離(m)	19.8	33.0	31.7
平均	時間(s)	4'82	6'06	5'85
	距離(m)	20.57	25.50	29.04
速率(m/s)		4.27	4.21	4.96

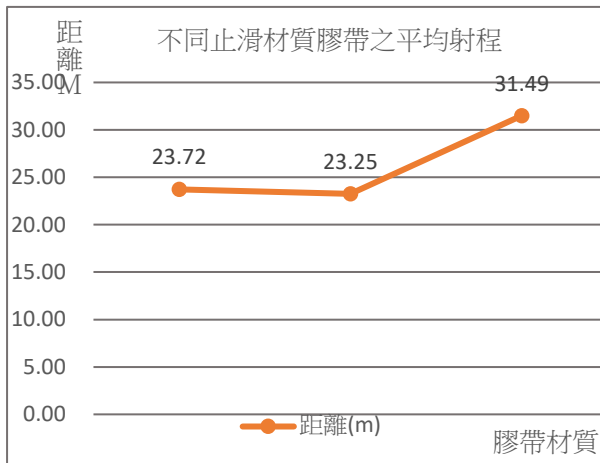


圖四十三 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶之射遠比較圖(二)

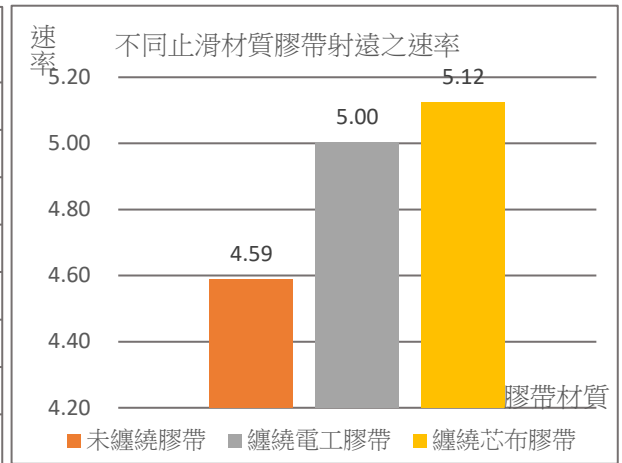
圖四十四 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶射程之速率比較圖(二)

(三) 表十一水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶之射遠比較記錄表((三))

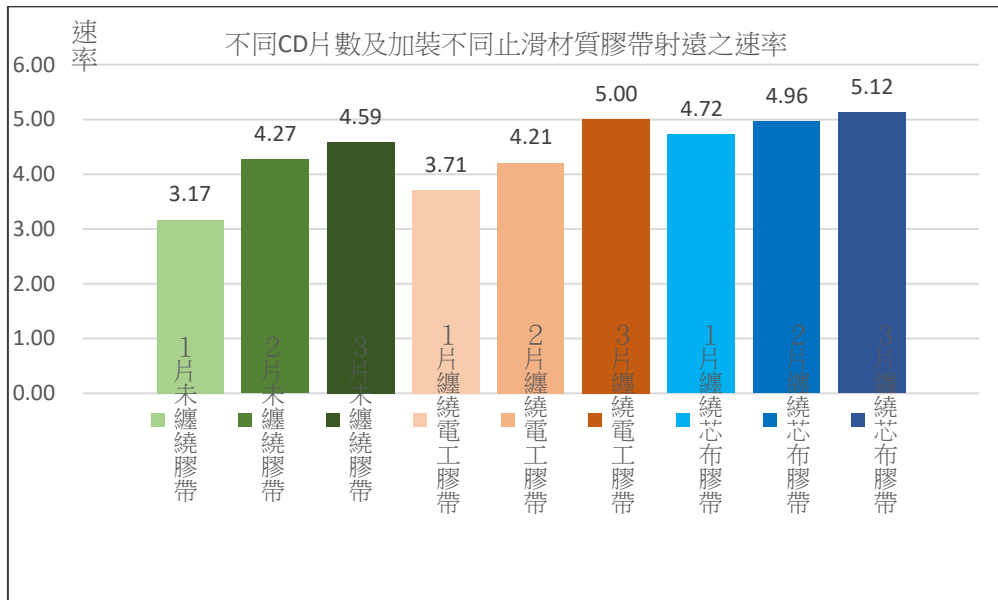
光碟片數量		3片	3片	3片
抓地力		未纏繞膠帶	纏繞電工膠帶	纏繞芯布膠帶
車體重量(gw)		589.4	603.8	636.2
車體水量(cc)		650	650	650
壓力(psi)		80psi	80psi	80psi
第一次試車	時間(s)	4'30	4'05	4'93
	距離(m)	18.8	21.3	20.4
第二次試車	時間(s)	4'89	4'31	5'89
	距離(m)	24.2	23.1	38.0
第三次試車	時間(s)	4'65	4'32	5'87
	距離(m)	19.2	20.5	22.9
第四次試車	時間(s)	4'61	5'43	5'56
	距離(m)	20.7	22.6	27.1
第五次試車	時間(s)	4'76	4'12	5'46
	距離(m)	25.4	22.8	29.3
第六次試車	時間(s)	6'35	5'64	7'49
	距離(m)	30.7	25.6	38.9
第七次試車	時間(s)	5'81	5'15	6'85
	距離(m)	28.0	23.5	35.6
第八次試車	時間(s)	5'98	4'17	7'11
	距離(m)	22.7	26.6	39.7
平均	時間(s)	5'17	4'65	6'15
	距離(m)	23.72	23.25	31.49
速率(m/s)		4.59	5.00	5.12



圖四十五 水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶之射遠比較圖(三)



圖四十六水火箭車車輪圓周加裝不同止滑材質膠帶射程之速率比較圖(三)



圖四十七 水火箭車車輪 CD 片數及加裝不同止滑材質膠帶射程之速率比較圖

2、討論與發現

- (1)車的輪子圓周面貼上一層防滑布，增加車輛運動的抓地力，因此能夠向固定的方向前進。
- (2)在相同控制變因下，不同止滑材質膠帶對水火箭車射程遠近的影響，不論車輪安裝幾片 CD 片，發現纏繞芯布膠帶的水火箭車，車子的抓地力最強，水火箭車平均射程距離最遠、射程最直、最平穩，速率也最快。
- (3)基於上述因素，實驗以纏繞芯布膠帶做為探究因素，並進行後續相關實驗。

