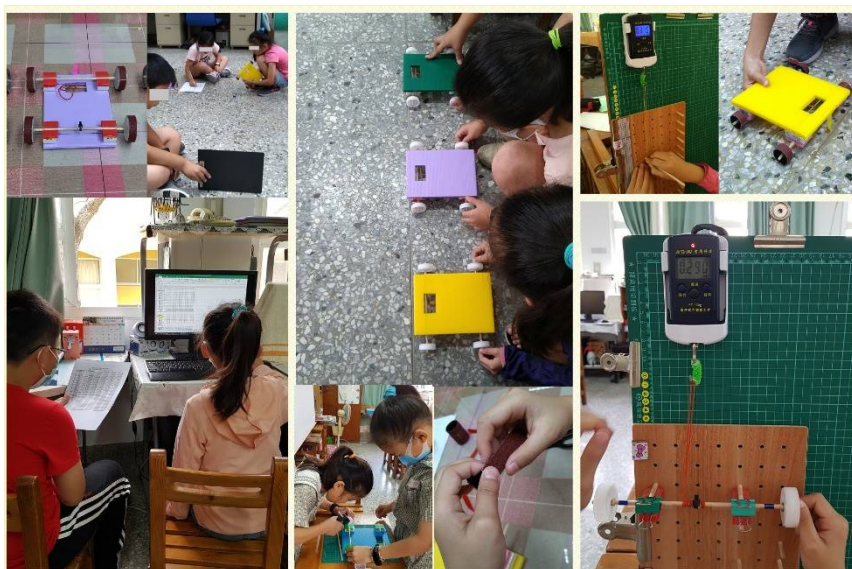


臺南市 109 年度國小學生獨立研究競賽作品

作品名稱： 「彈」無虛發 所「橡」無敵

編號：



目錄

摘 要	.....	1
壹、研究動機	.....	2
貳、研究目的	.....	2
參、文獻探討與研究構想	.....	3
肆、研究設備	.....	7
伍、研究過程、結果與討論	.....	9
陸、結 論	.....	26
柒、建議	.....	27
捌、參考文獻	.....	28

附件

「彈」無虛發 所「橡」無敵

摘要

橡皮筋動力車有趣又好玩，製作與調整有許多訣竅。我們自製彈力測試器測量橡皮筋與橡皮筋串聯組合的彈力，找出 5.5 公分橡皮筋串聯組合最適合做為動力車驅動的來源，在竹籤上旋轉 5 圈，重複操作 50 次內，彈力值穩定。我們利用 PP 板、竹籤、瓶蓋、鐵絲、束帶製作出專屬的橡皮筋動力車，製作測試的探索過程中，我們利用模擬車軸的彈力測試器找出橡皮筋最佳的旋轉圈數，旋轉五圈可以達到最好的效能。我們也發現不同輪胎大小對動力車行進距離有顯著影響，直徑較大的輪胎行進距離較遠。170 克重的橡皮筋動力車，胎面砂紙 AP-180 產生的摩擦力及滑行現象可以讓車子行進距離達到最遠。實驗後發現手做 DIY 車體的變因會影響動力車的行進距離，以此做為之後研究努力的方向。歡迎大家一起來探索動力車的迷人世界。

壹、研究動機

有一次上課的時候，老師告訴我們，地球上許多的能源能轉換成動能，讓物體移動，我們親自動手做了一輛橡皮筋動力車，這台車子利用扭轉橡皮筋來轉換成動力來源，手一放開，橡皮筋動力車所儲存的動力就會釋放出來，車子就會往前飛奔而去，結果有同學車子跑得遠，有同學車子只移動一點點距離，這是怎麼一回事？運用橡皮筋的彈力產生動能的車子如何移動呢？三年級第一學期的自然課程「力的作用」曾學到橡皮筋的彈力是一種恢復力，這讓我們對橡皮筋的動力更加好奇，我們想要製作一輛橡皮筋動力車，利用生活上隨手可得的物品，讓動力車跑得更遠。

貳、研究目的

- 一、比較不同長度橡皮筋的彈力。
- 二、探討橡皮筋串聯組合與彈力的關係。
- 三、找出自製橡皮筋動力車的組裝方式。
- 四、探討橡皮筋串聯組合旋轉圈數與彈力的關係。
- 五、探討橡皮筋動力車輪胎大小對行進距離的影響。
- 六、探討橡皮筋動力車胎面材質對行進距離的影響。

參、文獻探討與研究構想

橡皮筋動力車利用生活中常見的器材來組裝，利用「橡皮筋」轉動後的恢復力提供輪軸動力，帶動車輪向前進，應用到的科學原理包含「彈力」、「摩擦力」，以下就科學原理、使用的物品與相關影片、研究進行文獻的蒐集整理與探討。

一、彈力

(一)彈力：物體受外力作用產生形變時，本身所具有恢復原狀的力量。

彈力是一種恢復力，太長時間拉長的話，會導致彈性疲乏。

(二)虎克定律：在彈性限度內，物體受力的大小和他的形變量成正比。

$$\text{外力 (F)} = \text{彈力係數 (k)} \times \text{伸長量 (x)}$$

1.物體形變愈大，儲存能量愈多。

2.受力愈大，形變愈大。

3.伸長量、外力大小會影響彈力。

(三)彈力係數：與彈性物體的材料、粗細和長短有關。施以相同的力，彈力係數越大，表示物體越不易形變。

$$\text{彈力係數} = \text{外力} \div \text{伸長量}$$

二、摩擦力

(一)摩擦力：兩個物體接觸表面之間，產生阻止對方做相同運動的力。

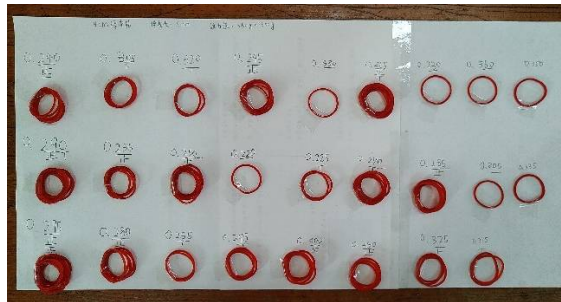
(二)影響摩擦阻力的是物體的重量和物體接觸面的性質。

物體重量越重摩擦力越大，重量越輕摩擦力越小。

粗糙的接觸面摩擦力大，光滑的接觸面摩擦力小。

三、橡皮筋

橡皮筋是一種用橡膠和乳膠做成的短圈，可以將物品綑綁在一起。橡皮筋具有彈力且可恢復的特性，在生活中使用非常方便。本研究使用的橡皮筋，選取厚度與寬度為 0.2 公分，再將橡皮筋兩端合攏（圓周長的一半），其長度分別為 4 公分、5.5 公分、7 公分。每種長度的橡皮筋先經彈力測試後，再選擇彈力範圍相近的橡皮筋作為實驗用的橡皮筋。



