

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

佳作

080117

風狂寶寶巴士-寶特瓶動力車初探

學校名稱：雲林縣林內鄉九芎國民小學

作者： 小六 蔡謹仔 小六 張育甄 小六 李昱姍 小六 賴冠宇 小六 林晏妃 小六 紀惠心	指導老師： 林怡君 林靖淑
---	-----------------------------

關鍵詞：寶特瓶、動力車

摘要

本實驗使用寶特瓶及其他生活中隨手可得的素材製作寶特瓶動力車，藉由改變輪子設計，如輪子寬窄、車輪紋路及路面材質設計等，來了解車輪與路面對動力車行進快慢的影響。再改變動力風扇葉片的構造設計，以改變風扇大小、葉片數量、葉片彎折角度以及葉片造型等方式，來探討風扇葉片對動力車行進距離與速度的效果。實驗結果發現：使用窄輪子的行駛距離比寬輪子長；加裝橡皮筋在輪子上時，胎紋為 1 條橡皮筋的行駛距離最長；路面部分，動力車行駛在美耐板路面上的距離表現較佳；風扇部分，則以直徑 13.5 公分、8 片葉片、葉片呈現 80 度彎折角度以及裙子型的風扇葉片組合，能使寶特瓶動力車行進更遠，速度更快。

壹、研究動機

四年級上學期自然課中有「交通工具與能源」單元，除了課本設計的橡皮筋動力車之外，應該還可以透過生活周遭隨手可得的素材，例如：寶特瓶、橡皮筋、竹筷……等，製作其他款動力車。偶然在網路上看到橡皮筋動力車的影片，覺得非常有趣，而且材料也容易取得，於是就試著自己動手做做看，卻發現有的車子動不起來，於是產生研究這個主題的念頭，希望透過藉由操控各種變因來探討影響寶特瓶動力車行進距離與速度的原因。在研究初期討論的時候，就寶特瓶動力車的組合條件，我們提出可探究的面向大致有：車體、輪子、橡皮軸、風扇，因為動力車的動力來源是由風扇帶動空氣推進，透過輪子轉動前進，所以我們決定從輪子和風扇開始研究。

貳、研究目的

一、探討寶特瓶動力車輪胎與行進之關係

- (一)比較不同車輪寬度的車子行進距離與速度
- (二)比較不同車輪胎紋的車子行進距離與速度
- (三)比較行駛於不同路面的車子行進距離與速度

二、探討寶特瓶動力車風扇葉片與行進之關係

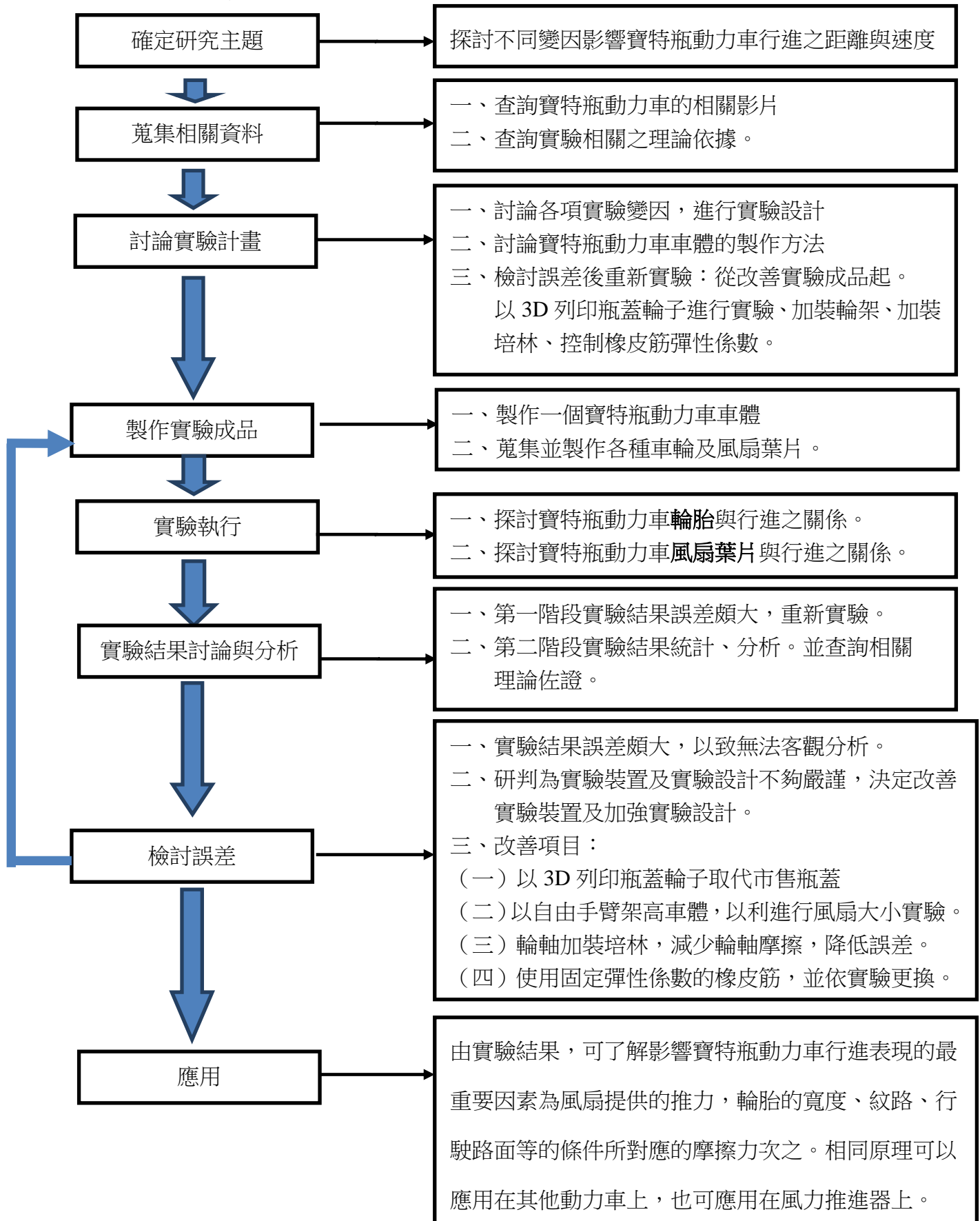
- (一)比較不同風扇直徑的車子行進距離與速度
- (二)比較不同風扇葉片數量的車子行進距離與速度
- (三)比較不同風扇葉片角度的車子行進距離與速度

參、研究設備及器材

	
<p>自製寶特瓶動力車(作法詳見肆之四)</p>	<p>跑道(材質:美耐板、砂紙、PU)</p>
	
<p>捲尺、直尺、碼表(測量距離與時間)</p>	<p>橡皮筋彈力測量架 (測量彈性係數)</p>
	
<p>量角器(測量風扇彎折角度)</p>	<p>相機、手機(用以錄影與拍照)</p>

肆、研究過程與方法

一、研究流程：



二、蒐集相關資料：

本實驗動力車行進方式，是藉由扭轉橡皮筋產生「彈性能」，再由彈性能轉換為「動能」帶動風扇轉動，由風扇葉片帶入空氣造成氣流，推動車體前進。實驗中參考的理論依據如下：

(一)流體力學：實驗中使用的風扇葉片並非是一平面，而是一扭轉的曲面，這是讓風力集中更強的設計。觀察普通電風扇的扇葉角度設計的是將空氣往前吹，電風扇在轉動時，扇葉切開空氣會產生氣壓差，使空氣開始流。

(二)牛頓力學—作用力與反作用力：當風扇葉片轉動時，葉片的斜角會與空氣產生磨擦空氣會被「推走」，葉片對空氣施予一個作用力，同時被推走的空氣會對葉片產生一股反作用力。這是牛頓發現的「作用力與反作用力」原理，然而被推走的空氣，就可以推動車子前進。

(三) 摩擦力：

1. 靜摩擦力：當相互接觸的兩個物體相對靜止，但是存在著相對運動的趨勢時，在接觸面之間會產生一個阻礙相對運動的力，這個力就是靜摩擦力。當外力加大到使物體開始移動的一瞬間，靜摩擦力增大到了最大值，稱為最大靜摩擦力。
2. 滾動摩擦：是阻礙物體（例如球，輪胎等）在另一物體表面滾動的力。物體滾動過程中，滾動體及其所在的滾動面或其他物體的接觸面受壓變形，產生滾動摩擦。滾動因數跟物體表面材料，形狀及物理上施加重量有關，也跟輪胎運動表面壓變形多少有關。
3. 滑動摩擦：指的是一個物體在另一個物體表面上發生相對於另一個物體滑動運動的時候，要受到另一個物體阻礙它相對滑動的力，這種力就叫做滑動摩擦力。滑動摩擦力的方向總和接觸面相切，並和物體的相對運動相反。
4. 滾壓摩擦：滾動運動和滑動運動同時存在的混合摩擦。本實驗中發現，在寶特瓶動力車的行進時，出現滾動運動和滑動運動同時存在的情形。

三、 討論實驗計畫：

(一) 討論各項實驗變因，進行實驗設計：我們起初從動力車的四個主要部分一來看，推測車體、輪子、橡皮軸、風扇都會影響行進表現。因為動力車的動力來源是由風扇帶動空氣推進，透過輪子轉動前進，所以我們決定以輪子和風扇為本次初探研究內容。我們針對輪子的接觸面寬窄、輪子外加裝不同數量橡皮筋做為不同胎紋，以及套上橡皮筋後的輪子行駛在不同路面上的差異，藉以探討輪子摩擦力的影響情形。風扇部分，則從改變風扇大小、葉片數量、葉片彎折角度，藉以探討風扇轉動提供推力的情形。

(二) 討論寶特瓶動力車車體的製作方法：我們先模仿網路影片的製作方式，然後試跑動力車。初步製作後發現：如果要做實驗，必須使用細鐵棒當輪軸，會比竹籤耐用；另外，影片中的車體部分是圓柱狀寶特瓶，我們覺得不容易找到鑽車軸孔位置，所以改用方型寶特瓶，方便進行實驗裝置製作。風扇部分，為求造型、材料統一，全部以單一品牌圓柱瓶的上半段製作。起初在輪子的部分先以市售不同品牌之寶特瓶蓋（四輪相同），中間鑽孔當作輪子，再檢討初步實驗結果後，為求統一材質，決定以 3D 列印瓶蓋造型的輪子進行實驗。

(三) 檢討誤差後重新實驗：

在初步實驗後，我們發現在我們的實驗裝置中，存在許多誤差的部分：

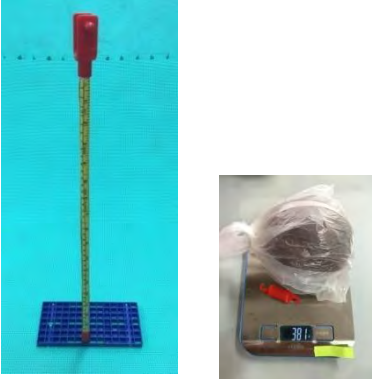
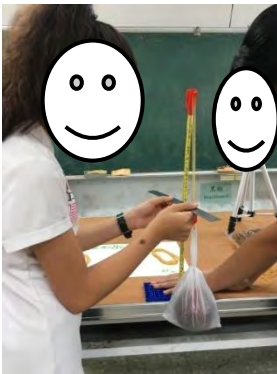