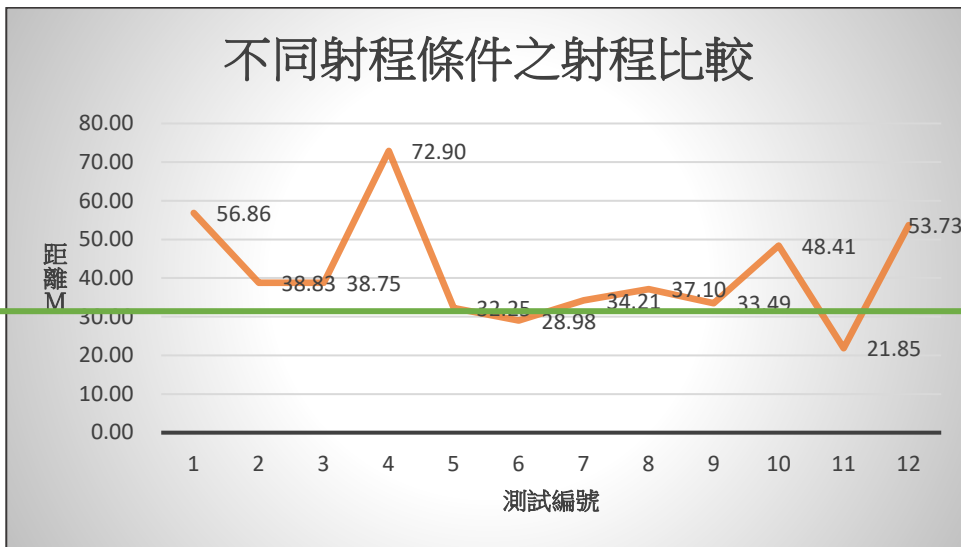
四、活動四：探討能讓水火箭車行駛的遠近因素實驗

為了使水火箭車行駛的更遠、更符合水火箭車比賽需求，根據活動三的相關實驗數據統整，從裝水量、空氣壓力、車輪 CD 片數、CD 大小及膠帶止滑材質等 5 個變因中，設計 12 款組合條件(編號 1-編號 12)來測試，找出能讓水火箭車行駛的較遠 (> 30m) 及行駛的較近 (< 30m) 的因素。

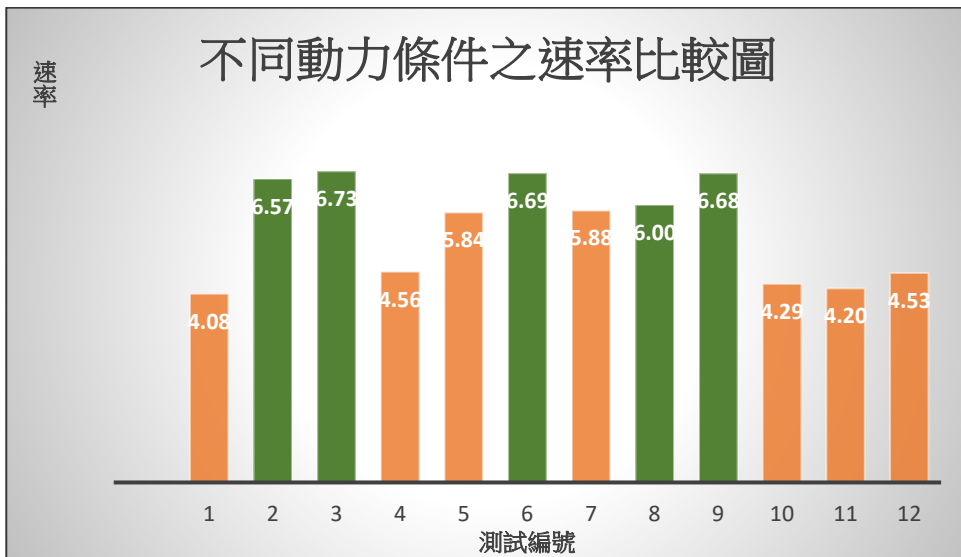
(一)實驗結果

表十二 水火箭車不同射程條件之射程比較記錄表

編號 車體組合條件		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		水量(cc)	350	350	350	500	500	500	650	650	650	950	950	950
壓力(psi)	80	100	120	80	100	120	80	100	120	80	100	120		
CD 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片	3 片		
CD 片大小(cm)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
車體重量 gw)	6362	6362	6362	6362	6362	6362	6362	6362	6362	6362	6362	6362		
止滑膠布材質	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶	芯布 膠帶		
試射射程	第 1 次	時間(s)	17"36	6"72	5"15	15"48	5"21	4"31	4"93	5"12	6"38	13"33	6"23	12"33
		距離(m)	45.9	38.6	41.9	82.7	35.2	22.9	30.4	33.7	33.9	61.3	19.5	66.3
	第 2 次	時間(s)	20"34	5"52	5"05	17"21	4"89	3"51	5"89	5"98	4"72	11"24	4"67	11"44
		距離(m)	67.5	42.3	35.3	61.5	29.6	27.7	38.0	39.1	32.1	48.3	20.3	51.3
	第 3 次	時間(s)	13"03	5"18	5"36	13"63	4"09	4"68	7"03	5"87	4"17	9"22	3"78	9"22
		距離(m)	70	35.8	35.7	58.7	27.9	33.5	36.9	39.3	35.0	41.4	20.5	41.4
	第 4 次	時間(s)	16"01	5"34	5"19	15"68	5"06	4"27	5"41	5"56	4"45	12"81	5"41	12"04
		距離(m)	65	37.9	37.7	73.4	33.1	27.9	32.2	34.7	33.6	48.1	21.7	56.7
	第 5 次	時間(s)	8"85	5"77	5"81	16"11	6"35	4"15	5"11	5"46	5"11	11"26	5"99	10"77
		距離(m)	43.9	36.7	38.9	79.8	34.3	29.5	31.7	34.9	33.3	50.3	27.4	47.9
	第 6 次	時間(s)	15"41	6"51	6"87	17"23	7"11	4"63	6"46	7"49	4"77	12"29	4"98	14"01
		距離(m)	68	43.1	42.7	82.7	36.7	32.3	37.5	38.90	33.6	54.8	19.7	65.2
	第 7 次	時間(s)	9"34	7"13	7"01	16"77	6"17	4"11	5"95	6"85	5"55	10"24	6"11	11"67
		距離(m)	46.7	42.7	44.0	76.5	28.9	27.1	33.8	36.50	33.0	45.9	25.4	50.7
	第 8 次	時間(s)	11"29	5"13	5"64	15"88	5"33	5"01	5"77	7"11	4"94	9"84	4"47	13"44
		距離(m)	47.9	33.5	33.8	67.9	32.3	30.9	33.2	39.7	33.4	37.2	20.3	50.3
	平均	時間(s)	13"95	5"91	5"76	16"00	5"53	4"33	5"93	6"17	5"01	11"28	5"21	11"97
		距離(m)	56.86	38.83	38.76	72.90	32.25	28.98	34.21	36.98	33.49	48.41	21.85	52.73
	速率(m/s)		4.08	6.57	6.73	4.56	5.84	6.69	5.88	6.00	6.68	4.29	4.20	4.53
	大於 30m		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓



圖四十八 水火箭車不同射程條件之射程比較圖



圖四十九 水火箭車不同動力條件之速率比較圖

(二)討論與發現

- 1、水火箭車試射過程的動力行為非常複雜，影響因素包含瓶內裝水量、空氣壓力、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.....等，而車輪 CD 片數、CD 大小及膠帶止滑材質則影響車子行駛的平穩度，重組這些條件組合後，發現編號 1、編號 2、編號 3、編號 4、編號 5、編號 7、編號 8、編號 9、編號 10 及編號 12 組合條件的水火箭車行駛距離符合水火箭車比賽需求；而編號 2、編號 3、編號 6、編號 8 及編號 9 行駛速率超過 6.0m/s，速率快，但編號 6 不符合水火箭車比賽距離。
- 2、根據活動四實驗數據統整，影響水火箭車射程最遠的組合條件：水量在

350cc(水量與空氣比 1：3)，空氣壓力在 120psi，水火箭車所花的時間最短，且行駛的距離大於 30M，最有機會在最短時間內完成水動力火箭車比賽。

3、動力條件 120psi 的打氣壓力不容易達到，須花較長的時間方能完成，雖然編號 3、編號 8 及編號 9 的組合條件能完成水動力火箭車的挑戰，但為了在最短的時間內完成水火箭車的挑戰，應以編號 2 為最佳組合條件。

五、活動五：創意水火箭車設計

依據先前活動實驗結果，找出水火箭車最佳的組合條件，設計二款穩定性佳、射程遠(大於 50m)的水火箭車，並探討設計車款的特性，作為全民科學日的開場秀。

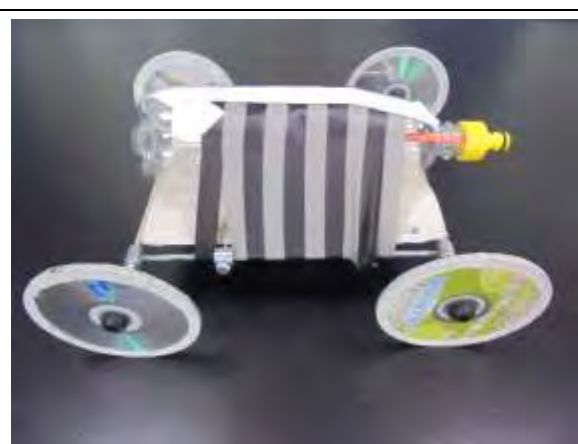
(一)小三衝鋒水火箭車

1、實驗設計

為了使水火箭車平穩的行駛，且距離達到 50m 以上，我們從增加車體的寬度及重量來探討車子的穩定性，首先設計小三衝鋒水火箭車，利用圓形短鐵棒來加寬車底寬度(20cm)，同時添加三孔螺絲增加車子重量，其餘車體條件為 1250 ml 容量瓶身、350cc 的水量、80 psi 的氣壓、3 片 12cm 纏繞芯布膠帶的光碟片，然後發射並測量水火箭車的射程。



圖五十 小三衝鋒水火箭車(正面)



圖五十一 小三衝鋒水火箭車(側面)

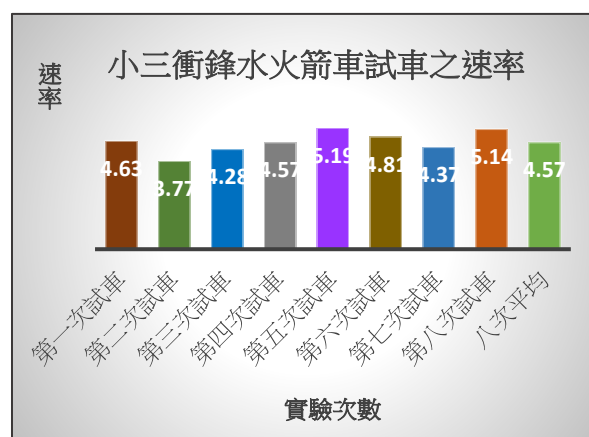
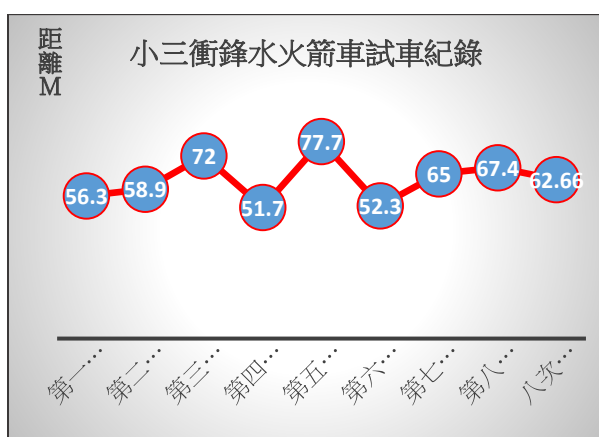
加寬車底寬度，同時利用螺絲增加車子重量，維持車子的穩定性。

2、實驗結果

表十三 小三衝鋒水火箭車發射記錄表

小三衝鋒一號 實驗次數	車體 容量(ml)	車體重 量(gw)	車輪 CD 片數量	水量 (cc)	空氣壓 力(psi)	時間 (s)	距離 (m)	速率 (m/s)
第一次試車	1250	734.1	3 片	350	80psi	12''15	56.3	4.63