四、廢材彈力車影片

(一)廢材彈力車靠橡皮筋產生兩種動力，一個是拉伸力，另一個是扭轉力。

(二)桌面和車輪摩擦力不足時，橡皮筋纏愈緊，動力太強反而讓車輪容易打滑，在胎面上加上止滑墊，增加摩擦力。

(三)輪胎和地面摩擦力夠大，橡皮筋纏愈緊，速度愈快。

(四)改造廢材彈力車：



1. 吸管軸承剪短，可以避免橡皮筋卡住吸管軸承。
2. 四輪需著地，不懸空，前後車軸要平行。
3. 輪子加大，避免車身磨地。
4. 車子增加後輪重量，讓車子跑得更遠。



五、科展作品參考

(一)風狂寶寶巴士--寶特瓶動力車初探

1. 實驗從動力車的四個主要部分來進行變因設計：

車體、輪子、橡皮軸、風扇。

2. 實驗誤差的因素：

- (1) 市售飲料瓶蓋材質不一。
- (2) 輪軸在轉動時與輪軸孔摩擦過大造成晃動。
- (3) 橡皮筋長度不足必須相接延長，但在扭轉後容易卡住。
- (4) 動力車行駛在磨石子地面上可能會受到地面不平的影響。

(二)奔跑吧！橡皮筋

1. 如何挑選橡皮筋？

- (1) 利用十字來找出接近圓形的橡皮筋。
- (2) 利用電子秤找出相同重量的橡皮筋。
- (3) 利用伸長量找出相同彈性的橡皮筋。

六、實驗構想

1.為了避免彈性疲乏的問題，我們決定每做一組測試，就要更換全新的橡皮筋。

2.誤差：指測量結果偏離真實值的程度，即為測量值和真實值的差異。

相對誤差=(測量值-真實值)÷真實值，可以用百分比(%)表示。

誤差 5%：誤差值=(調整後數值的平均值-真實平均值)÷真實平均值。本實驗接受的誤差範圍是 +5% ~ -5%。

3. 信賴區間：

區間 100%定義：每部車各取 20 次測試值，計算平均值。

區間 80%定義：每部車去除前後極端值各 2，取 16 次測試值，計算平均值

區間 70%定義：每部車去除前後極端值各 3，取 14 次測試值，計算平均值

肆、研究設備

一、實驗器材

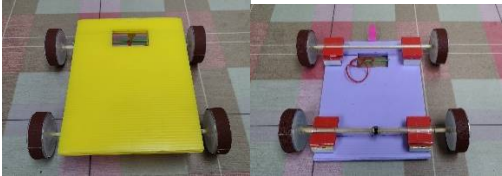
橡皮筋、砂紙、綠皮鐵絲、玉米串竹籤、吸管、毛根、1cm 積木、貼紙、大鐵夾、螺絲、圓形木棒、直尺、掛勾 長尾夾、束帶、瓶蓋、PP 板、膠帶、透明雙面無痕強力膠條、螢光標籤、拉力秤、遙控器壁掛固定架、切割板、洞洞板、熱熔膠槍、熱熔膠條、鑽頭、雷射測距儀、壓克力夾板、尖嘴鉗。

二、自製實驗設備

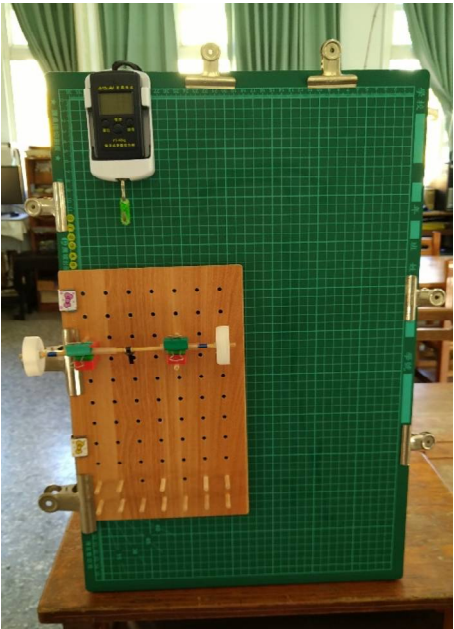
(一)橡皮筋彈力測試器

圖示	功能
	<ol style="list-style-type: none">1.拉力秤： 測量橡皮筋各伸長量的拉力值。單位為 kg，數值顯示到小數點第三位。最小單位 5g。2.掛勾： 上面纏有毛根，用來固定橡皮筋測量的起始位置。3.橡皮筋長度值：橡皮筋長度確認。4.洞洞板： 直線的圓洞，由上往下，分別代表各種不同的伸長量 2.5、5、7.5cm 依序下去。(依不同長度橡皮筋，調整洞洞板位置。)5.拉力桿： 圓形長木條上纏有毛根，用來拉住橡皮筋的末端，往下拉至固定的伸長量圓孔。

(二)橡皮筋動力車

圖示	零件
	<ul style="list-style-type: none"> 1.車身 2.車軸 3.輪胎 4.天窗 5.綠皮鐵絲 6.箭頭標籤 7.橡皮筋 8.束帶 9.車軸墊高器

(三)模擬車軸彈力測試器

圖示	功能
	<ul style="list-style-type: none"> 1.拉力秤： 測量橡皮筋串聯組合各旋轉圈數的拉力值。單位為 kg，數值顯示到小數點第三位。最小單位 5g。 2.掛勾： 上面纏有毛根，用來固定橡皮筋串聯組合第一條橡皮筋。 3.橡皮筋長度值：橡皮筋長度確認。 4.後輪車軸模擬器： 動力車後輪車軸，中間有束帶，用來勾住橡皮筋串聯組合的第二條橡皮筋。 5.洞洞板： 固定車軸模擬器用，其中掛勾到束帶的距離等於橡皮筋動力車天窗綠皮鐵絲到後輪車軸的距離。

伍、研究過程、結果與討論

◆實驗一： 不同長度橡皮筋的彈力比較

◆實驗步驟：

- 1.使用橡皮筋彈力測試器，分別測試 4 公分、5.5 公分、7 公分橡皮筋，在不同伸長量下的彈力值大小。
- 2.首先，將 4 公分橡皮筋的一端套到拉力秤的掛鉤上，另一端往後拉長伸長量 2.5 公分，觀察橡皮筋的變化，記錄拉力秤上的數值。重複測量十二次，去除前二次數值，計算彈力的平均值。依序測量不同的伸長量(如步驟 6)。
- 3.同一長度橡皮筋挑選 6 條，進行測量，依序完成 5.5 與 7 公分彈力測試。
- 4.橡皮筋的伸長量如下：(最大值為橡皮筋原長 3 倍)
 - 4 公分橡皮筋：2.5、5、7.5、10、12.5 公分
 - 5.5 公分橡皮筋：2.5、5、7.5、10、12.5、15、17.5 公分
 - 7 公分橡皮筋：2.5、5、7.5、10、12.5、15、17.5、20、22.5 公分

◆實驗結果：

橡皮筋伸長量 (cm)	0cm	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm
橡皮筋彈力(g)										
橡皮筋編號										
4公分平均值	0	163.4	246.7	321.7	405.1	504.0				
4公分彈力(g)	0	165	245	320	405	505				
5.5公分平均值	0	137.6	203.7	256.8	307.6	360.3	416.7	486.8		
5.5公分彈力(g)	0	140	205	255	310	360	415	485		
7公分平均值	0	115.9	184.0	233.9	279.3	323.7	368.1	416.8	468.6	522.6
7公分彈力(g)	0	115	185	235	280	325	370	415	470	525