1. 市售飲料瓶蓋材質不一。
2. 車體上輪軸孔的位置間接限制了風扇的尺寸。
3. 輪軸在轉動時與寶特瓶上的輪軸孔摩擦過大造成晃動。
4. 橡皮筋長度不足必須相接延長，但在扭轉後容易卡住。
5. 動力車行駛在磨石子地面上可能會受到地面不平的影響。

所以我們決定重新實驗，從改善實驗成品著手，希望能縮小實驗誤差。

1. 3D 列印輪子：以統一線材的 3D 列印瓶蓋造型的輪子進行實驗。
2. 加裝輪架：運用校內機器人課程中會用到的自由手臂，加裝在寶特瓶車體上，做為輪架，可以確定對應輪軸的位置，架高後的車體，才能進行

風扇大小的實驗，以探求針對車體出最佳化的風扇尺寸。

3. 加裝培林：為減少輪軸的摩擦，我們原本嘗試用套管隔開鐵軸與瓶身上的軸孔，但轉起來有時仍會晃動，令我們有些苦惱。蒐集資料後發現，要減少摩擦可以運用潤滑劑或軸承裝置，恰巧前陣子很流行「指尖陀螺」，他是運用培林轉動，讓我們想到如果在軸孔上加裝培林，應該能夠讓摩擦力減少，讓實驗誤差降低。
4. 控制橡皮筋彈性係數：在初步實驗中，我們依照網路上的影片製作橡皮軸，使用的是一般長度的橡皮筋，當長度不夠時就相接延伸；可是實驗時經常會發生橡皮筋卡住的情形，導致影響實驗結果。決定重新實驗後，我們決定改採用大橡皮筋，就不須加長。另外，為了減少橡皮筋的彈力誤差，我們運用自然天平教具，製作了一個「橡皮筋彈性係數測量架」，將一整包大橡皮筋逐條測量，篩選出最中間值的彈性係數橡皮筋(21 公分)，運用在實驗上。為了避免彈性疲乏的問題，我們決定每做一項實驗，就要更換全新的橡皮筋。於是我們利用氣球座當成橡皮筋的套鉤，加裝在風扇軸上，以便替換。

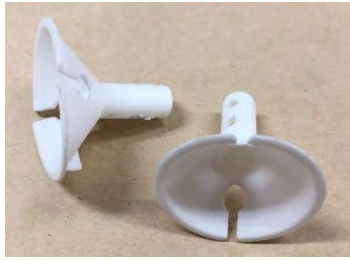
		
<p>在天秤教具上貼上布尺。 以塑膠袋裝一顆木球，加上掛勾共重 381 公克。</p>	<p>將平放長度為 10 公分的橡皮筋套在架上，勾上裝了木球的塑膠袋(381 公克)，測量橡皮筋拉長後的長度。</p>	<p>篩選出橡皮筋拉長後的長度為 20 公分、21 公分、22 公分的橡皮筋，拉長後少於 20 公分或長於 22 公分的橡皮筋都排除不用。最後以彈性係數 21 公分的橡皮筋為實驗材料。</p>

5. 採用固定式美耐板軌道：為了能更確實的測量動力車的行進表現，排除因地面水平不佳的影響，我們使用採用固定式美耐板軌道，並在軌道上貼上布尺與參考線、出發區，方便實驗觀察。在實驗中，若因動力車歪斜擦撞牆面，則不列入實驗結果，需調整車子後重新實驗。

四、 製作實驗成品－寶特瓶動力車

(一) 準備材料：如下圖所示

 <p>寶特瓶</p>	 <p>橡皮筋</p>	 <p>寶特瓶蓋</p>
 <p>培林、螺絲組</p>	 <p>百變機器人自由手臂</p>	 <p>3D 列印之寶特瓶蓋</p>
 <p>鐵製輪軸、墊片</p>	 <p>手搖鑽</p>	 <p>美工刀</p>
 <p>熱熔膠</p>	 <p>尖嘴鉗、剪刀、螺絲起子</p>	 <p>竹 筷</p>



氣球固定座



標示膠帶、快乾膠

(二)製作步驟：改編自網路影片<如何使橡皮筋動力車—使用塑料瓶

><https://www.youtube.com/watch?v=XtbnrKun4Gc>



步驟 1：將寶特瓶瓶身裁切出約長 17cm，寬 5cm 長方形的洞，如同敞篷車頂。



步驟 2：於自由手臂上鑽洞以利裝上培林。



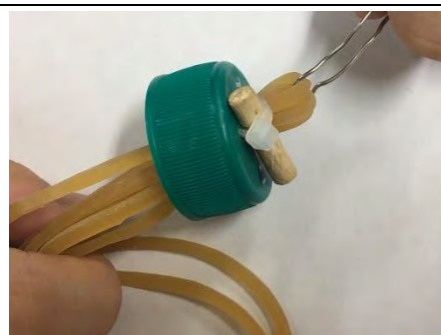
步驟 3：於車體四端取適當位置鎖上自由手臂並於下方裝上車輪。



步驟 4：取另一寶特瓶，裁剪適當大小的瓶身製作風扇，並於瓶蓋中央鑽洞備用。



步驟 5：於車體尾鑽洞，裝上培林，取另一小圓片當墊片。以竹筷穿過風扇、墊片及車體尾端，並於車體內竹筷端鎖上氣球固定架。另一端裝上風扇。



步驟 6：取寶特瓶蓋鑽洞，穿過 4 條相同彈性系數之粗橡皮筋後，至車體前端的瓶蓋口上鎖定。



步驟 7：於氣球固定座綁上 4 條粗橡皮筋。



步驟 8：旋轉後方風扇軸心，放手後即可使動力車前進。

五、 實驗執行

(一) 實驗步驟：

1. 選擇鋪設美耐板之木板跑道架作為測試動力車之主跑道。
2. 把寶特瓶動力車放置於 200cm 跑道上，並在出發點上標記，作為之後各種測試車體的標準出發位置。
3. 轉動橡皮軸 30 圈後，調整好車子輪軸，迅速將手放開，讓車體滑行。
4. 待車子靜止不動後，在車體前輪位置放上標尺，並測量直線距離及行進時間。
5. 重複第 3、4 的步驟，連續做 12 次。
6. 用捲尺測量每次的行進距離，並以碼表測量每次行進時間。
7. 用紙筆記錄每次的行走距離、時間，如果有因擦撞到軌道牆面而停下的狀況，則不列入實驗記錄。計算出速度後，分別將距離與速度的最大值與最小值刪除。
8. 計算出平均速度。
9. 欲進行下一項實驗變因時，需依照變因更換零件及風扇軸的橡皮筋，再重複第 2 至第 7 步驟，並完成表格記錄結果。



(二) 實驗裝置固定規格：各實驗相同部分，以下實驗記錄中不重複說明。

1. 車體：長: 24 公分、寬 7 公分、高 7 公分。

2. 車輪直徑：皆為 3.3 公分，厚度為 2 毫米。

2. 橡皮筋：數量 4 條，彈性係數皆為 21 公分

3. 軸心長度：皆為 2 公分。

軸心長度

※風扇軸穿過軸架的接點與風扇瓶蓋之間

的距離，我們在此稱為「軸心長度」。

4. 全車尺寸(含風扇軸、車輪)：長:35 公分寬 11.5 公分高:18 公分。

5. 全車重量：108 公克。

※每次實驗前均以電子秤測量車體重量，發現均為 108 公克。雖然在風扇大小的實驗中，改變風扇體積，但因為寶特瓶材質超輕，因此在電子秤測量結果仍然相同。

(三) 實驗記錄：

【實驗一：探討寶特瓶動力車輪胎與行進之關係】

1. 實驗 1-1 車輪寬度不同的車子

「車輪寬度」說明：選擇 3 組相同直徑、不同高度之寶特瓶瓶蓋做實驗，瓶蓋高度較大者，為寬車輪，瓶蓋高度小者為窄車輪。此實驗中使用 3D 列印之瓶蓋車輪以減少誤差。



1-1-1 窄	1-1-2 中	1-1-3 寬
車輪： 寬 1.0 公分 風扇：直徑:11 公分、6 片 彎折角度:60 度 造型: 裙狀	車輪： 寬 1.2 公分 風扇：直徑:11 公分、6 片 彎折角度:60 度 造型: 裙狀	車輪： 寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分、6 片 彎折角度:60 度 造型: 裙狀

1-1 實驗記錄:

實驗 測試	1-1-1 窄車輪			1-1-2 中車輪			1-1-3 寬車輪		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 (公分/秒)
第一次	195.0	4.13	47.22	179.0	4.39	40.77	72.5	1.78	40.73
第二次	154.5	3.58	43.16	183.5	3.57	51.40	68.5	1.25	54.80
第三次	200.0	3.11	64.31	196.5	4.51	43.59	89.0	1.55	57.62
第四次	200.0	3.74	53.48	163.5	3.85	42.47	84.0	1.36	61.76
第五次	200.0	2.84	70.42	181.4	4.22	42.99	77.0	1.39	55.40
第六次	200.0	3.23	61.92	171.0	4.30	39.77	65.0	1.65	39.39
第七次	189.5	4.22	44.91	163.0	3.57	45.66	70.0	1.48	47.30
第八次	200.0	3.81	52.49	126.0	2.56	49.22	81.0	1.54	52.60
第九次	161.0	2.79	57.71	191.5	4.51	42.46	76.0	1.62	46.91
第十次	196.0	3.20	61.25	141.0	2.81	50.18	86.0	1.46	58.90
第十一次	168.5	2.71	62.18	194.0	4.86	39.92	63.0	1.46	43.05
第十二次	200.0	3.09	64.72	130.0	3.41	38.12	87.0	1.37	63.50
平均	191.0		57.02	169.8		43.70	76.7		51.91

※紅字表示數值最大與最小值必須扣除，以減少誤差，取 10 次算平均。

※因本實驗跑道最長為 200cm，當長度紀錄為 200cm，時間記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎實驗觀察與結果：

由此實驗數據可知，平均行進距離長度為窄車輪>中車輪>寬車輪。平均行進速度為窄車輪>寬車輪>中車輪。從實驗錄影中可觀察到寬車輪於一開始有空轉情況，我們推測這樣的表現會影響實驗結果。

2.實驗 1-2 車輪胎紋不同的車子

「車輪胎紋」說明：在固定的車輪輪寬上，以快乾膠分別黏上 0、1、2 及 3 條小橡皮筋，以改變車輪胎紋，進而測量動力車行進距離與快慢。



1-2-1 無橡皮筋	1-2-2 套 1 條橡皮筋	1-2-3 套 2 條橡皮筋	1-2-4 套 3 條橡皮筋
車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：0 風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：0 風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：0 風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：0 風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度

1-2 實驗記錄:

實驗 測試	1-2-1 無橡皮筋			1-2-2 套 1 條橡皮筋			1-2-3 套 2 條橡皮筋			1-2-4 套 3 條橡皮筋		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒
第一次	73.50	1.86	39.52	55.00	1.59	34.59	64.70	2.07	31.26	47.50	1.46	32.53
第二次	137.00	3.74	36.63	63.00	1.61	39.13	66.00	1.89	34.92	37.50	1.09	34.40
第三次	86.00	2.24	38.39	73.00	2.21	33.03	62.50	1.85	33.78	40.00	1.08	37.04
第四次	113.50	4.08	27.82	68.30	2.37	28.82	51.10	2.07	24.69	34.80	1.30	26.77
第五次	88.00	2.96	29.73	67.00	1.69	39.64	47.00	1.74	27.01	42.50	1.28	33.20
第六次	48.00	1.14	42.11	74.20	2.23	33.27	44.00	1.56	28.21	49.30	1.41	34.96
第七次	62.50	2.10	29.76	68.50	2.36	29.03	72.00	2.05	35.12	52.10	1.47	35.44
第八次	54.00	1.95	27.69	74.00	2.11	35.07	60.00	1.86	32.26	41.00	1.19	34.45
第九次	47.00	1.71	27.49	52.50	1.59	33.02	72.00	2.09	34.45	43.00	1.15	37.39
第十次	51.50	1.59	32.39	85.00	2.26	37.61	55.30	2.02	27.38	51.00	1.36	37.50
第十一次	61.00	1.81	33.70	85.00	2.40	35.42	56.50	2.06	27.43	42.00	1.30	32.31
第十二次	49.00	1.93	25.39	77.00	2.12	36.32	72.20	2.36	30.59	42.00	1.45	28.97
平均	68.70		32.31	70.50		34.65	60.71		30.73	43.58		34.07

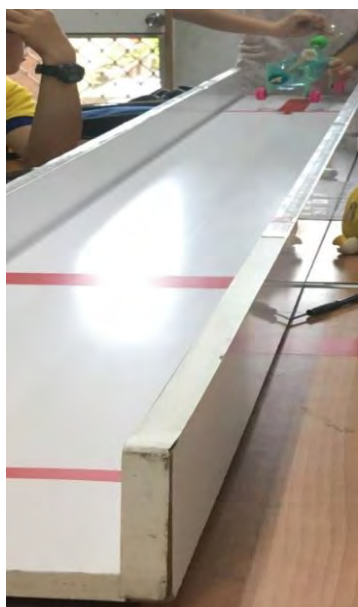
紅字表示數值最大與最小值必須扣除，以減少誤差，取 10 次算平均。

◎實驗觀察與結果：由此實驗數據可知，平均行進距離長度為套 1 條橡皮筋>無套橡皮筋>套 2 條橡皮筋>套 3 條橡皮筋。而平均行進速度四者皆差不多，為套 1 條橡皮筋>套 3 條橡皮筋>無套橡皮筋>套 2 條橡皮筋。從實驗錄影中可觀察到無套橡皮筋的動力車，有時可滑行較遠、較久，而套 3 條橡皮筋的動力車一開始輪子總是打滑、空轉，滾動滑行後，易停止。

3.實驗 1-3 行駛於不同材質的路面

「不同材質路面」說明：

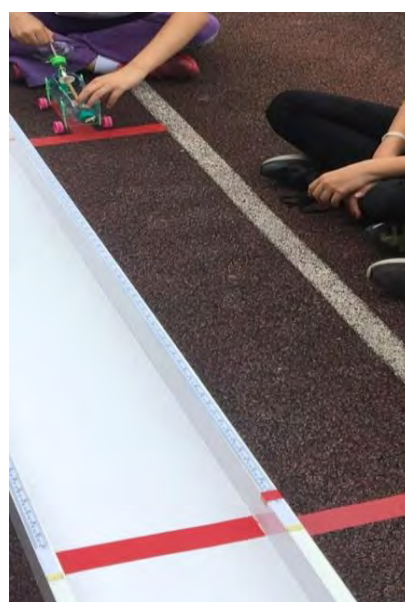
選擇 3 種不同路面進行動力車實驗，分別為美耐板路面、鋪設砂紙之路面以及 PU 操場路面。我們以前項實驗中，距離表現最好的「輪子套 1 條橡皮筋」動力車來做為測試裝置。



美耐板路面



100 號砂紙路面



PU 操場路面

1-3-1 美耐板路面	1-3-2 砂紙路面	1-3-3 PU 操場路面
車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：1	車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：1	車輪：寬 1.4 公分 套橡皮筋 條數：1
風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	風扇：直徑:11 公分 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度

1-3 實驗記錄:

實驗 測試	1-3-1 美耐板路面			1-3-2 砂紙路面			1-3-3 PU 操場路面		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 (公分/秒)
第一次	177.00	2.15	82.33	188.00	3.58	52.51	103.00	2.54	40.55
第二次	171.40	2.95	58.10	166.00	2.30	72.17	109.00	2.38	45.80
第三次	152.20	1.99	76.48	153.20	2.50	61.28	106.00	2.68	39.55
第四次	188.60	3.28	57.50	157.00	3.50	44.86	76.70	2.28	33.64
第五次	153.80	2.04	75.39	143.60	2.78	51.65	109.50	2.28	48.03
第六次	200.00	2.70	74.07	147.00	3.58	41.06	89.90	3.06	29.38
第七次	173.00	2.60	66.54	178.00	3.57	49.86	107.10	3.31	32.36
第八次	158.30	1.95	81.18	200.00	3.28	60.98	76.50	2.34	32.69
第九次	200.00	3.27	61.16	169.00	2.70	62.59	111.30	2.73	40.77
第十次	184.40	2.04	90.39	167.80	3.69	45.47	107.00	2.30	46.52
第十一次	187.00	3.37	55.49	161.70	1.79	90.34	100.60	2.37	42.45
第十二次	180.00	3.75	48.00	187.40	3.35	55.94	79.30	2.59	30.62
平均	177.35		68.82	167.51		55.73	98.81		38.49

※紅字表示數值最大與最小值必須扣除，以減少誤差，取 10 次算平均。

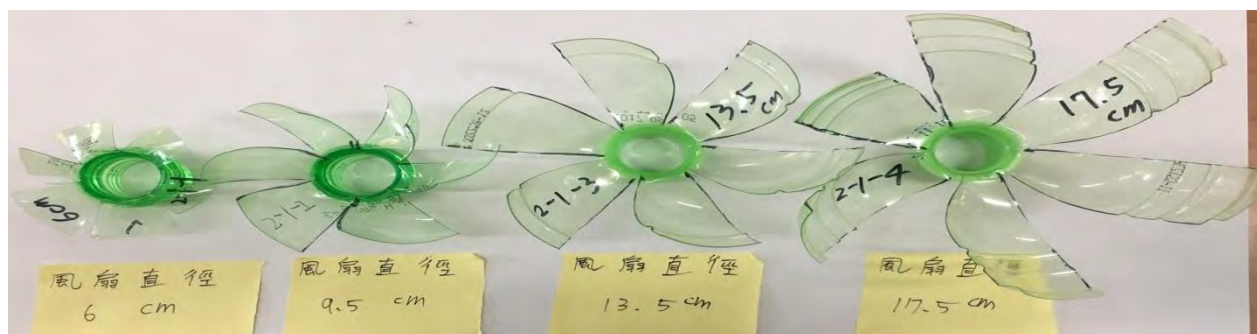
※因本實驗跑道最長為 200cm，當長度紀錄為 200cm，時間記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎實驗觀察與結果：由此實驗數據可知，平均行進距離長度為美耐板路面>砂紙路面>PU 操場路面。平均行進速度為美耐板路面>砂紙路面>PU 操場路面。從實驗錄影中可觀察到於 PU 操場路面行進的動力車，雖然距離及速度皆較小,但每次的結果變動相對比較穩定。

【實驗二：探討寶特瓶動力車風扇葉片與行進之關係】

4.實驗 2-1 風扇直徑不同的車子

風扇直徑」說明：寶特瓶動力車後方之風扇葉片，以相同材質寶特瓶裁出葉片後，平放量取直徑 6、9.5、13.5 及 17.5 公分之風扇葉片，以進行測量動力車行進距離與快慢。



2-1-1 直徑 6 公分	2-1-2 直徑 9.5 公分	2-1-3 直徑 13.5 公分	2-1-4 直徑 17.5 公分
車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑 6 公分 6 片 造型：裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑 9.5 公分 6 片 造型：裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑 13.5 公分 6 片 造型：裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑 17.5 公分 6 片 造型：裙狀 彎折角度 60 度

2-1 實驗記錄：

實驗 測試	2-1-1 直徑 6 公分			2-1-2 直徑 9.5 公分			2-1-3 直徑 13.5 公分			2-1-4 直徑 17.5 公分		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒
第一次	15.0	1.29	11.63	138.0	2.57	53.70	200.0	1.64	121.95	193.5	2.80	69.11
第二次	8.5	1.73	4.91	152.0	2.76	55.07	200.0	1.73	115.61	171.4	2.94	58.30
第三次	13.0	1.57	8.28	200.0	2.61	76.63	200.0	1.73	115.61	182.5	3.18	57.39
第四次	11.0	1.70	6.47	148.0	2.41	61.41	200.0	1.55	129.03	200.0	2.94	68.03
第五次	9.0	2.47	3.64	127.5	2.15	59.30	200.0	1.76	113.64	190.0	3.09	61.49
第六次	4.5	1.75	2.57	135.0	2.22	60.81	200.0	1.61	124.22	192.0	3.01	63.79
第七次	9.7	1.15	8.43	134.0	2.37	56.54	200.0	1.71	116.96	200.0	3.32	60.24
第八次	14.0	2.24	6.25	176.5	2.70	65.37	200.0	1.39	143.88	161.0	2.96	54.39
第九次	11.0	1.82	6.04	137.0	2.47	55.47	200.0	1.34	149.25	174.0	2.87	60.63
第十次	16.0	2.49	6.43	164.5	2.80	58.75	200.0	1.59	125.79	157.0	2.48	63.31
第十一次	5.5	2.30	2.39	149.0	2.41	61.83	200.0	1.58	126.58	165.0	2.84	58.10
第十二次	13.0	1.78	7.30	200.0	2.67	74.91	200.0	1.51	132.45	150.0	2.75	54.55
平均	10.97		6.03	152.75		60.95	200↑		125.21	178.64		60.58

※紅字表示數值最大與最小值必須扣除，以減少誤差，取 10 次算平均。

※因本實驗跑道最長為 200cm，當長度紀錄為 200cm，時間記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎實驗觀察與結果：由此實驗數據可知，平均行進距離長度為搭載直徑 13.5 公分風扇>直徑 17.5 公分>直徑 9.5 公分>直徑 6 公分。而平均行進速度為搭載直徑 13.5 公分風扇>直徑 9.5 公分>直徑 17.5 公分>直徑 6 公分。從實驗錄影中可觀察到搭載直徑 6 公分的動力車，因風扇太小，幾乎是由葉片震動帶動車體前進，前進距離很短。

5.實驗 2-2 風扇葉片數量不同的車子

「風扇葉片數量」說明：寶特瓶動力車後方之風扇葉片，在葉片直徑相同的情況下，依需求分別裁剪成 3、6、8 及 12 片風扇葉片後，測量動力車行進快慢。



2-2-1 風扇葉片 3 片	2-2-2 風扇葉片 6 片	2-2-3 風扇葉片 8 片	2-2-4 風扇葉片 12 片
車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 3 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 8 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 12 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度

2-2 實驗記錄:

實驗 測試	2-2-1 葉片 3 片			2-2-2 葉片 6 片			2-2-3 葉片 8 片			2-2-4 葉片 12 片		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒
第一次	50.50	3.31	15.26	143.5	2.17	66.13	200.0	1.87	106.95	146.0	2.72	53.68
第二次	46.50	2.59	17.95	130.5	1.96	66.58	200.0	1.97	101.52	154.0	2.86	53.85
第三次	58.50	2.84	20.60	181.5	2.89	62.80	200.0	1.70	117.65	194.0	3.85	50.39
第四次	70.50	3.02	23.34	200.0	2.90	68.97	200.0	1.81	110.50	161.7	3.18	50.85
第五次	71.50	3.24	22.07	200.0	2.97	67.34	200.0	2.00	100.00	186.0	3.84	48.44
第六次	40.00	1.65	24.24	200.0	3.29	60.79	200.0	1.78	112.36	200.0	3.44	58.14
第七次	55.50	2.92	19.01	132.4	1.97	67.21	200.0	1.88	106.38	173.3	3.72	46.59
第八次	51.00	2.19	23.29	200.0	2.99	66.89	200.0	1.61	124.22	148.5	3.58	41.48
第九次	53.00	2.38	22.27	200.0	2.55	78.43	200.0	1.70	117.65	137.6	2.40	57.33
第十次	54.50	2.10	25.95	200.0	2.46	81.30	200.0	1.80	111.11	142.0	2.54	55.91
第十一次	62.00	3.00	20.67	182.0	2.37	76.79	200.0	1.89	105.82	170.8	3.27	52.23
第十二次	75.00	3.75	20.00	157.0	2.23	70.40	200.0	1.62	123.46	162.0	3.73	43.43
平均	57.35		21.51	179.64		69.15	200↑		111.34	163.83		51.27

紅字表示數值最大與最小值必須扣除，以減少誤差，取 10 次算平均。

因本實驗跑道最長為 200cm，因此長度紀錄為 200cm，時間記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎實驗觀察與結果：由此實驗數據可知，平均行進距離長度為搭載風扇葉片數 8 片>風扇葉片 6 片>風扇葉片 12 片>風扇葉片 3 片。而平均行進速度為搭載風扇葉片數 8 片>風扇葉片 6 片>風扇葉片 12 片>風扇葉片 3 片。

6.實驗 2-3 風扇葉片角度不同的車子

「風扇葉片角度」說明：寶特瓶動力車後方之風扇葉片，選擇相同直徑和相同造型的情況下，以量角器測量後，將葉片折出分別為 30、60、80 度及不扭轉葉片之角度，測量動力車行進距離與快慢。



2-3-1 無旋轉	2-3-2 旋轉 30 度	2-3-3 旋轉 60 度	2-3-4 旋轉 80 度
車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 0 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 30 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 60 度	車輪：寬 1.4 公分 風扇：直徑:11 公分 風扇 6 片 造型: 裙狀 彎折角度 80 度

2-3 實驗記錄:

實驗 測試	2-3-1 無旋轉			2-3-2 旋轉 30 度			2-3-3 旋轉 60 度			2-3-4 旋轉 80 度		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒	距離 (公分)	時間 (秒)	平均 速度 公分/秒
第一次	0.0	1.59	0.00	20.0	1.44	13.89	124.0	2.21	56.11	122.0	4.20	29.05
第二次	0.0	1.58	0.00	14.0	1.52	9.21	104.0	1.72	60.47	150.0	4.17	35.97
第三次	0.0	1.76	0.00	18.5	1.38	13.41	135.8	3.17	42.84	166.7	4.40	37.89
第四次	12.0	1.60	7.50	16.5	1.20	13.75	151.5	4.14	36.59	126.0	3.22	39.13
第五次	1.0	1.67	0.60	21.0	1.52	13.82	144.0	4.34	33.18	141.0	4.29	32.87
第六次	5.0	1.07	4.67	13.0	1.61	8.07	107.0	2.96	36.15	122.0	3.80	32.11
第七次	0.0	1.67	0.00	14.0	1.49	9.40	142.5	4.22	33.77	122.0	3.35	36.42
第八次	3.0	1.03	2.91	13.0	1.66	7.83	146.0	4.10	35.61	145.5	4.13	35.23
第九次	0.0	1.55	0.00	14.5	1.66	8.73	149.5	3.99	37.47	156.8	4.10	38.24
第十次	0.0	1.05	0.00	18.0	1.52	11.84	143.0	3.99	35.84	141.5	4.11	34.43
第十一次	0.0	1.21	0.00	16.0	1.54	10.39	121.0	4.21	28.74	164.0	3.78	43.39
第十二次	0.0	1.53	0.00	22.0	1.74	12.64	124.0	3.95	31.39	162.5	3.36	48.36
平均	0.9		0.82	16.55		11.13	133.68		37.89	143.13		36.57

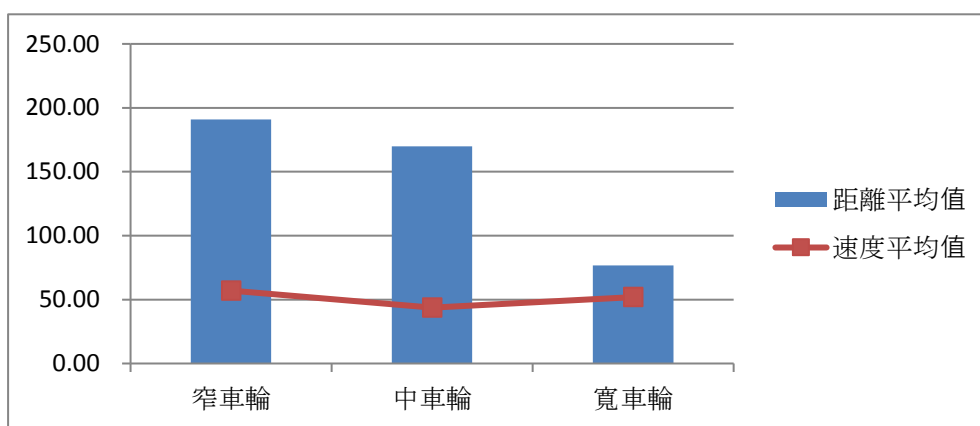
※紅字表示數值最大與最小值必須扣除，以減少誤差，取 10 次算平均。

◎實驗觀察與結果：由此實驗數據可知，平均行進距離長度為搭載旋轉 80 度風扇>旋轉 60 度>旋轉 30 度>無旋轉角度。而平均行進速度為搭載旋轉 60 度風扇>旋轉 80 度>旋轉 30 度>無旋轉角度。從實驗錄影中可觀察到搭載無旋轉角度葉片的動力車，幾乎是由葉片震動帶動車體前進，前進距離很短，甚至在原地空轉無法前進。

伍、研究結果

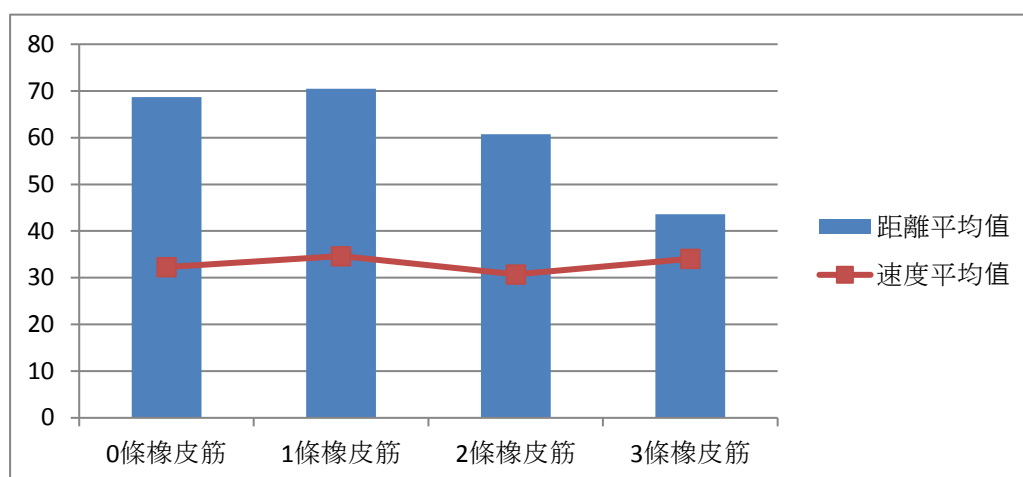
一、 探討寶特瓶動力車輪胎與行進之關係

(一) 比較不同車輪寬度的車子行進距離與平均速度



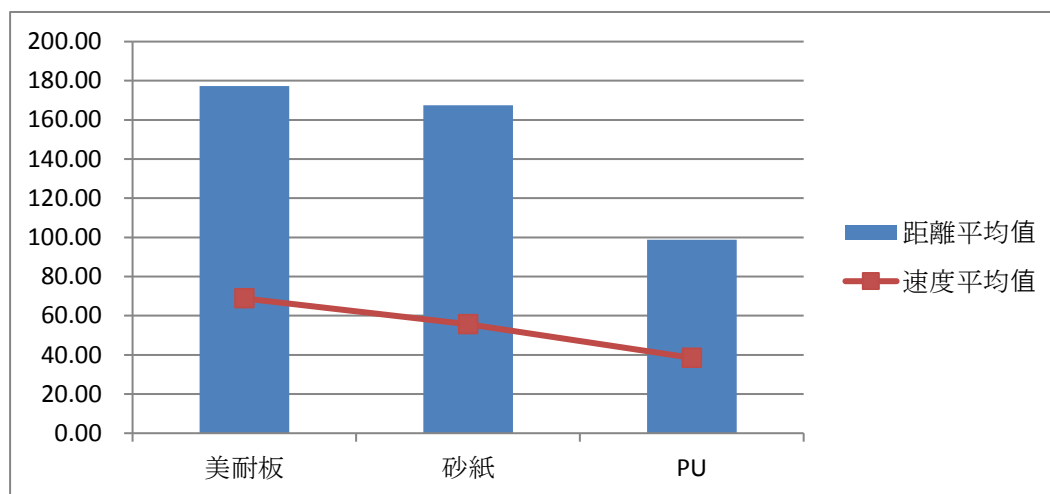
1. 距離：窄車輪的車子行進平均距離為 191 公分，中車輪的車子平均距離為 169.79 公分，寬車輪的車子平均距離為 76.7 公分。
2. 由實驗可知動力車搭配窄車輪能跑得較遠，中車輪其次，並遠大於寬車輪。
3. 平均速度：窄車輪的車子平均速度為 57.02 公分/秒，中車輪的車子平均速度為 43.70 公分/秒，寬車輪的車子平均速度為 51.91 公分/秒。
4. 由此實驗可知，窄車輪行進距離最大,而寬車輪則有打滑現象，我們推測寬車輪因車體結構平整度關係造成寬車輪平貼地面不佳，有縫隙造成打滑現象，解釋了車輪抓地力的影響，打滑造成能量的耗損，使得寬車輪行走距離大幅低於窄車輪及中車輪。