第二次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	15''62	58.9	3.77
第三次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	16''83	72.0	4.28
第四次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	11''32	51.7	4.57
第五次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	14''97	77.7	5.19
第六次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	10''87	52.3	4.81
第七次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	14''89	65.0	4.37
第八次試車	1250	734.1	3片	350	80psi	13''12	67.4	5.14
八次平均	1250	734.1	3片	350	80psi	13.72	62.6	4.57



圖五十二 小三衝鋒水火箭車射遠之比較圖 圖五十三小三衝鋒水火箭車射遠之速率

3、討論與發現

- (1)在此條件設計下，小三衝鋒水火箭車的試射結果，每次射程都能達到預期水準(> 50m)，且平穩地往前直駛。證明加寬車體及增加車體重量的設計有助車子平穩地前進。
- (2)小三衝鋒水火箭車行駛距離變長，且時間也相對拉長，與活動二試車時間數值比較，不減反增，不符合水火箭車創意設計比賽。

(二)超級小三水火箭車

1、實驗設計

我們延續第一款車型設計—增加車子的重量，這款車並未加寬車體設計，而是加寬車輪厚度來增加車子重量，並利用砂紙增加車子的抓地力，取名「超級小三水火箭車」，其餘車體條件為 1250 ml 容量瓶身、350cc 的水量、80 psi 的氣壓、8 片 12cm 纏繞砂紙的光碟片，然後發射並測量水火箭車的射程。



圖五十四 超級小三水火箭車(正面)



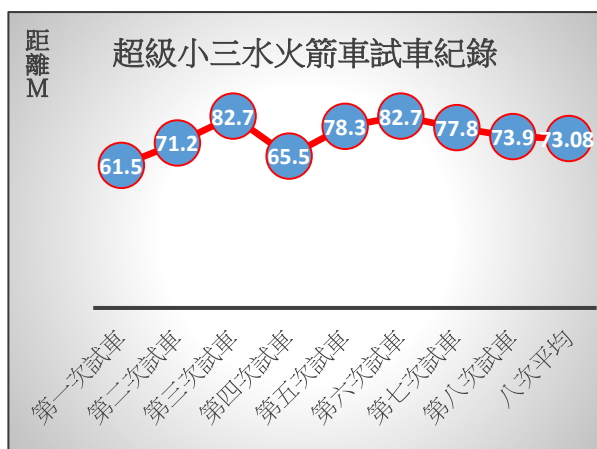
圖五十五 超級小三水火箭車(側面)

加寬車輪厚度，並利用砂紙增加車子的抓地力，維持車子平穩性。

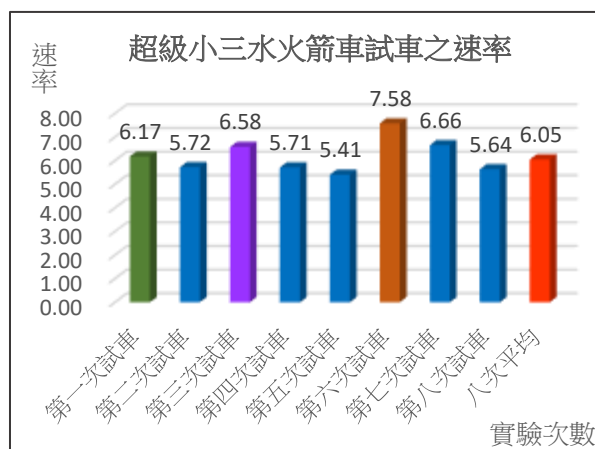
2、實驗結果

表十四 超級小三水火箭車發射記錄表

小三衝鋒二號 實驗次數	車體 容量(ml)	車體重 量(gw)	車輪 CD 片數量	水量 (cc)	空氣壓 力(psi)	時間 (s)	距離 (m)	速率 (m/s)
第一次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	9''96	61.5	6.17
第二次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	12''44	71.2	5.72
第三次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	12''57	82.7	6.58
第四次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	11''47	65.5	5.71
第五次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	14''48	78.3	5.41
第六次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	10''91	82.7	7.58
第七次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	11''69	77.8	6.66
第八次試車	1250	932.3	8 片	350	80psi	13''11	73.9	5.64
八次平均	1250	932.3	8 片	350	80psi	10''08	73.08	7.25



圖五十六 超級小三水火箭車試車之射之比較圖



圖五十七 超級小三水火箭車射遠之速率

3、討論與發現

- (1)第二款車子的設計，著重於車體重量的增加及輪胎的抓地力，超級小三水火箭車的試射結果遠比小三衝鋒水火箭車佳，射程距離超越第一款車型設計，都能達 60m，且所花時間短、速率快。證明輪胎加寬並使用砂紙改變輪胎與地面的摩擦力的設計，有助車子快速且平穩地前進。
- (2)超級小三水火箭車行駛時間短、且距離變長(> 60m)，與活動二試車時間數值比較，大大減少行車時間，提升行駛的速率，符合水動力火箭車創意設計比賽。

陸、討論

一、影響水火箭車發射的動力因素有哪些？

- (一)影響水火箭車發射的動力主要在水與空氣比例、寶特瓶中的空氣壓力、氣壓壓縮水的體積，所產生的反作用力、噴水的作用力以及空氣阻力。
- (二)車體的設計會影響水火箭車的發射，例如：增加車體重量、車輪止滑膠帶的材質、輪胎的寬度.....等，都會影響水火箭車的發射。
- (三)還有天候因素的影響，例如：雨天造成地面濕滑，會減少車子的摩擦力；實驗時，風向會使水火箭車行駛方向偏向，順風，水火箭車車速加速；逆風，水火箭車車速減緩。

二、製作與發射過程中有些事情需要注意？

- (一)箭身的寶特瓶要用 1250cc(配合比賽用)，且要用裝汽水的寶特瓶，較耐壓，一般瓶身並沒有考慮耐壓設計，一但開始灌入空氣加壓，瓶身易變形毀損。
- (二)車體的連接需緊密固定，且需使用電工膠帶接合箭身，也需確定纏緊、纏牢。
- (三)在發射前必須清場，並規劃出一塊區域做為目標地，避免發射周圍有人，造成意外發生。