※拉力秤重量單位為5g，橡皮筋彈力值經平均後數值轉為拉力秤數值。平均數個位 < 2.5g 捨去，> 2.5g 進位。

※後續實驗數據皆呈現轉換後數值。實驗數據詳見附件。

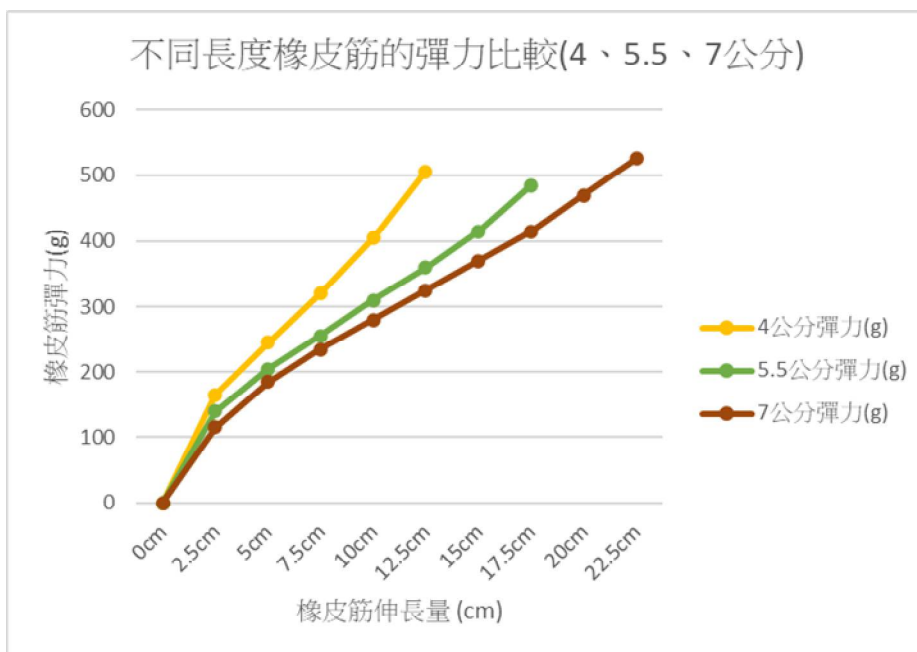


圖 1-1：不同長度橡皮筋的彈力比較(4、5.5、7公分)

表1-2：不同長度橡皮筋的彈力係數比較(4、5.5、7公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm
彈力係數(g/cm)									
橡皮筋編號									
4公分平均值	66	49	43	41	40				
5.5公分平均值	56	41	34	31	29	28	28		
7公分平均值	46	37	31	28	26	25	24	24	23

※彈力係數=橡皮筋彈力÷伸長量 (g/cm)

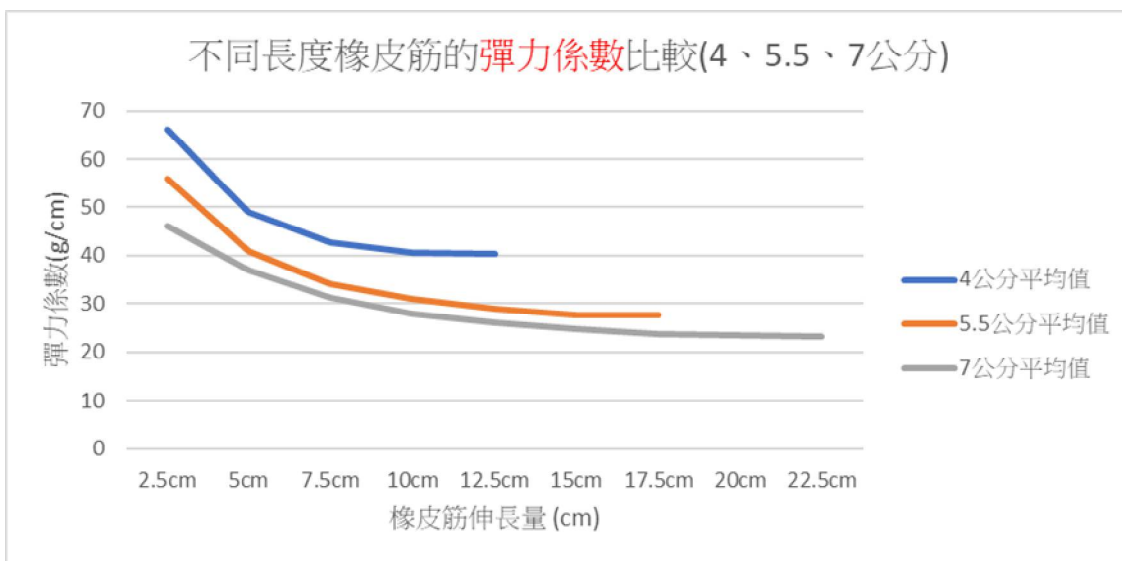


圖 1-2：不同長度橡皮筋的彈力係數比較(4、5.5、7公分)

◆實驗發現與討論：

- 1.觀察圖 1-1 發現：橡皮筋 4 公分、5.5 公分、7 公分在不同伸長量下測得的彈力值，都是呈現上升的趨勢，但不是一條直線。線段上升斜度：4 公分 > 5.5 公分 > 7 公分
- 2.在相同伸長量下(2.5 cm ~ 12.5 cm)，橡皮筋彈力值：4 公分 > 5.5 公分 > 7 公分
- 3.觀察圖 1-2 發現：橡皮筋 4 公分、5.5 公分、7 公分的彈力係數並非呈現一直線，代表橡皮筋彈力不符合虎克定律，伸長量與橡皮筋彈力不成正比。在實驗中我們觀察到橡皮筋受外力拉扯的過程中，各處會因為受力不均勻而呈現顏色深淺不一的情形，直到拉扯到一定伸長量後才會出現橡皮筋顏色一樣的現象，此時正是彈力係數穩定時，但橡皮筋也呈現高度緊繃狀態。
- 4.橡皮筋 4 公分、5.5 公分、7 公分的彈力係數都在伸長量 2.5cm 時呈現最大值，之後逐漸下降，變化愈來愈小。曲線趨於穩定值，伸長量各約為：4 公分 → 10 cm、5.5 公分 → 12.5 cm、7 公分 → 17.5 cm。

◆實驗二：_____ 探討橡皮筋串聯組合與彈力的關係

◆實驗步驟：

- 1.分別準備橡皮筋 4 公分、5.5 公分、7 公分，二條串聯，各 3 組。
- 2.使用橡皮筋彈力測試器，分別測試橡皮筋 4 公分串聯組合、5.5 公分串聯組合、7 公分串聯組合，在不同伸長量下的彈力值大小。
- 3.將橡皮筋串聯組合的一端套到拉力秤的掛鉤上，另一端往後拉長伸長量，觀察橡皮筋的變化，記錄拉力秤上的數值。重複測量十二次，去除前二次數值，計算彈力的平均值。
- 4.橡皮筋的伸長量：2.5、5、7.5、10、12.5、15、17.5、20、22.5、25 cm