(二) 比較不同車輪胎紋的車子行進距離與平均速度



1. 距離：車輪無橡皮筋的車子行進平均距離為 68.70 公分，加 1 條橡皮筋的車子行進平均距離為 70.50 公分，加 2 條橡皮筋的車子行進平均距離為 60.71 公分，加 3 條橡皮筋的車子行進平均距離為 43.58 公分。
2. 由實驗可知，加 1 條橡皮筋的動力車雖然行進平均距離最遠，卻與完全無加裝橡皮筋的車子差異不大。但仔細觀察數據，發現加裝 1 條橡皮筋的車子穩定度比無橡皮筋的車子好。加裝 3 條橡皮筋的動力車行進距離最短。
3. 平均速度：車輪無橡皮筋的車子平均速度為 32.31 公分/秒，加 1 條橡皮筋的車子平均速度為 34.65 公分/秒，加 2 條橡皮筋的車子平均速度為 30.73 公分/秒，加 3 條橡皮筋的車子平均速度為 34.07 公分/秒。
4. 實驗中發現，輪子加 1 條橡皮筋的動力車平均速度最快，輪子加 2 條橡皮筋的動力車速度最慢。輪子加 3 條橡皮筋的動力車，在平均速度的部分卻比加裝 2 條橡皮筋的動力車好，這讓我們很疑惑。仔細觀察後，我們發現加 3 條橡皮筋的動力車，一開始空轉的情形非常顯著，一旦衝出起點，瞬間釋放大量動能，所以雖然行進時間很短，但平均速度卻居中。
5. 車輪套上橡皮筋就如汽車輪胎一般能強化輪子的磨擦力，就如汽車輪胎為彈性體，當受壓力大時變形增大增加輪胎與地面的摩擦阻力，加大靜摩擦力，一條橡皮筋使車輪與地面接觸為線接觸，三條橡皮筋為面接觸分散了變形量且車體的結構平整性，亦影響輪胎的抓地力而造成打滑，能量耗損使得距離偏短。

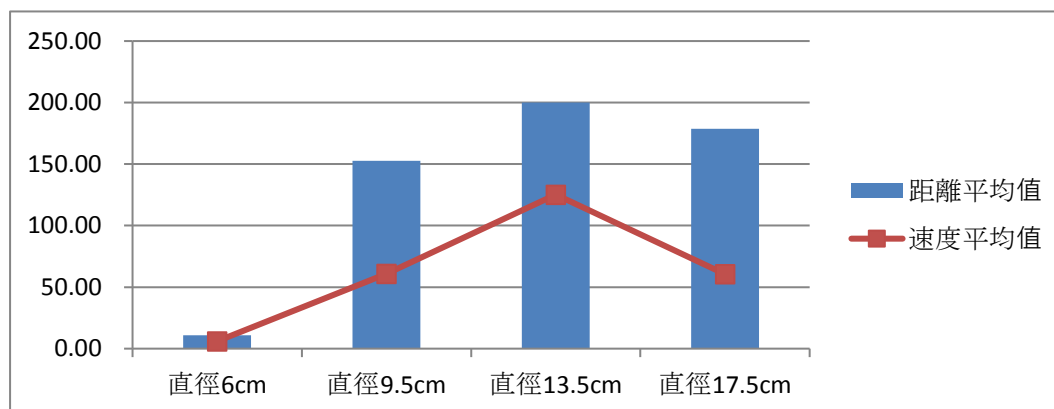
(三) 比較行駛於不同材質路面的車子行進距離與平均速度



1. 距離：行駛於美耐板路面的車子行進平均距離為 177.35 公分，行駛於 100 號砂紙路面的車子行進平均距離為 167.51 公分，行駛於 PU 操場路面的車子行進平均距離為 98.81 公分。
2. 由實驗可知，行駛於美耐板路面的動力車行進平均距離最遠，行駛於砂紙路面其次，行駛於 PU 操場路面的動力車行進距離最短。
3. 平均速度：行駛於美耐板路面的車子行進平均速度為 68.82 公分/秒，行駛於 100 號砂紙路面的車子行進平均速度為 55.73 公分/秒，行駛於 PU 操場路面的車子行進平均速度為 38.49 公分/秒。
4. 實驗中發現，行駛於美耐板路面的動力車行進平均速度最快，行駛於砂紙路面其次，行駛於 PU 操場路面的動力車行進速度最慢。
5. 我們推測是因為美耐板材質較其他 2 種路面光滑,摩擦力較小係因材質的摩擦係數較低,故可有較好的距離表現。

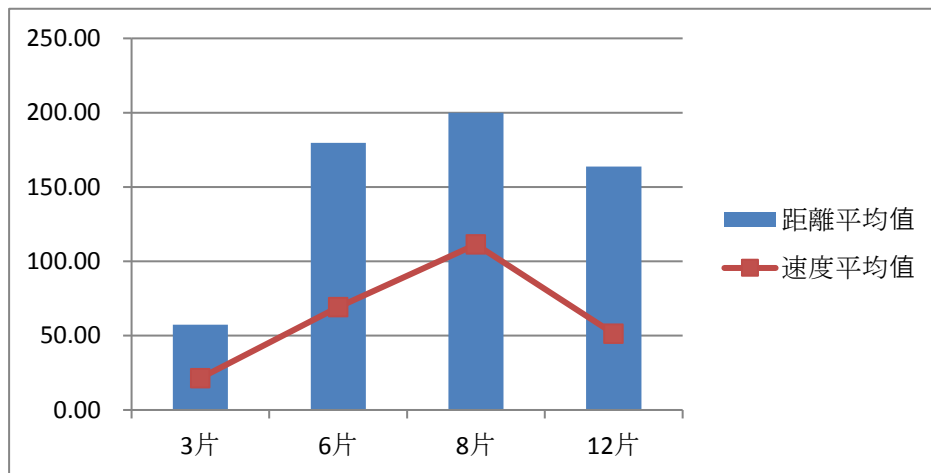
二、 探討寶特瓶動力車風扇葉片與行進之關係

(一) 比較不同風扇直徑的車子行進距離與平均速度



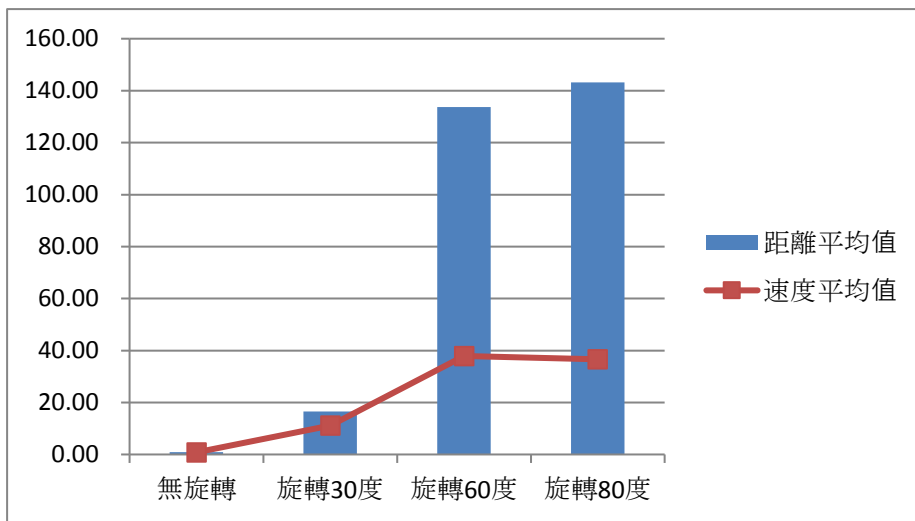
1. 距離：直徑 6 公分風扇的車子平均行進距離為 10.97 公分，直徑 9.5 公分風扇的車子平均行進距離為 152.75 公分，直徑 13.5 公分風扇的車子平均行進距離為超過 200 公分，直徑 17.5 公分風扇的車子平均行進距離為 178.64 公分。
2. 實驗結果得知，風扇葉片直徑 13.5 公分的動力車行進距離最遠，每次都超過 200 公分，且行進較穩定。其次是直徑 17.5 公分、9.5 公分的風扇葉片，行進最短的是直徑 6 公分的小風扇動力車。
3. 平均速度：直徑 6 公分風扇的車子平均速度為 6.03 公分/秒，直徑 9.5 公分風扇的車子平均速度為 60.95 公分/秒，直徑 13.5 公分風扇的車子平均速度為 125.21 公分/秒，直徑 17.5 公分風扇的車子平均速度為 60.58 公分/秒。
4. 動力車主要動力來自於風扇的推力,故直徑越大的風扇，產生較大的風量,使得動力車的克服摩擦力的推力增加,行進的距離也越長。但當直徑到達 17.5 公分的風扇時，因風扇本身重量及車體穩固性關係,轉動時已產生震動影響車體前進的平穩度，於速度表現上無預期好。

(二) 比較不同風扇葉片數量的車子行進距離與平均速度



1. 距離：風扇葉片 3 片的車子平均行進距離為 57.35 公分，風扇葉片 6 片的車子平均行進距離為 179.64 公分，風扇葉片 8 片的車子平均行進距離為 200 公分以上，風扇葉片 12 片的車子平均行進距離為 163.83 公分。
2. 實驗結果得知，風扇葉片 8 片的車子平均行進距離最遠，每次測試皆超過 200 公分。其次是風扇葉片 6 片和 12 片的車子，兩者差異不大。距離最短者是風扇葉片 3 片的車子，遠小於其他三者。
3. 平均速度：風扇葉片 3 片的車子平均速度為 21.51 公分/秒，風扇葉片 6 片的車子平均速度為 69.15 公分/秒，風扇葉片 8 片的車子平均速度為 111.34 公分/秒，風扇葉片 12 片的車子平均速度為 51.27 公分/秒。
4. 我們發現風扇為 3 片和 12 片的車子，速度明顯較慢，風扇葉片數量越多原理上可達到越多風量，但葉片越多其葉片間的平衡越重要，且葉片越小葉片強度越弱，當到達 12 葉片時，使得風量反而變小，推力變小。

(三) 比較不同風扇葉片彎折角度的車子行進距離與平均速度



1. 距離：風扇葉片角度無旋轉的車子平均行進距離為 0.9 公分，風扇葉片旋轉 30 度的平均行進距離為 16.55 公分，風扇葉片旋轉 60 度的車子平均行進距離為 133.68 公分，風扇葉片旋轉 80 度的車子平均行進距離為 143.13 公分。
2. 實驗結果顯示，葉片旋轉 80 度及 60 度的車子前進距離，明顯優於其他角度之動力車。而無旋轉角度的葉片動力車，大多是在原地打轉，從實驗錄影中可觀察到搭載無旋轉角度葉片的動力車，幾乎是由葉片震動帶動車體前進，前進距離很短，甚至在原地空轉無法前進。
3. 平均速度：風扇葉片角度無旋轉的車子平均速度為 0.82 公分/秒，風扇葉片旋轉 30 度的平均速度為 11.13 公分/秒，風扇葉片旋轉 60 度的車子平均速度為 37.89 公分/秒，風扇葉片旋轉 80 度的車子平均速度為 36.57 公分/秒。
4. 實驗結果顯示，葉片旋轉 60 度和 80 度的車子平均速度，明顯優於其他角度之動力車。而無旋轉角度的葉片動力車，平均速度是最慢的。葉片旋轉 60 度和 80 度的車子，風力越集中行走的距離也最長。80 度之有效葉面積較小，所以風量較 60 度略小。

陸、討論

一、 探討寶特瓶動力車輪胎與行進之關係

(一) 在這組實驗中，主要改變變因是不同輪子設計如何影響動力車行進距離

與速度。我們發現窄車輪跑得較遠且較快，推翻了我們原先預想寬車輪跑得較好的想法。但也從平均速度的數據中發現，雖然窄車輪跑得快，但中車輪卻又表現比寬車輪差。我們猜測有可能是實驗誤差，但也有可能是空轉造成瞬間衝出力量大所致。