三、哪些部位加工處理，會影響水火箭車的性能？

- (一)車體零件的接合處可使用止瀉帶、5mm 小圓環，使其緊密連接，讓車體固定不易搖晃；此外，輪胎加寬不易與氣嘴固定，此時的連接可使用熱溶膠來固定，

車子方向才不會受影響而飄忽不定。

(二)發射器的卡損使用前須測試，確認是否會卡住，並反覆操作鬆開水火箭車與發射器的卡損的連接，有助於發射的順暢性。

(三)車體重量的增加，有助於車子行駛的穩定性，透過車體零件的增加或輪胎 CD 片數的增加，都能有效增加車體重量。

柒、結論

這次的研究讓我們了解到原來創意水火箭車比賽事前的測試是很重要的，之前的比賽，我們學習組裝車輛並不斷練習，憑感覺去決定水量及打氣次數；但這次做科展，卻針對影響水火箭車發射的因素一一去做測試，這也讓我們受益良多，原來數據真的會說話，科學真的需要有憑有據。以下是這次研究歸納的幾個結論：

- 一、水火箭車前進的路徑、距離和一般預期之路線常相差甚遠與變化很多，因為彈開瞬間未能百分之百控制它的氣壓與水流、箭頭與箭身被反推而發射能否固定在一筆直方向間的作用力，所以路徑常有變化。
- 二、影響水火箭車前進的因素非常複雜，其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、車體重量、車輪大小.....等，從實驗數據顯示，水火箭車發射時的裝水量及空氣壓力的實驗結果都能明確比較出差異性。
- 三、全程的水火箭車行駛的過程可明顯看出車子由靜止狀態開始加速前進，直至水噴完，會受到空氣阻力的影響而減速、停止，理論上被推出去的水若愈重，水給水火箭車的推力也愈強。但在本研究中，打氣壓力愈大，作用力就愈大，車子的衝勁愈強，剛開始的爆發性很大，但壓力快速洩光後，車體內氣壓逐漸降低且瓶內氣壓的體積逐次增大，水火箭車很快就失去動力，加上空氣阻力，其能量減少便慢慢停下，或碰撞障礙物而停止。
- 四、在活動三、四的實驗中發現，發射 1250ml 的水火箭車，花費時間短且行駛距離要超過 30m 以上，以注入 350 cc 的水量為最適當的水位、壓力值在 120psi、6 片 CD、12cm 車輪及芯布膠帶時，水火箭車的射程距離最佳、所花時間最短，此時水火箭車行駛的距離與路徑最接近我們要的數據，為最佳的實驗結果。

- 五、依水火箭車最佳行駛動力條件設計的創意水火箭車(超級小三水火箭車)，以 7.25(m/s)的速率行駛，單就車子行駛三次的時間，能在 10 秒內完成創意水火箭車，有機會在下一屆競賽中得冠軍。
- 六、水火箭車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，加上適當的配重，即完成一個環保、節能又有趣味的科學玩具，整個研究過程相當有趣，是個值得推廣的科學競技，但影響水火箭車之行駛性能的因素眾多，值得再深入探究。
- 七、水火箭車推力愈強，行駛的衝勁愈強，容易爆衝造成車體結構撞歪，為了改進修車技術，指導教師讓我們運用所學的槓桿原理及熱脹冷縮的原理來恢復鐵條的形狀，透過測試檢視實驗器材是否恢復原有的功能性，是實驗過程中額外的收穫。
- 本次實驗雖未對所有變因進行探討，但卻開啟我們想繼續研究改良的科學之心，以水為動力的交通工具，既節能又能減少碳排放量，但卻需要有大容量的水箱來儲水提供動能，若能針對瓶子的容量大小、空氣壓力注入的形式、車體的大小及動能的轉換加以研究，勢必能做出更具創意的水火箭交通工具。

捌、參考資料及其他

- 一、翰林版自然與生活科技六下第一單元，力與運動，4-19。
- 二、呂理德、黃正熙、王士賓(2014)。水火箭之設計與應用。《黎明學報》，25(1)，81-86。取自 <http://libwri.nhu.edu.tw:8081/Ejournal/AU01250109.pdf>
- 三、薛皓薰、蕭子桓、林承泰、洪子森、林宗毅、施邵盈(2017)。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。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/elementary/0815/081525.pdf>
- 四、水火箭的原理及製作。取自 <https://cd1.edb.hkedcity.net/cd/science/aerospace/guide.htm>
- 五、孩子王的寶特瓶世界-水火箭。取自 <http://www.sonking.com.tw/principle.html>
- 六、水火箭。國立台中教育大學科學教育與應用學系。取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-008.html>
- 七、水火箭。修平科技大學。取自 <http://ir.hust.edu.tw/bitstream/310993100/2892/1/>
- 八、翱翔天際—水火箭射程遠近的因素探討。中山附中。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/03/2016032819244288.pdf>

【評語】 080104

1. 本研究利用寶特瓶、CD 設計水火箭車，藉由高壓氣體將水推出瓶外，形成水火箭車行駛的動力，從實驗中 找出空氣與水的比例、打氣壓力、輪胎寬度、大小與胎紋 摩擦力……等對車子行駛的影響。
2. 水火箭車發射時容易偏斜，宜加強設計，改善此問題，以便於實驗操作及分析。
3. 題目名稱應能反應實驗探究的實質內容，本作品名稱不易讓人聯想研究內容。
4. 研究設計有瑕疵，致使推論困難：例如第 3 點探討不同 CD 片數量（作為車輪）或是第 4 點探討不同輪胎大小對於射程遠近的影響：作者改變了車輪 CD 片的數量或是直徑大小，卻未控制整體車子的質量。

摘要

本研究利用回收寶特瓶、廢棄 CD 及重複使用的鐵條設計好玩的水火箭車，藉由高壓氣體將水推出瓶外，形成水火箭車行駛的動力；從實驗中找出空氣與水的比例、打氣壓力、輪胎寬度、大小與胎紋(摩擦力)等對車子行駛的影響，探究能讓車子行駛最平穩、快速的最佳條件。

研究結果發現：水量在 350cc、空氣壓力 120psi，水火箭車具有較大的動能；輪胎 CD 片數愈多、輪胎直徑愈大及止滑膠帶材質摩擦力愈大，皆會讓車子行駛的路徑不易偏離及增加了穩定性。

我們從最佳條件中去設計了多款節能環保的創意水火箭車，再經過不斷創作與改良，終於完成了一款符合競賽規則、節能環保的水動力概念車，同時也激發出了一個又一個的研究靈感，我想這是我們這次科展最大的收穫。