◆實驗結果：

表2-1：橡皮筋串聯組合與彈力的關係(4公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm
橡皮筋彈力(g)											
橡皮筋類型											
4公分	165	245	320	405	505						
4公分串聯	85	150	200	235	280	310	345	385	430	475	

表2-2：橡皮筋串聯組合與彈力的關係(5.5公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm
橡皮筋彈力(g)											
橡皮筋類型											
5.5公分	140	205	255	310	360	415	485				
5.5公分串聯	85	140	175	210	235	265	290	315	340	370	

表2-3：橡皮筋串聯組合與彈力的關係(7公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm
橡皮筋彈力(g)											
橡皮筋類型											
7公分	115	185	235	280	325	370	415	470	525		
7公分串聯	65	115	155	185	215	235	260	285	310	330	355

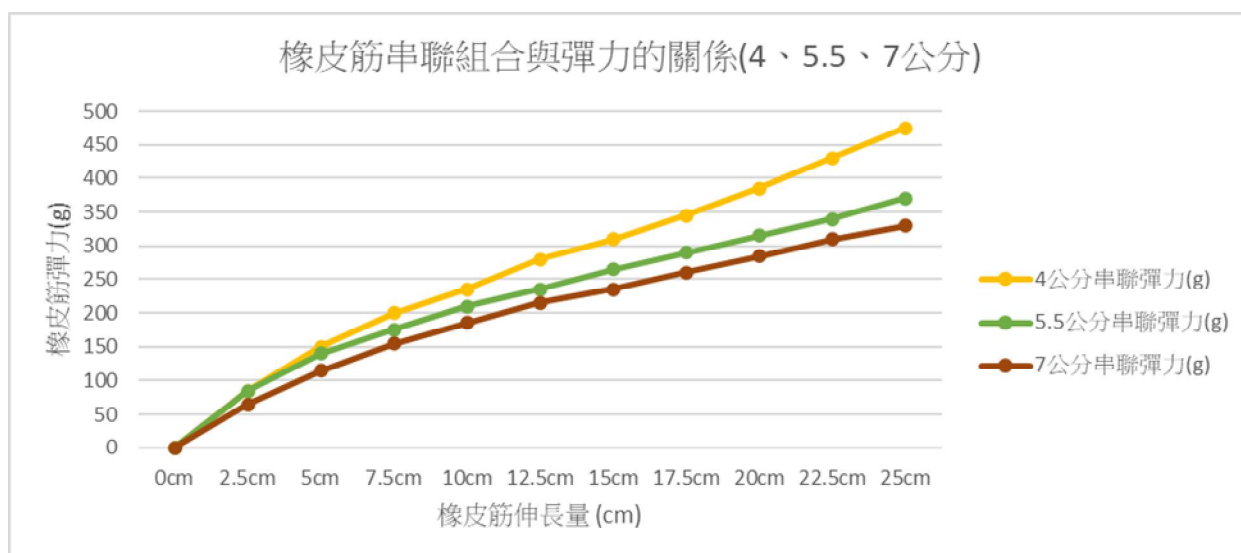


圖 2-1：橡皮筋串聯組合與彈力的關係(4、5.5、7公分)

表2-4：橡皮筋串聯組合與彈力係數的關係(4公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm
彈力係數(g/cm)											
橡皮筋類型											
4公分	66	49	43	41	40						
4公分串聯	34	30	27	24	22	21	20	19	19	19	
4公分 / 4公分串聯	1.9	1.6	1.6	1.7	1.8						

表2-5：橡皮筋串聯組合與彈力係數的關係(5.5公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm
彈力係數(g/cm)											
橡皮筋類型											
5.5公分	56	41	34	31	29						
5.5公分串聯	34	28	23	21	19	18	17	16	15	15	
5.5公分 / 5.5公分串聯	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5						

表2-6：橡皮筋串聯組合與彈力係數的關係(7公分)

橡皮筋伸長量 (cm)	2.5cm	5cm	7.5cm	10cm	12.5cm	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm
彈力係數(g/cm)											
橡皮筋類型											
7公分	46	37	31	28	26						
7公分串聯	26	23	21	19	17	16	15	14	14	13	13
7公分 / 7公分串聯	1.8	1.6	1.5	1.5	1.5						

※彈力係數=橡皮筋彈力÷伸長量 (g/cm)

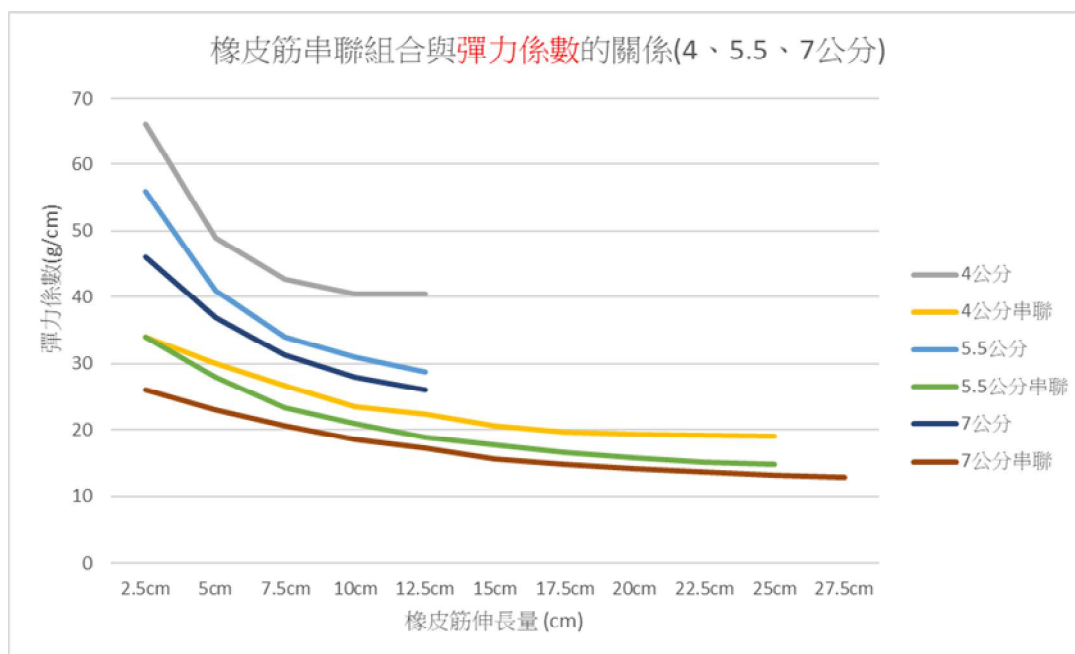


圖 2-2：不同長度橡皮筋串聯組合與彈力係數關係(4、5.5、7公分)