- (二) 在改變車輪紋路部分，我們從不加橡皮圈、加 1 條、加 2 條橡皮圈時，發現在車輪上增加橡皮圈數，可以使車子行進狀況更穩定。但不是增加越多橡皮圈數，車子距離與速度表現就越佳，在實驗中，車輪與橡皮筋最佳配合度是加 1 條橡皮筋的動力車，這與窄車輪的行進表現結果相符。另外，加 3 條橡皮筋的動力車的實驗結果與我們的預期不符：我們曾經看過賽車行進的影片，所以推測寬車輪的穩定度應該要更佳，可是實際結果卻是打滑、空轉，經過仔細分析比較，我們發現賽車底盤較低，我們的動力車底盤較高，相對不穩定，我們還觀察到輪軸的晃動明顯，推測有可能是瓶蓋造型的輪子所致，因為僅有一個圓面支撐輪胎，另一方為開口，支撐力不足容易變形，所以造成實驗結果不符預期。
- (三) 而車行駛於不同材質路面實驗中，表面愈光滑，動力車滑行距離愈遠、速度愈快，應是接觸地面給予車輪的摩擦力較小所致，與我們預想的結果相同。

二、 探討寶特瓶動力車風扇葉片與行進之關係

- (一) 在風扇葉片大小的部分，如同我們的預期，風扇較大的表現較佳。在初步實驗時，我們曾探討直徑 6 公分、8 公分、10 公分、12 公分的差異，發現動力車的距離表現與風扇直徑成正比，12 公分的表現最佳。但在重新檢討實驗時，我們懷疑動力車的距離表現與風扇直徑是否絕對成正比，如果把風扇改得更大，也會是一樣的結果嗎？所以我們才重新改善實驗裝置，加高車體，以利加大風扇實驗。重新實驗時，以直徑 6 公分、9.5 公分、13.5 公分、17.5 公分風扇大小進行實驗。發現直徑 13.5 公分表現最佳，直徑 17.5 公分的反而開始慢下來，我們推測有可能是直徑越大的風扇，產生較大的

風量，使動力車的必須要克服的摩擦力增加，但是因為加大風扇後，全車體面積改變，影響了穩固性，在軸心轉動時產生的震動太大，影響車體前進的平穩度，所以在距離與平均速度表現上均較風扇直徑 13.5 公分的差。

(二) 在風扇葉片數量的部分，因為市面上電風扇設計大多是三片，我們原先猜想可能 3 片葉片風扇能使動力車跑最遠、最快。實驗後卻發現搭載 3 片葉片的車子行進速度最慢，但搭載最多葉片數 12 片風扇的車子也不是表現最佳。我們推測可能和單片風扇葉片的面積有關：實驗設計時，我們用相同的寶特瓶裁剪風扇葉片，在相同的面積條件下，裁剪的片數越多，單片風扇的面積越小，這也會影響葉片帶入風量的功能。我們希望從不同的葉片數量實驗中，找到針對本實驗動力車最佳化的風扇葉片數，實驗結果中呈現出 8 片是最佳設計。

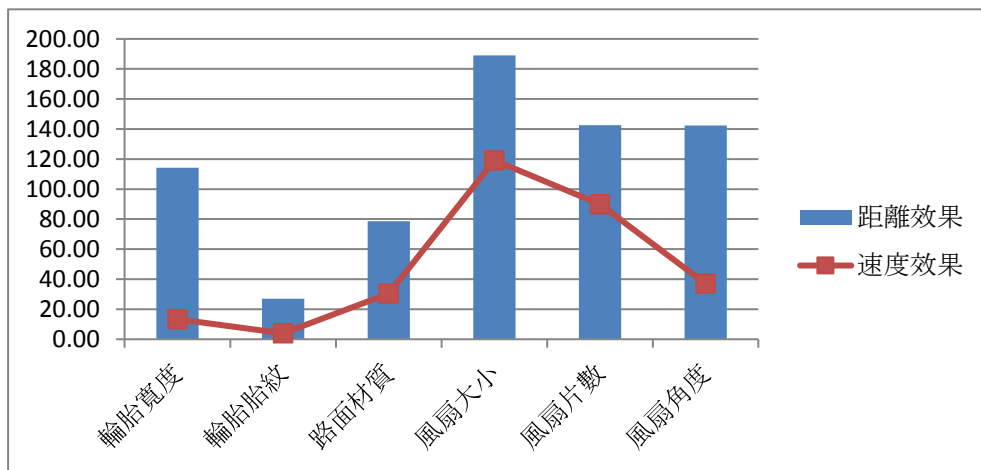
(三) 風扇葉片彎折的角度，影響帶入風扇的空氣量。從實驗中，我們發現彎折 60 度與 80 度時，在距離上的表現遠大於其他角度，顯示葉片彎折角度越大，能帶進的風量越多，增加推力，使行進距離增加。在距離上，但葉片彎折 80 度的距離表現略勝於彎折 60 度，但差異不大；但在平均速度上，葉片彎折至 80 度時略差於葉片彎折 60 度的實驗結果。會有如此的些微差異，我們推測也許是操作上的誤差所致，但也有可能這個實驗設計並未完善，下次研究可以考慮彎折超過 90 度，或彎折的方式，再重新實驗。

三、各變數效果討論

前面的討論僅針對單一變項探討，我們在討論實驗結果的過程中，卻發現這樣的探討方式，似乎不能歸納出哪一個實驗變因是影響整體動力車的設計關鍵，於是我們再請教老師，希望能找出歸納的方法。我們從分析圖表上，發現有些變因的表現差異幅度小，有些差異幅度大；因此，我們分別將各變項的實驗結果中平均距離的最大值減去最小值，得到的數為平均距離效果；將各變項的實驗結果中平均速度的最大值減去最小值，得到的數為平均速度效果。並將製成下表：

	平均距離效果	平均速度效果	相關影響因素
輪胎寬度	114.30	13.31	抓地力
輪胎胎紋	26.92	3.92	滾壓摩擦
路面材質	78.54	30.33	摩擦係數
風扇大小	189.03	119.17	帶入風量及推力
風扇片數	142.65	89.82	帶入風量及推力
風扇角度	142.23	37.08	帶入風量及推力

(一) 從圖表可知，風量及推力影響 > 摩擦係數 > 抓地力 > 滾壓摩擦。



(二) 對於本研究中的寶特瓶動力車行進而言，帶入風量及推力是最重要的因素，當推力大於摩擦力時，動力車才會移動。

(三) 其次為路面材質，在套上 1 條橡皮筋的輪子條件下，行進在光滑路面的距離表現會比粗糙路面時佳。

(四) 第三是輪子的抓地力影響行進表現，當輪子沒有完全貼地時，容易造成打滑空轉，耗損動能，也會影響實驗結果。我們觀察輪子未能完全貼地，應該與瓶蓋造型有關。本實驗以生活化素材為基礎，所以希望實驗裝置能盡量以現成的生活物質為材料，因此當我們決定以 3D 列印輪子代替市售飲料瓶蓋為輪子時，我們仍以以瓶蓋造型輪子做為材料，可是瓶蓋僅有一個圓面支撐，所以輪子的穩定度相對較差，有時無法緊貼地面，在操作時容易有抓地力不足導致實驗誤差的狀況。

(五) 滾壓摩擦與輪子的材質和行進路面材料都有相關，但我們發現僅以單一實驗（套上 1 條橡皮筋的輪子，行駛於不同材質路面的車子行進距離與平均速度）不能完全看出相互影響的情形，這可在後續研究部分重新規劃較完整的實驗設計，才能探究出差異性。

柒、結論

一、實驗結論：

- (一) 寶特瓶動力車搭配較窄的輪子，能使動力車行進速度快。
- (二) 寶特瓶動力車輪子加橡皮圈改變其輪胎紋路時，以加 1 條橡皮圈最佳，並非愈多愈好。
- (三) 動力車行進在光滑路面行進表現較佳。
- (四) 寶特瓶動力車風扇越大時，行駛表現越好，但是太大也不佳，並非愈大愈好。
- (五) 在固定風扇總面積下，增加風扇葉片數能夠讓寶特瓶動力車行進較遠、速度較快，但風扇葉片太多時也不佳。
- (六) 風扇彎折角度越大，帶進風量越多，推力越大，但越接近 90 度時，平均速度則有趨緩的現象。
- (七) 從「平均距離效果」與「平均速度效果」來看，對寶特瓶動力車來說，風扇較輪子而言具有更關鍵的影響力，也是讓寶特瓶動力車「動起來」的最重要因素。

二、對於摩擦力，我們以往認為摩擦力越小，越能幫助動力車前進，但在進行完本研究之後，我們發現摩擦力小不見得好，有時候摩擦力反而是助力。當我們的運動達到最大靜摩擦力時，車體才開始移動。

三、本次實驗收穫最多的部分，除了研究結果的發現之外，就是讓我們體驗到「大膽假設、小心求證」的過程。為了減少誤差，我們更仔細用心地設計實驗裝置，規劃實驗設計；在實作的過程中充分得到學習的樂趣，也在實驗討論與查詢相

關理論的時候，澄清了許多的迷思。另外，我們發現單一變因無法探究最佳組合，下次實驗可以用實驗因子排列組合的方式，可以比較客觀的探討因子間的交互影響情形，例如：有兩個實驗變因，各兩個變項：A1、A2、B1、B2，我們應該設計成A1B1、A1B2、A2B1、A2B2等四組實驗，而非僅有A、B兩組，這樣才能找出所謂最佳化的模組，更能具體地探討各變因之間的關係。

四、生活化的主題，但往往卻包含著許多科學原理，即使我們已經盡力探究，仍然還有很多可以深入探討的地方，希望將來能有機會持續研究。

捌、參考資料及其他

王亞偉、楊雄生、邵醒凌（2007）。*物理（上）*。台北市：五南。

邢豔（2011）。*有關物理的100個常識*。台北市：驛站文化。

東方編輯小組(1997)。*動力與應用*。台北市：東方出版社。

鄭雅堂（2007）。再生能源發電。*物理雙月刊*，29（3），7-9。

劉慧潔（2008）。*自然科學一本通*。台北縣：幼福文化出版社。

如何使橡皮筋動力車—使用塑料瓶（2015年9月3日）。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=XtbnrKun4Gc>

電風扇為什麼是三相扇葉？有什麼科學原理？（2016年5月16日）。取自

<https://kknews.cc/zh-tw/home/gxgzm.html>

摩擦力和摩擦力的種類

https://www.nani.com.tw/nani/jlearn/natu/ability/a1/4_a1_1_6.htm

維基百科-靜摩擦力(2017年5月24日)。取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9D%99%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B>

維基百科-滾動摩擦(2014年9月25日)。取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%BB%9A%E5%8A%A8%E6%91%A9%E6%93%A6>

維基百科-滑動摩擦(2016年10月28日)。取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%BB%91%E5%8A%A8%E6%91%A9%E6%93%A6>