壹、研究動機

這學期參加 107 學年度水火箭車創意設計競賽，在操作與練習的過程中，我們學到了壓力差、作用力與反作用力、注入的水量、車輪寬度(光碟片數量)、車體穩定度等因素，能使水動力火箭車更平穩、更快速地行駛。而比賽的材料大多是固定的，能改變的只有裝水量、打氣壓力、車架組合的位置及車輪寬度。雖然這場比賽我們依規定完成發射動作，並在規定時間內(四分鐘)完成 10 公尺(10 分)、15 公尺(15 分)、20 公尺(20 分)的關卡，但車子行駛速度太慢，導致我們輸了比賽。

當教師問我們科展想做什麼題目時，在眾多題目中，大家一致決定，找出水火箭車競賽時的最佳組合條件，明年再戰。雖然到時我們已經畢業，但能留下必勝絕招給學弟妹們，也是我們對學校的最大貢獻。

在實驗最後階段，我們產生了更多的想法並和老師討論，試圖找出更多水火箭車最佳的行駛組合條件。著手進行更深入的研究，是我們接下來要面對的挑戰。





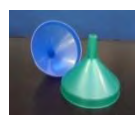



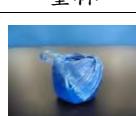

貳、研究目的

水火箭車創意設計競賽是由參賽者現場創作及測試水火箭車，除了大會規定的制式車架材料包，參賽者可以使用大會提供的現成車輪或廢棄光碟來設計車輪，並利用水為動力，在規定的時間內完成三個關卡的測試，最後以完成速度的快慢來決定成績。本研究主要探究影響水火箭車行駛的各種因素，找出水火箭車最快速、平穩的行駛組合條件。針對研究我們進行了下列的實驗探究：


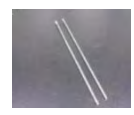
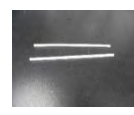

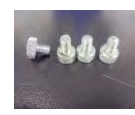


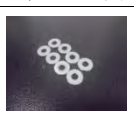

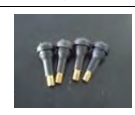
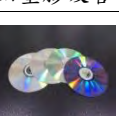


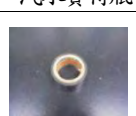
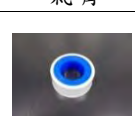
- 一、探討水火箭車的行駛動力。
- 二、探討打氣壓力、空氣與水的比例及地面摩擦力對水火箭車之影響。
- 三、探討其它影響水火箭車前進的變因。
- 四、探討增進水火箭車推進性能的最佳條件。
- 五、設計與探討創意的水火箭車。