◆實驗發現：

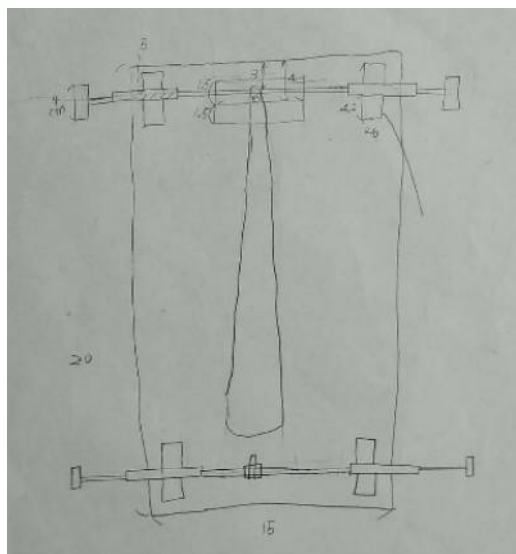
- 1.從圖 2-1 中發現：橡皮筋 4 公分、5.5 公分、7 公分二條串聯組合的彈力值，呈現伸長量越大彈力值越高，但不是一直線，代表串聯組合的橡皮筋也不符合虎克定律。曲線斜度：4 公分 > 5.5 公分 > 7 公分。
- 2.在相同伸長量下，橡皮筋串聯組合的彈力值：4 公分 > 5.5 公分 > 7 公分。4 公分串聯組合在伸長量 > 10 公分後，拉力值線段斜度明顯高於 5.5 及 7 公分串聯組合。
- 3.從表 2-2、2-3 中發現，比較 5.5 公分與 5.5 公分串聯組合、7 公分與 7 公分串聯組合，橡皮筋彈力值都出現關聯性：橡皮筋 5.5 公分、彈力值 140g，可伸長 2.5cm；橡皮筋 5.5 公分串聯組合、彈力值 140g，可伸長 5cm，橡皮筋串聯組合的伸長量是一條的 2 倍。橡皮筋類型 7 公分也具有相同的關聯性。我們認為：橡皮筋 5.5 公分、7 公分可串聯使用。

- 4.從圖 2-2 發現：不同長度橡皮筋單條與串聯組在彈力係數的變化上都呈現下滑趨勢，各線段下降斜度與為：2.5~5 公分 > 5~7.5 公分 > 7.5~10 公分 > 10~12.5 公分。我們推測：在可拉長限度內，橡皮筋伸長量越大，彈力係數越穩定，橡皮筋各點受力越均勻。呼應實驗過程中我們觀察到的橡皮筋顏色變化：第二條橡皮筋先受力拉長變色，之後才是第一條。
- 5.從表 2-4、2-5、2-6 中發現，將相同長度橡皮筋單條與串聯組合的彈力係數相除，得到的數值出現變化：橡皮筋 4 公分是 1.9→1.6→1.7→1.8；橡皮筋 5.5 公分是 1.6→1.5；橡皮筋 7 公分是 1.8→1.6→1.5。橡皮筋 5.5 公分、7 公分單條與串聯組合的彈力係數關係會隨伸長量愈大愈具有穩定性，在伸長量 > 7.5cm 後，關係固定在 1.5 倍。其中又以橡皮筋 5.5 公分的彈力係數關係最穩定，我們認為：5.5 公分橡皮筋最適合串聯使用。

◆實驗三： 組合橡皮筋動力車

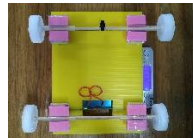
◆製作材料：

大 PP 板(15*20cm) 3 塊、小 PP 板(2.6*2cm) 16 塊、橡皮擦(2.6*4.2*1.2cm) 4 塊、玉米串竹籤(23cm) 2 支、吸管(5cm) 4 支、束帶 1 條、瓶蓋(4cm) 4 個、綠皮鐵絲(20cm) 1 根、砂紙(14.5*1.5cm) 2 條。



◆製作步驟：

- 1.將 3 塊大 PP 板用雙面膠組合在一起，再依設計圖在板子上畫出前後車軸線、天窗位置，用美工刀切割出天窗。
- 2.依序組合 4 塊橡皮擦以墊高車軸，使用小 PP 板將吸管固定在橡皮擦中心，最後貼上透明膠帶更加牢固。
- 3.玉米串竹籤先畫上線段，用來標示吸管、束帶、瓶蓋的位置，再將竹籤穿過吸管，接著瓶蓋鑽孔放置竹籤兩端，用熱熔膠固定。
- 4.束帶固定在後輪車軸中間，用熱熔膠固定。綠皮鐵絲則穿過天窗中間線，固定兩端。橡皮筋固定在鐵絲的中心點，最後用螢光標籤指示車頭位置。
- 5.動力車秤重，約 160g，未達標的車子再加重。貼上砂紙後的動力車約 170g
- 6.動力車試跑，調整零件與操作方式。



◆動力車起跑定位：

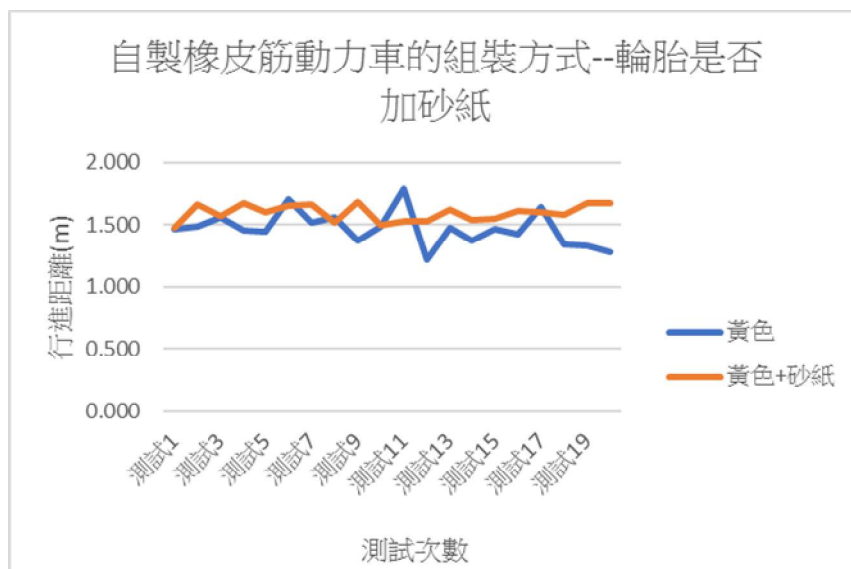
動力車放在地板起始線上，執行定位四動作：1. 對齊動力車前端 2. 調整後輪 3. 確認束帶位置 4. 調整前輪，確認完成後放手，讓動力車前進直到其靜止，觀察動力車行進狀態。

◆橡皮筋置放：

橡皮筋一端穿越鐵絲固定在中心點，另一端「勾住」束帶，旋轉橡皮筋，放開車子後，橡皮筋迅速旋轉，「脫離」束帶，產生動能，使車子向前跑。

◆輪胎是否加裝砂紙測試：

1.實驗結果：



2.實驗發現：

- (1)原始輪胎不加砂紙的動力車開始啟動時，容易發生空轉的現象，行進距離數據不穩定，差距較大。
- (2)輪胎加裝砂紙的動力車，與地面接觸增加摩擦力，行進距離較能代表橡皮筋放開產生的動能。