【評語】 080117

是一個有趣的科學玩具。實驗中對於許多可能機制有了掌握。
努力十分值得肯定。所得的資料如果能再做進一步的分析，將會有
豐碩的成果。

作品海報

【精要】

本實驗使用寶特瓶及其他生活中隨手可得的材料製作寶特瓶動力車，藉由改變輪子設計，如輪子寬窄、車輪紋路及路面材質設計等，來了解車輪與路面對動力車進行速度的影響。再改變動力風扇葉片的構造設計，以改變風扇大小、葉片數量、葉片彎折角度以及葉片造型等方式，來探討風扇葉片對動力車進行距離與速度的效果。實驗結果發現：使用窄輪子的行駛距離比寬輪子長；加裝橡皮筋在輪子上時，胎紋為1條橡皮筋的行駛距離最長；路面部分，動力車行駛在美術板路面上的距離表現較佳；風扇部分，則以直徑13.5公分、8片葉片、葉片呈現80度彎折角度以及褶子型的風扇葉片組合，能使寶特瓶動力車進行更遠、速度更快。

【背景-研究動機】

四年級上學期自然課中有「交通工具與能源」單元，除了課本設計的橡皮筋動力車之外，應該還可以透過生活周遭隨手可得的材料，例如：寶特瓶、橡皮筋、竹筷……等，製作其他款動力車。偶然在網路上看到橡皮筋動力車影片，覺得非常有趣，而且材料也容易取得，於是就試著自己動手做做看，卻發現做的車子動不起來，於是產生研究這個主題的念頭。希望透過藉由操控各種變因來探討影響寶特瓶動力車進行距離與速度的原因。在研究初期討論的時候，就寶特瓶動力車的組合條件，我們提出可探究的面向大致有：車體、輪子、橡皮筋、風扇，因為動力車的動力來源是由風扇帶動空氣推進，透過輪子轉動前進，所以我們決定從輪子和風扇開始研究。

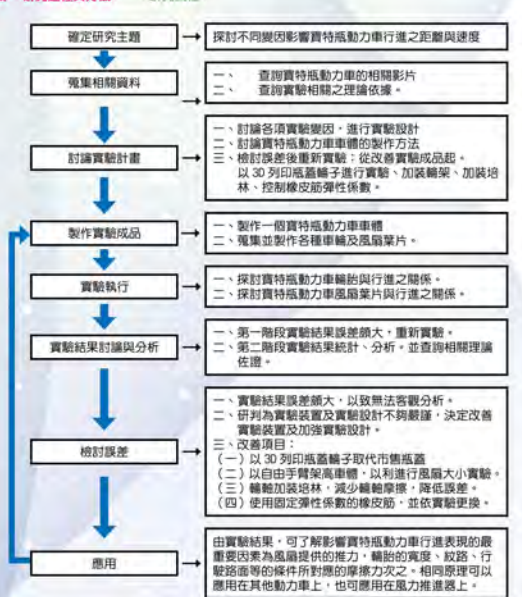
【目的-研究目的】

- 一、探討寶特瓶動力車輪胎與行進之關係
 - (一) 比較不同車輪寬度的車子行進距離與速度
 - (二) 比較不同車輪胎紋的車子行進距離與速度
 - (三) 比較行駛於不同路面的車子行進距離與速度
- 二、探討寶特瓶動力車風扇葉片與行進之關係
 - (一) 比較不同風扇直徑的車子行進距離與速度
 - (二) 比較不同風扇葉片數的車子行進距離與速度
 - (三) 比較不同風扇葉片角度的車子行進距離與速度

【器材-研究設備及器材】



【步驟-研究過程與方法】



二、蒐集相關資料：

本實驗動力車行進方式，是藉由扭轉橡皮筋產生「彈性位能」，再由彈性位能轉換為「動能」帶動風扇轉動，由風扇葉片帶入空氣造成渦流，推動動力車前進。實驗中參考的理論依據如下：

- (一) 流體力學：實驗中使用的風扇葉片並非是一平面，而是「扭轉的曲面」，這是讓風力集中更強的設計。觀察普通電風扇的扇葉角度設計的是將空氣往前吹，電風扇在轉動時，扇葉切開空氣會產生氣旋，使空氣開始流。
- (二) 牛頓力學—作用力與反作用力：當風扇葉片轉動時，葉片的斜角會與空氣產生應力，空氣會被「推走」，葉片對空氣施予一個作用力，同時被推走的空氣會對葉片產生一股反作用力。這是牛頓發現的「作用力與反作用力」原理，然而被推走的空氣，就可以推動車子前進。
- (三) 摩擦力：
 1. 靜摩擦力：當相互接觸的兩個物體相對靜止，但是存在著相對運動的趨勢時，在接觸面之間會產生一個阻礙相對運動的力，這個力就是靜摩擦力。當外力加大到使物體開始移動的一瞬間，靜摩擦力增大到了最大值，稱為最大靜摩擦力。
 2. 滾動摩擦：是阻礙物體（例如球、輪胎等）在另一物體表面滾動的力。物體滾動過程中，滾動點及其所在的滾動面或其他物體的接觸面受變形，產生滾動摩擦。滾動因數與物體表面材料、形狀及物體上施加重量有關，也跟滾動運動表面變形多少有關。
 3. 滑動摩擦：指的是一個物體在另一個物體表面上發生相對於另一個物體滑動運動的時候，要受到另一個物體阻礙它相對運動的力，這種力就叫做滑動摩擦力。滑動摩擦力的方向與接觸面垂直，並和物體的相對運動相反。
 4. 滾阻摩擦：滾動運動和滑動運動同時存在的混合摩擦。本實驗中發現，在寶特瓶動力車的行進時，出現滾動運動和滑動運動同時存在的情形。

三、討論實驗計畫：

- (一) 討論各項實驗變因，進行實驗設計：我們起初從動力車的四個主要部分——來推測車體、輪子、橡皮筋、風扇都會影響行進表現。因為動力車的動力來源是由風扇帶動空氣推進，透過輪子轉動前進，所以我們決定以輪子和風扇為本次初探研究內容。我們針對輪子的接觸面寬窄、輪子外圍不同數量橡皮筋做為不同設計，以及套上橡皮筋後的輪子行駛在不同路面上的差異，藉以探討輪子摩擦力的影響情形。風扇部分，則從改變風扇大小、葉片數量、葉片彎折角度，藉以探討風扇轉動提供推力的情形。

- (二) 討論寶特瓶動力車車體的製作方法：我們先模仿網路影片的製作方式，然後試跑動力車。初步製作後發現：如果是做寶特瓶，必須使用細繩替輪軸，會比竹棍耐用；另外，影片中的車體部分是圓柱狀寶特瓶，我們覺得不容易找到圓柱輪軸位置，所以改用方型寶特瓶，方便進行實驗裝置製作。風扇部分，為求造型、材料統一，全部由單一品牌寶特瓶的上半段製作。起初在輪子的部分先以市售不同品牌之寶特瓶蓋（四輪相同），中間鑽孔當作輪子，再檢討初步實驗結果後，為求統一材質，決定以30列印瓶蓋造型的輪子進行實驗。
- (三) 檢討誤差後重新實驗：

在初步實驗後，我們發現我們的實驗裝置中，存在許多誤差的部分：

1. 市售軟料瓶蓋材質不一。
 2. 車體上輪軸孔的位置與接觸面的風扇大小尺寸。
 3. 輪軸在轉動時與寶特瓶上的輪軸孔摩擦產生過大阻力。
 4. 橡皮筋長度不足必須相延長，但在扭轉時容易卡住。
 5. 動力車行駛在磨石子地面上可能會受到地面不平的影響。
- 所以我們決定重新實驗，從改善實驗成品著手，希望能縮小實驗誤差。
1. 30列印輪子：以統一線材的30列印瓶蓋造型的輪子進行實驗。
 2. 加裝輪架：運用校內農人課程中會用到的自由手臂，加裝在寶特瓶車體上，做為輪架，可以確定對應輪軸的位置，架高後的車體，才能進行風扇大小的實驗，以探求針對車體最佳化的風扇尺寸。
 3. 加裝培林：為減少輪軸的摩擦，我們原本嘗試用套管隔開輪軸與瓶身上的輪孔，但轉起來時仍會晃動，令我們有些苦惱。蒐集資料後發現，要減少摩擦可以用潤滑劑或軸承裝置，恰巧陣子很流行「培林陀螺」，他是運用培林轉動，讓我們想到如果在輪孔上加裝培林，應該能夠讓摩擦減少，讓實驗誤差降低。
 4. 控制橡皮筋彈性係數：在初步實驗中，我們依照網路上的影片製作橡皮筋，使用的是最長長的橡皮筋，當長度不夠時就相接延伸；可是實驗時經常會發生橡皮筋卡住的情形，導致影響實驗結果。決定重新實驗後，我們決定改採用大橡皮筋，就不須加長，另外，為了減少橡皮筋的彈力差異，我們運用自來天平教具，製作了一個「橡皮筋彈性係數測量架」，將一整包橡皮筋逐條測量，篩選出中間價值的彈性係數橡皮筋（21公分），運用在寶特瓶上。為了避免彈性係數的問題，我們的彈性每做一項實驗，就要更換全新的橡皮筋。於是我們利用氣球座當成橡皮筋的套約，加裝在風扇輪上，以便更換。



5. 採用固定式美耐板軌道：為了能更確實的測量動力車的行進表現，排除因地面水平不佳的影響，我們使用採用固定式美耐板軌道，並在軌道上貼上布尺與參標、出線器，方便實驗觀察。在實驗中，若因動力車歪斜摩擦地面，則不列入實驗結果，需調整車子後重新實驗。

四、製作實驗成品—寶特瓶動力車 (一) 準備材料：如下圖所示



(二) 製作步驟：改編自網路影片 <如何使橡皮筋動力車>

一使用塑料瓶 > <https://www.youtube.com/watch?v=XtbnrKun48c>



五、實驗執行

(一) 實驗步驟：

1. 選擇鋪設美耐板之木板跑道架作為測試動力車之主跑道。
2. 把實特瓶動力車放置於 200cm 跑道上，並在出發點上標記，作為之後各種測試車道的標準出發位置。
3. 轉動橡皮輪 30 圈後，調整好車子輪軸，迅速將手放開，讓車道滑。
4. 待車子停止不動後，在車道前輪位置放上標尺，並測量直線距離及行進時間。
5. 重複第 3、4 的步驟，連續做 12 次。
6. 用捲尺測量每次的行進距離，並以儀表測量每次行進時間。
7. 用紙筆記錄每次的行進距離、時間，如有因摩擦到軌道邊緣

而停下的狀況，則不列入實驗記錄。計算出速度後，分別將距離與速度的最大值與最小值刪除。

8. 計算出平均速度。
9. 欲進行下一項實驗變因時，需依照變因更換零件及風扇輪的橡皮膠，再重複第 2 至 7 步驟，並完成表格記錄結果。

(二) 實驗裝置固定規格：各實驗相同部分，以下表格記錄中不重複說明。

1. 車體：長 24 公分、寬 7 公分、高 7 公分。
 2. 車輪直徑：皆為 3.3 公分，厚度為 2 毫米。
 2. 橡皮膠：數量 4 條，彈性係數皆為 21 公分。
 3. 軸心長度：皆為 2 公分。
- ※ 風扇輪穿過軸架的角度與風扇直徑之間的距離，我們在此稱為「輪心長度」。

4. 全車尺寸 (含風扇輪、車輪)：長：35 公分寬 11.5 公分高：18 公分。
5. 全車重量：108 公克。

※ 每次實驗前均以電子秤測量車體重量，發現均為 108 公克。雖然在風扇大小之實驗中，改變風扇結構，但因為實特瓶材質輕，因此在電子秤測量結果仍然相同。



(三) 實驗記錄：

【實驗 1：探討實特瓶動力車輪軸與行進之關係】

1. 實驗 1-1 車輪寬度不同的車子

「車輪寬度」說明：選擇 3 組相同直徑、不同高度之實特瓶瓶蓋做實驗，瓶蓋高度較大者，為寬車輪，瓶蓋高度小者為窄車輪。此實驗中使用 30 列印之瓶蓋車輪以減少誤差。