參、研究設備及器材

一、研究設備

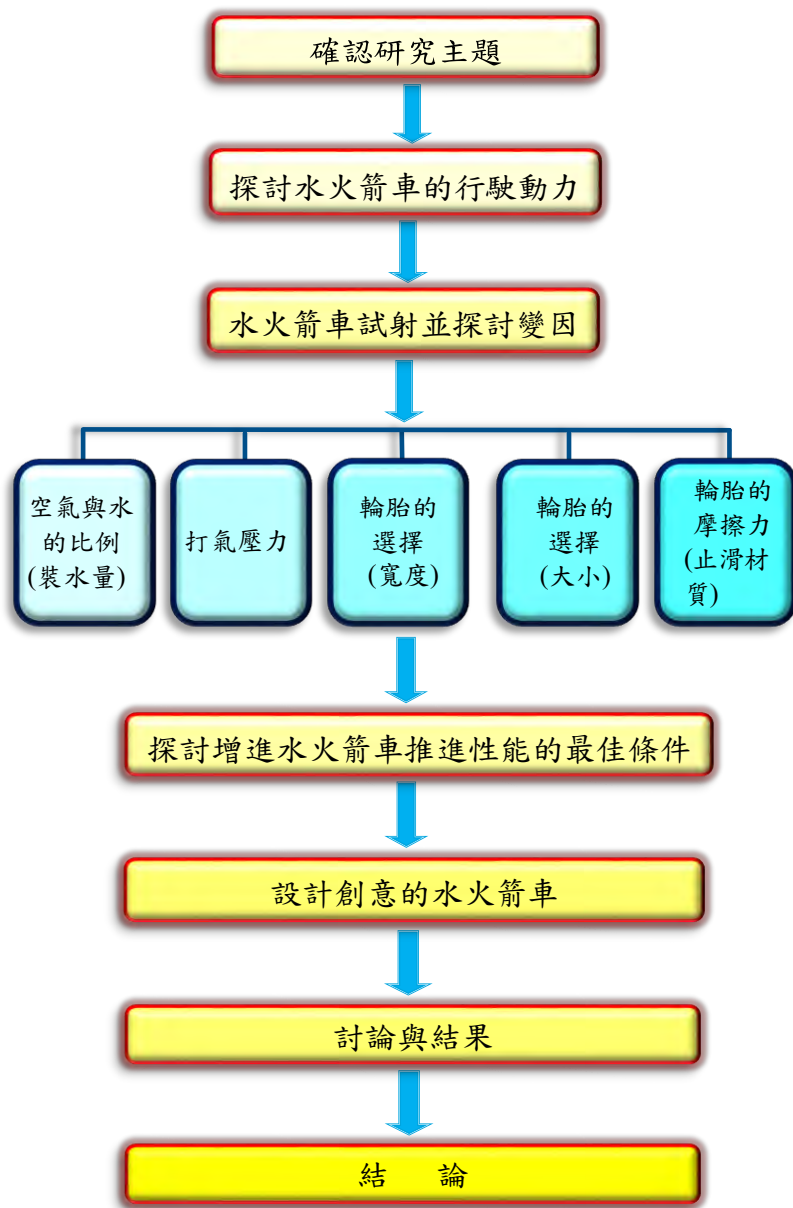
				
打氣筒	捲尺(50m)	碼表	量杯	漏斗
				
水桶	電子秤	發射器	塑膠繩	老虎鉗

二、研究器材

				
六角長鐵條	圓形長鐵條	圓形短鐵條	四孔螺絲	螺帽
				
細塑膠吸管	專業噴嘴	5mm 小圓環	汽水寶特瓶	氣嘴
				
CD 光碟片	鐵尺	芯布膠帶	電工膠帶	止瀉帶

肆、研究過程與方法

一、研究過程流程圖



二、研究方法

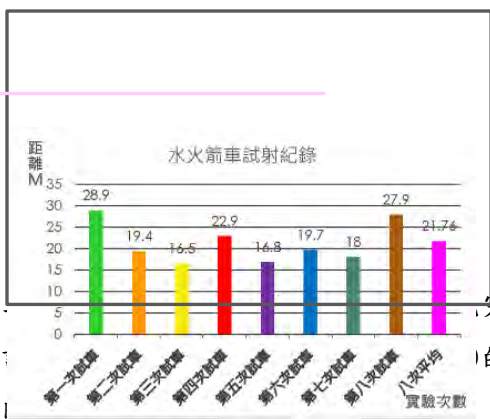
- (一)活動一：水火箭車原理文獻探討
- (二)活動二：水火箭車製作及測試
- (三)活動三：探討水火箭車行駛的動力
 - 1、探究裝入不同水量對射程遠近的影響
 - 2、探究不同空氣壓力對射程遠近的影響
 - 3、探究不同 CD 片數量對射程遠近的影響
 - 4、探究不同輪胎大小對射程遠近的影響
 - 5、探究不同輪胎摩擦力對射程遠近的影響
- (四)活動四：探討水火箭車行駛最佳狀態的遠近因素
- (五)活動五：創意水火箭車設計與探討

伍、研究結果

一、活動一：水火箭車原理

施放程序	說明	物理名詞
加水	提供質量，增加動量。	動量守恆
打氣	利用空氣施壓瓶內水，水火箭車內部壓力增加，產生作用力與反作用力。	氣壓
發射	打開噴嘴，利用水火箭車內、外空氣壓力差，使水瞬間向外噴出，產生反作用力推進水動力火箭車跑遠、跑快。	作用力 反作用力
前進	衝力使車子前進時，空氣阻力及摩擦力將使水火箭車減速、停止。	空氣阻力 摩擦力

二、活動二：水火箭車製作方法及測試



(一) 在水火箭車創意設計競賽關卡(10m、15m、20m)挑戰僅三次過關，顯示確實有相當的改進空間。

(二) 能完成水火箭車創意設計競賽關卡(10m、15m、20m)挑戰僅三次過關，顯示確實有相當的改進空間。

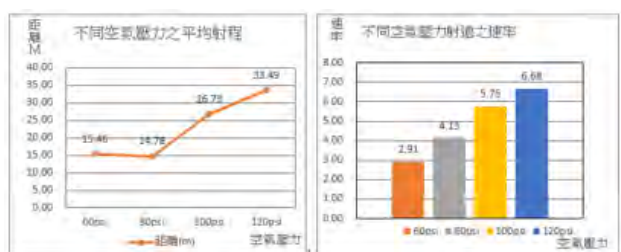
三、活動三：探討水火箭車行駛的動力

(一) 探究裝入不同水量對射程遠近的影響



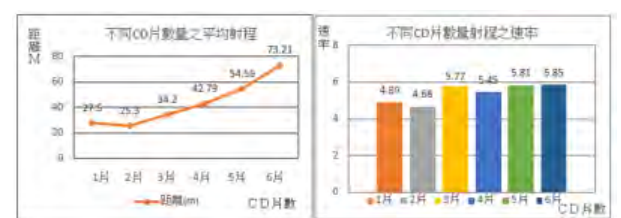
- 1、水量越多不一定跑得越遠，看折線圖的數據，水量在 1250cc 時，因為壓力不容易打進瓶中，所以距離反倒是最近的，而水量在 1100cc 射程距離最遠；水量在 900cc，排名第二；水量在 350cc，排名第三。
- 2、當水量 1100cc 時，水火箭車跑得最遠，但所花時間也最長，不符合比賽所需，而 350cc 水火箭車的速率，確實縮短了比賽所需時間，也達到了距離的要求。

(二) 探究不同空氣壓力對射程遠近的影響



- 1、空氣壓力越大，水火箭車射程最遠。
- 2、空氣壓力在 100 psi 及 120 psi 時，水火箭車的平均射程距離最遠，但實驗者在完成 100 psi 及 120 psi 的打氣卻花了更多的時間。

(三) 探究不同 CD 片的數量對射程遠近的影響



- 1、發現 CD 片數量越多，水火箭車射程最遠。
- 2、車輪安裝 3 片 CD 以上，水火箭車每次試射的距離皆達 30m 以上，證明輪胎寬度越寬，車子行駛越平穩。

(四) 探究不同車輪大小對射程遠近的影響



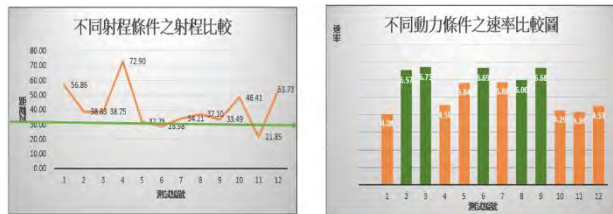
- 1、不同大小 CD 的車輪，1 片和 3 片 CD，小車輪之射程距離比大車輪遠，但小車輪的行徑路線較怪異。
- 2、從速率來看，不論安裝 CD 片數量，大車輪比小車輪之速率快，且 CD 數量越多，車子行駛愈平穩愈快。

(五) 探究不同輪胎磨擦力對射程遠近的影響



不論車輪安裝幾片 CD 片，發現纏繞芯布膠帶的水火箭車，車子的抓地力最強，水火箭車平均射程距離最遠、路徑最直、最平穩，速率也最快。

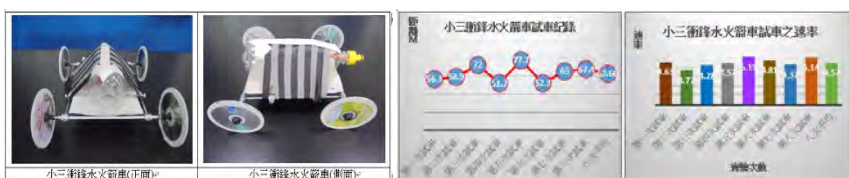
四、活動四：探討水火箭車行駛遠近的最佳組合



- 1、水火箭車試射過程的動力行為非常複雜，重組行駛動力條件合後，發現水火箭車射程最佳化的組合條件：水量在 350cc(水量與空氣比 1:3)，空氣壓力在 120psi，水火箭車所花的時間最短，且行駛的距離大於 30M，最有機會在最短時間內完成水動力火箭車比賽。
- 2、動力條件 120psi 的打氣壓力不容易達到，須花較長的時間方能完成，但為了在最短的時間內完成水火箭車的挑戰，以編號 2 為最佳組合條件。