◆實驗四： 探討串聯橡皮筋旋轉圈數與彈力的關係

◆實驗步驟：

- 1.準備橡皮筋 5.5 公分二條串聯組合，共 9 組。
- 2.使用模擬車軸彈力測試器，測試橡皮筋 5.5 公分串聯組合，旋轉 4 圈的彈力值，測量 3 組。
- 3.將橡皮筋 5.5 公分串聯組合的一端套到拉力秤的掛鉤上，另一端套住後輪車軸模擬器的束帶，順時鐘旋轉，旋轉 3 圈滿後橡皮筋往左邊靠，再繼續旋轉到 4 圈滿停止(束帶朝 12 點鐘方向)，觀察橡皮筋的變化，記錄拉力秤上的數值。重複測量五十二次，去除前二次數值，計算彈力的平均值。
- 4.重複步驟 2-3，完成橡皮筋 5.5 公分、7 公分串聯組合彈力測試並記錄。

◆實驗結果：

表4-1：串聯橡皮筋旋轉圈數與彈力的關係

橡皮筋編號	編號 1	編號 2	編號 3
橡皮筋彈力平均值(g)			
橡皮筋旋轉圈數			
4圈	245	245	240
5圈	290	295	290
6圈	325	325	320

表4-2：串聯橡皮筋旋轉圈數與彈力的關係(總平均)

橡皮筋編號	10次總平均	20次總平均	50次總平均
橡皮筋彈力平均值(g)			
橡皮筋旋轉圈數			
4圈	245	245	245
5圈	295	290	290
6圈	325	325	320

※10次總平均：相同長度橡皮筋串聯組合的數據，測試第1~10次，編號1+2+3，求平均值。

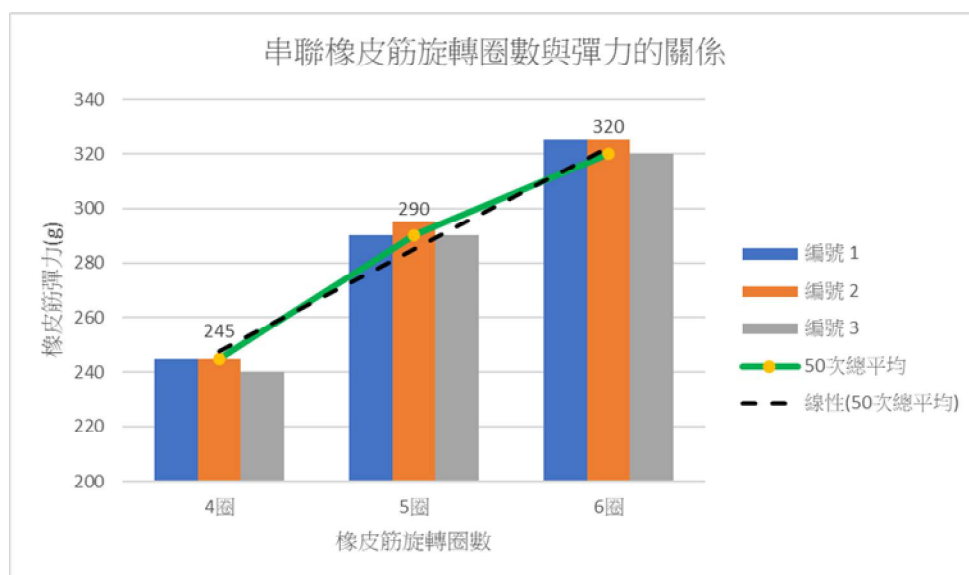


圖 4-1：串聯橡皮筋旋轉圈數與彈力的關係

◆實驗發現：

- 1.從表 4-1 發現：橡皮筋 5.5 公分串聯組合，旋轉圈數 4 圈，3 組橡皮筋拉力值的平均於 240~245g 間，考慮誤差(5%)後，彈力值穩定。旋轉 5 圈、6 圈時，橡皮筋平均拉力值分別為 290-295g、320-325g，彈力值也呈現穩定。
- 2.觀察表 4-2 中 10 次、20 次、50 次彈力總平均值，發現旋轉圈數相同時，彈力值具有穩定性。我們推論：橡皮筋 5.5 公分適合串聯使用，還可以隨著使用需求串聯更多條橡皮筋。在彈性限度內，測試 10~50 次，彈力值均穩定。
- 3.從圖 4-1 發現：旋轉圈數為 4 圈、5 圈、6 圈的 50 次總平均拉力值分別為 245g、290g、320g，呈現上升趨勢。在彈性限度內，代表旋轉圈數越多、伸長量越大、拉力值越高，但是每個線段的上升斜度不同。
- 4.觀察圖 4-1 中黑色趨勢線可以發現：旋轉圈數為 5 圈時，彈力值在 4 圈與 6 圈數值的連線上方，代表每多旋轉一圈彈力值會增加，在旋轉第 5 圈，彈力值增加最多。因此，我們採用旋轉 5 圈為橡皮筋動力車的旋轉圈數。

◆實驗五： 探討動力車輪胎大小對行進距離的影響

◆實驗步驟：

- 1.將三部動力車(藍色、黃色、紫色)裝設 3 公分車輪組，進行以下實驗。完成後再依序更換 4 公分、5 公分輪胎組，各完成以下實驗。
- 2.將橡皮筋 5.5 公分串聯組一端套進動力車天窗的綠皮鐵絲後拉緊，再將橡皮筋另一端套進動力車後輪走軸的束帶上，順時鐘旋轉，旋轉 3 圈滿後橡皮筋往左邊靠，再繼續旋轉到 5 圈滿停止(束帶朝 12 點鐘方向)。
- 3.將動力車放在地板起始線上，執行定位四動作：對齊動力車前端、調整後輪、確認束帶位置、調整前輪，確認完成後放手，讓動力車前進直到其靜止，觀察動力車行進狀態。
- 4.將雷射測距儀擺放在起始線，拿 A4 壓克力夾板放置動力車前端後，測量行進距離並記錄。
- 5.重複操作步驟 2-4，三部車各重複測量二十二次，去除前二次數值，計算行進距離的平均值。

◆實驗結果：

表5-1：動力車輪胎大小對行進距離的影響

輪胎直徑	直徑3公分	直徑4公分	直徑5公分
行進距離(m)			
三部車總平均			
區間 100%	1.338	1.557	2.150
區間 80%	1.339	1.545	2.148
區間 70%	1.341	1.552	2.147