實驗	1-1-1 窄車輪	1-1-2 中車輪	1-1-3 寬車輪
車輪：寬 1.5 公分	車輪：寬 1.5 公分	車輪：寬 1.5 公分	車輪：寬 1.5 公分
瓶蓋：直徑 11 公分、8 片	瓶蓋：直徑 11 公分、5 片	瓶蓋：直徑 11 公分、2 片	瓶蓋：直徑 11 公分、8 片
瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度
造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀

1-1 實驗記錄：

測試	1-1-1 窄車輪			1-1-2 中車輪			1-1-3 寬車輪		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)
第一次	195.0	4.13	47.22	179.9	4.39	40.77	72.5	1.78	40.73
第二次	194.5	3.58	54.33	183.5	3.57	51.40	68.5	1.25	54.80
第三次	200.0	3.71	53.64	4.31	43.59	43.59	3.75	53.62	
第四次	200.0	3.74	53.48	163.5	3.65	44.79	14.6	1.56	44.76
第五次	200.0	2.84	70.67	191.4	4.22	49.99	77.0	1.59	51.60
第六次	200.0	3.23	61.92	171.0	4.38	39.77	65.0	1.65	39.38
第七次	199.5	4.22	44.91	163.0	3.57	45.66	30.0	1.48	47.30
第八次	200.0	1.81	52.49	126.0	2.56	49.22	41.0	1.54	32.60
第九次	161.0	2.79	57.71	119.5	4.51	42.46	70.0	1.62	46.91
第十次	196.0	3.20	61.25	141.0	2.81	50.18	46.0	1.46	38.99
第十一次	168.5	2.71	62.18	114.0	4.88	39.92	63.0	1.46	43.05
第十二次	200.0	3.09	64.72	130.0	3.41	38.12	87.0	1.57	43.30
平均	191.0	3.16	57.82	169.8	4.07	43.78	76.7	1.57	41.91

※ 紅字表示數據最大與最小值必須刪除，以減少誤差，取 10 次平均值。
※ 因本實驗跑道長度為 200cm，當儀器記錄為 200cm，將儀器記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎ 實驗觀察與結果：

由此實驗數據可知，平均行進距離長度為窄車輪 > 中車輪 > 寬車輪，平均行進速度為窄車輪 > 寬車輪 > 中車輪。從實驗錄影中可觀察到寬車輪於一開始有旋轉情況，我們推測這樣的表現會影響實驗結果。

2. 實驗 1-2 車輪軸心不同的車子

「車輪軸心」說明：在固定的車輪輪軸上，以快乾膠分別黏上 0、1、2 及 3 條小橡皮膠，以改變車輪軸心，進而測量動力車行進距離與快慢。



實驗	1-2-1 無橡皮膠	1-2-2 1條橡皮膠	1-2-3 2條橡皮膠	1-2-4 3條橡皮膠
車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分
橡皮膠：數量 0 條	橡皮膠：數量 1 條	橡皮膠：數量 2 條	橡皮膠：數量 3 條	橡皮膠：數量 4 條
瓶蓋：直徑 11 公分、8 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片
瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度
造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀

1-2 實驗記錄：

測試	1-2-1 無橡皮膠			1-2-2 1條橡皮膠			1-2-3 2條橡皮膠			1-2-4 3條橡皮膠		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)
第一次	73.50	1.46	50.35	55.00	1.59	34.59	64.00	2.07	31.28	47.50	1.46	32.53
第二次	177.00	3.74	46.68	160.00	1.61	79.13	68.00	1.89	34.92	37.50	1.69	34.49
第三次	86.00	2.24	38.39	79.00	2.21	35.80	82.50	1.85	44.78	40.00	1.68	37.04
第四次	111.50	4.08	27.32	48.00	2.27	21.52	31.00	2.07	15.00	74.00	1.36	53.77
第五次	38.00	2.50	15.20	47.00	1.69	27.81	47.00	1.74	27.00	42.50	1.28	33.20
第六次	48.00	1.14	42.11	74.20	2.21	33.57	44.00	1.56	28.21	40.00	1.44	34.66
第七次	62.50	2.10	29.76	48.50	2.36	20.90	72.00	2.85	25.27	32.00	1.47	34.51
第八次	54.00	1.95	27.69	74.00	2.11	34.61	40.00	1.36	29.44	40.00	1.19	34.45
第九次	47.00	1.71	27.49	32.00	1.59	20.12	72.00	2.89	24.88	41.00	1.15	37.38
第十次	51.50	1.50	34.33	60.00	2.26	26.54	55.00	2.82	21.50	41.00	1.36	37.51
第十一次	63.00	1.91	33.08	45.00	2.40	18.75	35.00	2.66	27.00	42.00	1.30	32.31
第十二次	49.00	1.59	30.79	70.00	2.12	32.52	72.00	2.36	30.99	40.00	1.15	28.97
平均	68.79	2.21	31.11	79.80	2.48	32.17	61.73	2.67	23.03	43.88	1.43	34.41

※ 紅字表示數據最大與最小值必須刪除，以減少誤差，取 10 次平均值。
※ 因本實驗跑道長度為 200cm，當儀器記錄為 200cm，將儀器記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎ 實驗觀察與結果：

由此實驗數據可知，平均行進距離長度為 1 條橡皮膠 > 無橡皮膠 > 2 條橡皮膠 > 3 條橡皮膠。而平均行進速度為 3 條橡皮膠 > 無橡皮膠 > 2 條橡皮膠。從實驗錄影中可觀察到無橡皮膠的動力車，有時可滑行駛、較久，而 3 條橡皮膠的動力車一開始輪子總是打滑空轉，滾動滑行後，易停止。

3. 實驗 1-3 行駛於不同材質的路面

「不同材質路面」說明：選擇 3 種不同路面進行動力車實驗，分別為美耐板路面、鋪設砂紙之路面以及 PU 操場路面。我們以前項實驗中，距離表現最好的「輪子套 1 條橡皮膠」動力車來做為測試裝置。



實驗	1-3-1 美耐板路面	1-3-2 砂紙路面	1-3-3 PU 操場路面
車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分
橡皮膠：數量 1 條	橡皮膠：數量 1 條	橡皮膠：數量 1 條	橡皮膠：數量 1 條
瓶蓋：直徑 11 公分、8 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片	瓶蓋：直徑 11 公分、6 片
瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度
造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀

1-3 實驗記錄：

測試	1-3-1 美耐板路面			1-3-2 砂紙路面			1-3-3 PU 操場路面		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)
第一次	177.00	2.15	82.33	180.00	3.58	50.51	100.00	2.51	40.55
第二次	173.00	2.95	58.10	165.00	2.30	72.17	109.00	2.38	45.80
第三次	157.00	1.89	78.48	157.50	2.50	63.28	100.00	2.48	39.57
第四次	180.00	3.28	57.93	173.00	1.56	111.46	76.10	2.28	33.44
第五次	153.00	2.04	79.18	171.00	1.76	114.09	109.00	2.28	48.05
第六次	200.00	2.70	74.00	147.00	3.58	41.86	89.00	3.06	29.38
第七次	173.00	2.60	66.54	170.00	3.57	50.86	100.00	3.11	32.36
第八次	158.50	1.84	81.18	100.00	2.70	62.99	76.00	2.31	32.69
第九次	200.00	3.27	61.16	100.00	3.20	46.59	111.00	2.37	48.77
第十次	144.00	2.04	70.93	167.00	3.80	43.47	107.00	2.30	46.53
第十一次	187.00	3.37	55.49	161.70	1.79	90.54	100.00	2.31	43.45
第十二次	180.00	3.75	48.00	187.40	3.35	58.98	79.00	2.59	30.62
平均	177.34	2.61	68.82	171.81	2.63	68.78	98.83	2.68	38.49

※ 紅字表示數據最大與最小值必須刪除，以減少誤差，取 10 次平均值。
※ 因本實驗跑道長度為 200cm，當儀器記錄為 200cm，將儀器記錄為動力車通過 200cm 的時刻。

◎ 實驗觀察與結果：

由此實驗數據可知，平均行進距離長度為美耐板路面 > 砂紙路面 > PU 操場路面。平均行進速度為美耐板路面 > 砂紙路面 > PU 操場路面。從實驗錄影中可觀察到於 PU 操場路面行進的動力車，雖然距離及速度皆較小，但每次的結果變數相對比較穩定。

【實驗 2：探討實特瓶動力車風扇葉片與行進之關係】

4. 實驗 2-1 風扇直徑不同的車子

「風扇直徑」說明：實特瓶動力車後方之風扇葉片，以相同材質實特瓶裁出葉片後，平放量取直徑 6、9.5、13.5 及 17.5 公分之風扇葉片，以進行測量動力車行進距離與快慢。



實驗	2-1-1 直徑 6 公分	2-1-2 直徑 9.5 公分	2-1-3 直徑 13.5 公分	2-1-4 直徑 17.5 公分
車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分	車輪：寬 1.4 公分
瓶蓋：直徑 11 公分、8 片	瓶蓋：直徑 13.5 公分、6 片	瓶蓋：直徑 13.5 公分、6 片	瓶蓋：直徑 17.5 公分、6 片	瓶蓋：直徑 17.5 公分、6 片
瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度	瓶蓋：角度：90 度
造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀	造型：瓶狀

2-1 實驗記錄：

測試	2-1-1 直徑 6 公分			2-1-2 直徑 9.5 公分			2-1-3 直徑 13.5 公分			2-1-4 直徑 17.5 公分		
	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)	距離 (公分)	時間 (秒)	平均速度 (公分/秒)
第一次	35.0	1.29	27.13	138.0	2.57	53.70	200.0	1.64	121.95	193.5	2.80	69.11
第二次	8.5	1.73	4.91	152.0	2.76	55.07	200.0	1.78	112.61	174.4	2.94	59.30
第三次	13.0	1.57	8.28	200.0	2.61	76.63	200.0	1.73	115.61	182.5	3.18	57.39
第四次	11.0	1.79	6.17	148.0	2.41	61.41	200.0	1.55	129.01	200.0	2.94	68.05
第五次	9.0	2.47	3.64	127.5	2.15	59.30	200.0	1.76	113.64	190.0	3.00	61.49
第六次	1.5	1.75	0.85	222.0	2.22	68.21	200.0	1.64	124.22	192.0	3.01	63.79
第七次	9.7	1.15	8.41	134.0	2.17	56.54	200.0	1.71	116.96	200.0	3.32	60.24
第八次	1.00	2.24	0.45	176.5	2.70	65.37	200.0	1.89	103.88	161.0	2.96	57.74
第九次	71.0	1.82	39.00	137.0	2.87	47.73	200.0	1.34	149.21	174.0	2.87	60.63
第十次	16.0	2.49	6.41	164.5	2.80	58.75	200.0	1.99	125.79	157.0	2.84	55.31
第十一次	1.5	2.30	0.65	220.0	2.41	91.35	156.0	1.58	126.58	165.0	2.84	58.10
第十二次	11.0	1.78	6.19	200.0	2.67	75.30	200.0	1.53	131.02	225.0	2.75	54.55