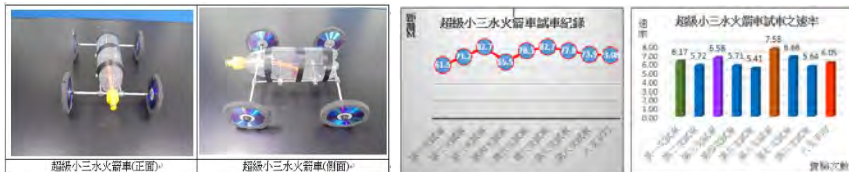
五、活動五：創意水火箭車設計

(一) 小三衝鋒水火箭車



- 1、在此條件設計下，小三衝鋒水火箭車的試射結果，每次射程都能達到預期水準(>50m)，且平穩地往前直駛。證明加寬車體的設計有助車子平穩地前進。
- 2、小三衝鋒水火箭車行駛距離變長，且時間也相對拉長，與活動二試車時間數值比較，不減反增，不符合水火箭車創意設計比賽。

(二) 超級小三水火箭車



- (1) 此車款的設計著重於車子輪胎的寬度及抓地力，超級小三水火箭車的試射結果遠比小三衝鋒水火箭車佳，射程距離超越第一款車型設計，證明輪胎加寬並使用砂紙改變輪胎與地面的摩擦力的設計較優。
- (2) 超級小三水火箭車行駛時間短、且距離變長，大大減少行車時間，提升行駛的速率。

一、影響水火箭車發射的動力因素有哪些？

(一)影響水火箭車發射的動力主要在水與空氣比例、寶特瓶中的空氣壓力、氣壓壓縮水的體積，所產生的反作用力、噴水的作用力以及空氣阻力。

(二)車體的設計會影響水火箭車的發射。

(三)還有天候因素的影響。

二、製作與發射過程中有些事情需要注意？

(一)箭身的寶特瓶要用 1250cc(配合比賽用)，且要用裝汽水的寶特瓶。

(二)車體的連接需緊密固定。

(三)在發射前必須清場。

三、哪些部位加工處理，會影響水火箭的性能？

(一)車體零件的接合處可使用止瀉帶、5mm 小圓環、熱溶膠，使其緊密連接。

(二)發射器的卡損使用前須測試。

(三)車體重量的增加，有助於車子行駛的穩定性。

柒、結論

這次的研究讓我們了解到原來創意水火箭車比賽事前的測試是很重要的，之前的比賽，我們學習組裝車輛並不斷練習，憑感覺去決定水量及打氣次數；但這次做科展，卻針對影響水火箭車發射的因素一一去做測試，這也讓我們受益良多，原來數據真的會說話，科學真的需要有憑有據。以下是這次研究歸納的幾個結論：

一、水火箭車前進的路徑、距離和一般預期之路線常相差甚遠與變化很多，且影響其前進的因素非常複雜，包含空氣阻力及瓶內壓力、瓶內水噴出過程中的反作用力與瓶內水位變化、瓶內水與空氣的變化、車體重量、車輪大小……等，從實驗數據顯示，水火箭車發射時的裝水量及空氣壓力的實驗結果都能明確比較出差異性。

二、全程的水火箭車行駛的過程可明顯看出車子由靜止狀態開始加速前進，直至減速、停止，理論上被推出去的水若愈重，水給水火箭車的推力也愈強。但在本研究中，打氣壓力愈大，作用力就愈大，車子的衝勁愈強，剛開始的爆發性很大，但壓力快速洩光後，車體內氣壓逐漸降低且瓶內氣壓的體積逐次增大，水火箭車很快就失去動力，加上空氣阻力，其能量減少便慢慢停下。

三、從實驗中發現，影響水火箭車行駛的動力因素之中，以注入 350 cc 的水量、壓力值在 120psi、6 片 CD、12cm 車輪及纏繞芯布膠帶等為最佳化組合，此時水火箭車行駛的距離最遠、最平穩、所花時間最短，最接近我們要的數據，為最佳的實驗結果。

四、依水火箭車最佳行駛動力條件設計的創意水火箭車(超級小三水火箭車)，以每秒 7.25 公尺的速率行駛，單就車子行駛三個關卡，只要花 10 秒，就能完成創意水火箭車競賽，很有機會在下一屆競賽中得冠軍。

五、水火箭車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，加上適當的配重，即完成一個環保、節能又有趣味的科學玩具，整個研究過程相當有趣，是個值得推廣的科學競技，但影響水火箭車之行駛性能的因素眾多，值得再深入探究。

六、水火箭車推力愈強，行駛的衝勁愈強，容易爆衝造成車體結構撞歪，為了改進修車技術，指導教師讓我們運用所學的槓桿原理及熱脹冷縮的原理來恢復鐵條的形狀，透過測試檢視實驗器材是否恢復原有的功能性，是實驗過程中額外的收穫。

本次實驗雖未對所有變因進行探討，但卻開啟我們想繼續研究改良的科學之心，以水為動力的交通工具，既節能又能減少碳排放量，但卻需要有大容量的水箱來儲水提供動能，若能針對瓶子的容量大小、空氣壓力注入的形式、車體的大小及動能的轉換加以研究，勢必能做出更具創意的水火箭交通工具。

捌、參考資料及其他

- 一、翰林版自然與生活科技六下第一單元，力與運動，4-19。
- 二、呂理德、黃正熙、王士賓(2014)。水火箭之設計與應用。黎明學報，25(1)，81-86。取自 <http://libwri.nhu.edu.tw:8081/Ejournal/AU01250109.pdf>
- 三、薛皓薰、蕭子桓、林承泰、洪子森、林宗毅、施邵盈(2017)。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。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/elementary/0815/081525.pdf>
- 四、水火箭的原理及製作。取自 <https://cd1.edb.hkedcity.net/cd/science/aerospace/guide.htm>
- 五、孩子王的寶特瓶世界-水火箭。取自 <http://www.sonking.com.tw/principle.html>
- 六、水火箭。國立台中教育大學科學教育與應用學系。取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-008.html>
- 七、水火箭。修平科技大學。取自 <http://ir.hust.edu.tw/bitstream/310993100/2892/1/>
- 八、翱翔天際—水火箭射程遠近的因素探討。中山附中。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/03/2016032819244288.pdf>