※區間 100%定義：每部車各取 20 次測試值，計算平均值。

※區間 80%定義：每部車去除前後極端值各 2，取 16 次測試值，計算平均值。

※區間 70%定義：每部車去除前後極端值各 3，取 14 次測試值，計算平均值。

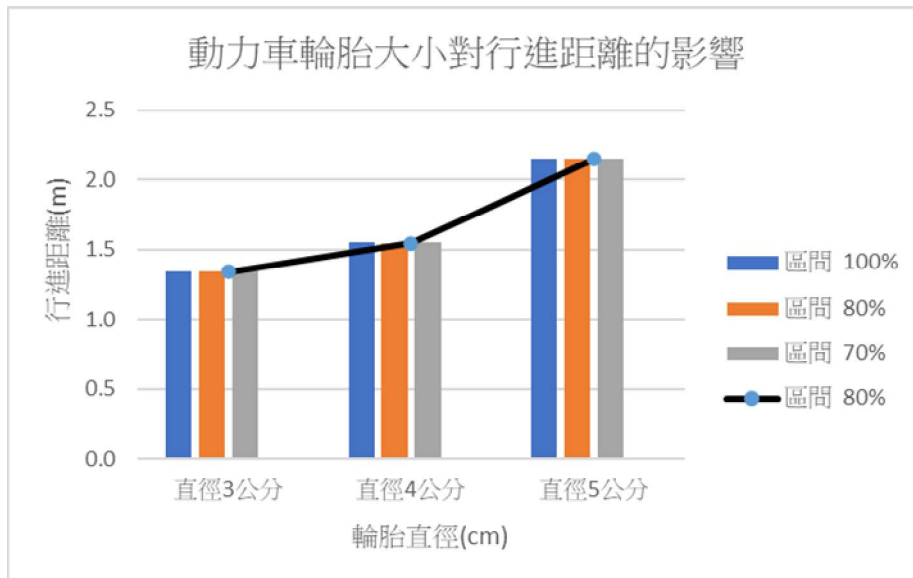


圖 5-1：動力車輪胎大小對行進距離的影響

◆ 實驗發現：

1. 觀察表 5-1 發現：輪胎直徑 3 公分在不同區間下的行進距離，區間 100%

=1.338m、區間 80% =1.339m、區間 70% =1.341m，在誤差範圍 (5%)內，行進距離可視為相同 $\approx 1.34m$ 。以此類推，輪胎直徑 4 公分、5 公分的行進距離也可以視為相同，直徑 4 公分 $\approx 1.55m$ 、直徑 5 公分 $\approx 2.14m$ 。三個區間的行進距離差距極小，但是考慮到實驗會有誤差，因此，我們採計區間 80%的數據做為後續討論的基準。

2. 觀察圖 5-1 發現：在不同採計區間，輪胎直徑 3 公分、4 公分、5 公分的動力車，行進距離遠近都是：直徑 5 公分 > 直徑 4 公分 > 直徑 3 公分。其中又以直徑 5 公分的行進距離最遠，遙遙領先直徑 3 公分、4 公分。因此，我們採用直徑 5 公分為動力車輪胎直徑，接續下一個實驗。

◆實驗六： 探討動力車胎面材質對行進距離的影響

◆實驗步驟：

- 1.分別將三部動力車裝設 5 公分車輪組，切割 1.5 公分寬的砂紙 AP-60 當輪胎的胎面，完成動力車裝置。
- 2.將橡皮筋 5.5 公分串聯組合一端套進動力車天窗的綠皮鐵絲後拉緊，再將橡皮筋另一端套進動力車後輪軸的束帶上，順時鐘旋轉，旋轉 3 圈滿後橡皮筋往左邊靠，再繼續旋轉到 5 圈滿停止(束帶朝 12 點鐘方向)。
- 3.將動力車放在地板起始線上，執行定位四動作：對齊動力車前端、調整後輪、確認束帶位置、調整前輪，確認完成後放手，讓動力車前進直到其靜止，觀察動力車行進狀態。
- 4.將雷射測距儀擺放在起始線，拿 A4 壓克力板放置動力車前端後，測量行進距離並記錄。
- 5.重複操作步驟 2~4，三部車各重複測量二十二次，去除前二次數值，計算行近距離的平均值。
- 6.將三部車的胎面依序更換為砂紙 AP-120、砂紙 AP-180、砂紙 AP-240，完成實驗步驟 2~5。

◆實驗結果：

表6-1：動力車胎面材質對行進距離的影響

胎面砂紙編號	砂紙AP-60	砂紙AP-120	砂紙AP-180	砂紙AP-240
行進距離(m)				
三部車總平均				
區間 100%	2.150	2.729	2.786	2.745
區間 80%	2.148	2.713	2.758	2.748
區間 70%	2.147	2.732	2.759	2.749

※區間 100%定義：每部車各取 20 次測試值，計算平均值。

※區間 80%定義：每部車去除前後極端值各 2，取 16 次測試值，計算平均值。

※區間 70%定義：每部車去除前後極端值各 3，取 14 次測試值，計算平均值。

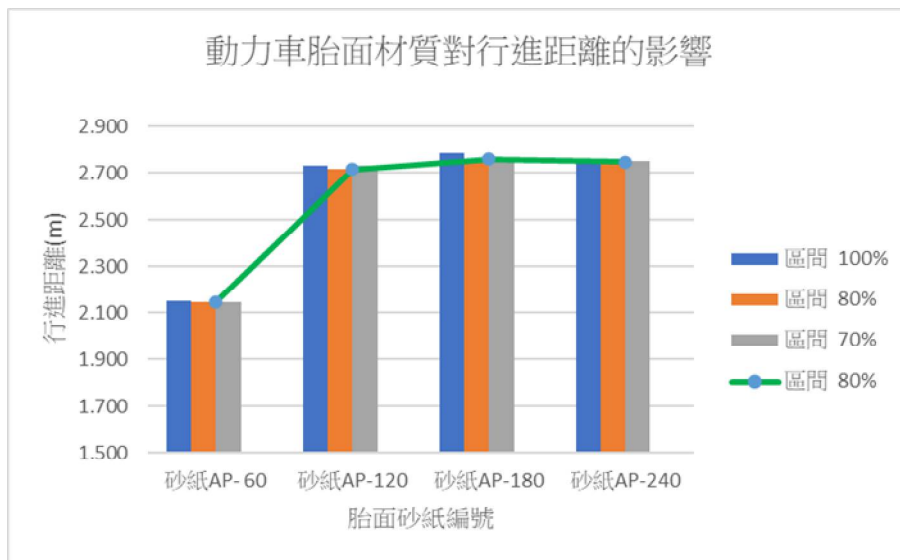


圖 6-1：動力車胎面材質對行進距離的影響

表6-2：動力車胎面材質與行進距離穩定性的關係

胎面砂紙編號	砂紙AP-60	砂紙AP-120	砂紙AP-180	砂紙AP-240	
行進距離差(cm)					
動力車顏色					
區間 100%	藍	20.2	53.0	59.6	59.6
	黃	17.9	23.5	18.3	30.8
	紫	28.0	46.9	31.5	38.3
區間 80%	藍	15.5	35.0	20.3	25.2
	黃	9.6	18.7	9.5	17.2
	紫	15.9	30.6	24.8	32.8
區間 70%	藍	10.3	22.8	15.7	16.5
	黃	8.2	18.4	8.8	11.7
	紫	11.5	25.8	20.4	26.4

※行進距離差：採計的測試數據中，最長行進距離-最短行進距離，單位 cm。

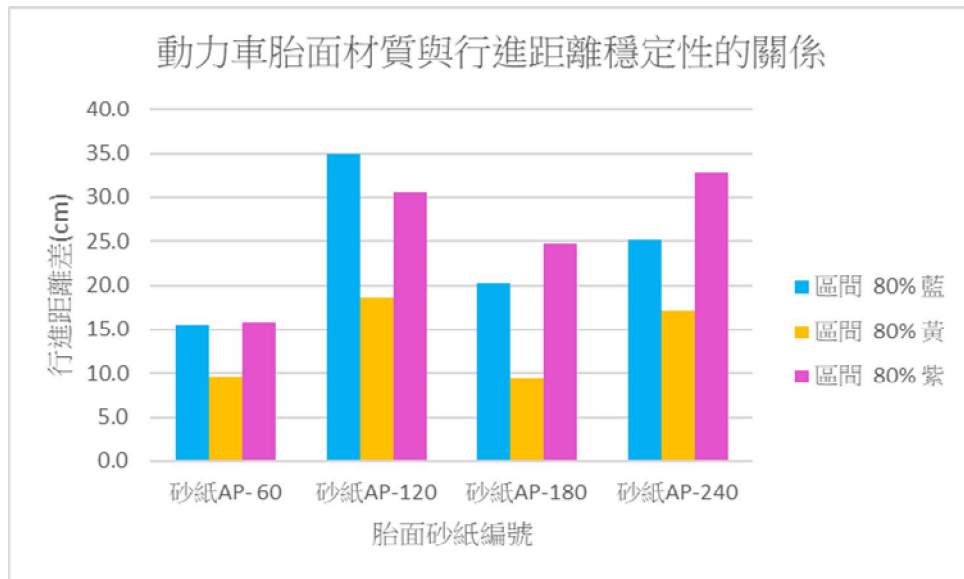


圖 6-2：動力車胎面材質與行進距離穩定性的關係

◆實驗發現：

- 1.觀察表 6-1 發現：胎面砂紙 AP-60 的動力車行進距離，在區間 100%、80%、70% 分別為 2.150m、2.148m、2.147m，差距在 0.3cm 內，在誤差範圍內，可視為行進距離相同。胎面砂紙 AP-120、AP-180、AP-240 在不同區間的行進距離差距分別約為 1.9cm、2.8cm、0.4cm，也可視為行進距離相同。我們推論：在測試數量足夠下，動力車行進的距離具有穩定性，符合實驗四結果：橡皮筋 5.5 公分串聯組合的彈力值具穩定性。
- 2.觀察圖 6-1 區間 80%折線，發現：不同砂紙胎面的動力車行進距離不同，砂紙 AP-180 (2.758m) > 砂紙 AP-240 (2.748m) > 砂紙 AP-120 (2.713m) > 砂紙 AP-60 (2.148m)，不過，砂紙 AP-120、AP-180、AP-240 行進距離差距很小，遠勝過砂紙 AP-60。再加上我們觀察到砂紙 AP-120、AP-180、AP-240 的動力車路跑過程中，在橡皮筋動力完全釋放後，會出現滑行現象，因此我們推論：

對 170g 的橡皮筋動力車來說，胎面砂紙 AP-60 摩擦力較大，行進距離較短；砂紙 AP-120、AP-180、AP-240 產生的摩擦力幾乎相同，行進距離較遠，其中以砂紙 AP-180、AP-240 滑行效果最佳。

3.比較表 6-2 中不同胎面材質的各區間行進距離差，發現：三部車的數值在區間 80%與 70%出現非常接近的情形，表示數值已經呈現穩定狀態，因此我們以區間 80%的數據為最後實驗依據。

4.觀察表 6-2 區間 80%，三部車在不同胎面材質的行進距離差，發現：使用砂紙 AP-60 當胎面的行進距離差最小，藍 15.5cm、黃 9.6cm、紫 15.9cm，最具穩定性。三色車行進距離差最大的分別是：藍車砂紙 AP-120 =35.0cm，黃車砂紙 AP-120 =18.7cm、紫車砂紙 AP-240 =32.8cm，和我們在路跑實測時觀察到的滑行現象相符。我們推論：胎面摩擦力不足時，產生的滑行現象讓動力車行進距離產生較大的落差，穩定性不佳，但是可以滑行增加總行進距離。

5.觀察圖 6-2 可以發現，三部車行進距離的穩定性有明顯差異，穩定性：黃車 > 紫車 > 藍車。經過討論後，我們認為手做 DIY 車體的變因影響了動力車行進距離的穩定性，包含：車體的整體組合、輪胎黏著的固定性、輪胎定位精準度等，皆為日後實驗可以再精進的部分。

陸、結論

- 一、橡皮筋彈力變化不遵守虎克定律。在相同伸長量下，橡皮筋 4 公分的彈力值優於橡皮筋 5.5 公分及 7 公分。
- 二、在伸長量 $> 7.5\text{cm}$ 下，橡皮筋 5.5 公分及 7 公分均可作為橡皮筋串聯組合的選擇。其中，橡皮筋 5.5 公分彈性係數高於 7 公分，因此，我們挑選 5.5 公分串聯組合當作橡皮筋動力車的動力來源。
- 三、橡皮筋 5.5 公分適合串聯使用，在彈性限度內，測試次數 10~50 次，旋轉相同圈數的彈力值呈現穩定值，旋轉 5 圈的彈力值高於平均線。
- 四、橡皮筋動力車組合：車身主體為 PP 板，車輪為瓶蓋，車軸為竹籤，起跑時須執行定位動作，等橡皮筋旋轉開始從束帶鬆脫，車子就會向前跑。
- 五、不同輪胎大小對動力車行進距離有顯著影響，採計區間 80% 的行進距離為：直徑 5 公分 (2.148m) $>$ 直徑 4 公分 (1.545m) $>$ 直徑 3 公分 (1.339m)。直徑較大的輪胎行進距離較遠。
- 六、對 170 克重的橡皮筋動力車來說，胎面砂紙 AP-180 產生的摩擦力及滑行現象可以讓動力車行進距離達到相對最遠，因此，我們選擇使用砂紙 AP-180 當胎面。

柒、建議

- 一、測量橡皮筋串聯組合的拉力值時，建議要分別測量二條橡皮筋的伸長量並記錄，可以觀察各橡皮筋伸長情形與計算彈力係數，再與單條做比較。
- 二、手做 DIY 車體的變因會影響動力車的行進距離差，輪胎開始鬆動時偶爾會出現啟動一開始就空轉的現象，建議修正：動力車組合零件皆採用堅固性高的物件，以減少彈力拉扯時的少許位移；輪胎固定方式改採軸承(培林)，以減少輪胎軸與輪胎的摩擦力；設計輪胎定位器，以減少組裝輪胎的位置差。

柒、參考文獻

大愛電視(2013 年 8 月 24 日)。《生活裡的科學》不變應萬變的彈力。取自

https://www.youtube.com/watch?v=RRzt8cKO_ds

大愛電視(2015 年 12 月 24 日)。《生活裡的科學》摩擦力。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=mT1lBNsVnts>

大愛電視(2018 年 2 月 9 日)。《生活裡的科學》廢材彈力車。取自

https://www.youtube.com/watch?v=nAyKVX_Vhco&list=PLYfJOvcvKb2Qwr7Q4G1gMgxC3qDR35cy5&index=35

田智巖、黃怡甄、趙珮如、沈甫學（民 106）。**奔跑吧！橡皮筋**。中華民國第 57

屆中小學科展作品說明書（國小組報告編號：080112）

黃鴻博（主編）（2019）。**自然與生活科技**（第一冊，三上）。臺南市：南一書局。

蔡謹仔、張育甄、李昱姍、賴冠宇、林晏妃、紀惠心（民 106）。**風狂寶寶巴士-**

寶特瓶動力車初探。中華民國第 57 屆中小學科展作品說明書（國小組報告
編號：080117）