

# 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

最佳團隊合作獎

080112

奔跑吧！橡皮筋～

學校名稱：臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者： 小四 田智歲 小四 黃怡甄 小四 趙珮如 小四 沈甫學	指導老師： 戴郁奇 王懋勳
---	---------------------

關鍵詞：旋轉、滾動、角度

# 摘要

橡皮筋在日常生活中很常見，用途十分廣泛，而且隨手可得，它的玩法有很多種，例如拿來玩跳高、做圖案，還是射擊遊戲…等。不管我們把橡皮筋拉多長，射出去的距離還是很有限。為什麼同學的橡皮筋可以在地上滾了起來？還有為什麼它可以滾得這麼遠？同學在射橡皮筋的手勢，果然是讓它在地上滾動的重要關鍵，而橡皮筋發射器在中間的支架，正好證明了我們這個想法。在力與運動的單元裡，橡皮筋形狀的改變程度越大，相對地產生的能量就會越大。可是為什麼撐高 9 公分的橡皮筋，滾動的距離反而會不如撐高 6 公分的遠呢？橡皮筋的彈性曲線和落地角度幫我們解答了這些疑惑。

## 壹、研究動機

去年和同學代表學校參加打擊樂比賽，中午大家吃完便當休息時，覺得無聊就把綁便當盒的橡皮筋拿來玩，比賽看看誰可以射得比較遠。結果有位同學用了一個很奇怪的手勢贏了比賽，讓我們覺得好厲害、好神奇，紛紛要他教我們這個大絕招。這個奇怪的手勢就是用左手的食指和右手大拇指把橡皮筋拉長後，再用左手大拇指把橡皮筋的中間撐起來，然後放手射出去，飛出去的橡皮筋竟然在地上滾了起來。比賽時我們的射出橡皮筋雖然偶爾有滾動，但是大部分都是飛行一小段後，就直接掉下來，不像同學的滾動得這麼順利、這麼遠。為什麼我們射出去的橡皮筋，飛到後面是用飄的。而且不管把橡皮筋拉得多長，飛行的距離總是很有限。還有為什麼同學射出的橡皮筋在地上是用滾的？把橡皮筋頂更高會跑得越遠嗎？還是跟頂橡皮筋的位置有關呢？這個有趣的現象引發了我們的興趣，在跟老師和隊員討論過後，會滾動的橡皮筋就成為我們的研究主題。

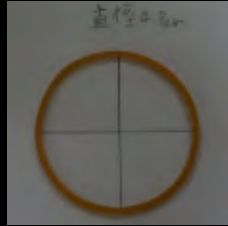
## 貳、研究目的

- 一、橡皮筋的成分、製造、由來、特性和種類。
- 二、如何挑選比較會滾動的橡皮筋呢？
- 三、射出去的橡皮筋為什麼會往前滾動呢？
- 四、利用橡皮筋發射器測試橡皮筋滾動的情形。
- 五、橡皮筋滾動距離的長短，跟它的落點會有關係嗎？
- 六、橡皮筋發射器在哪一種高度，才可以讓橡皮筋滾最遠呢？

## 參、研究設備及器材



橡皮筋



長度 4.8cm 的十字



量角器



直尺



電子秤



虎克木架、砝碼



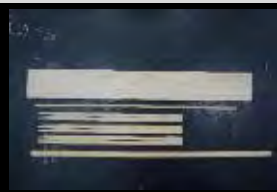
軌跡測量 PP 板



空曠無風的跑道



長捲尺



發射器木條



束帶



鐵絲



熱熔槍



照相機



慢動作錄影機



高速攝影機



電鑽



桌上型鑽孔機

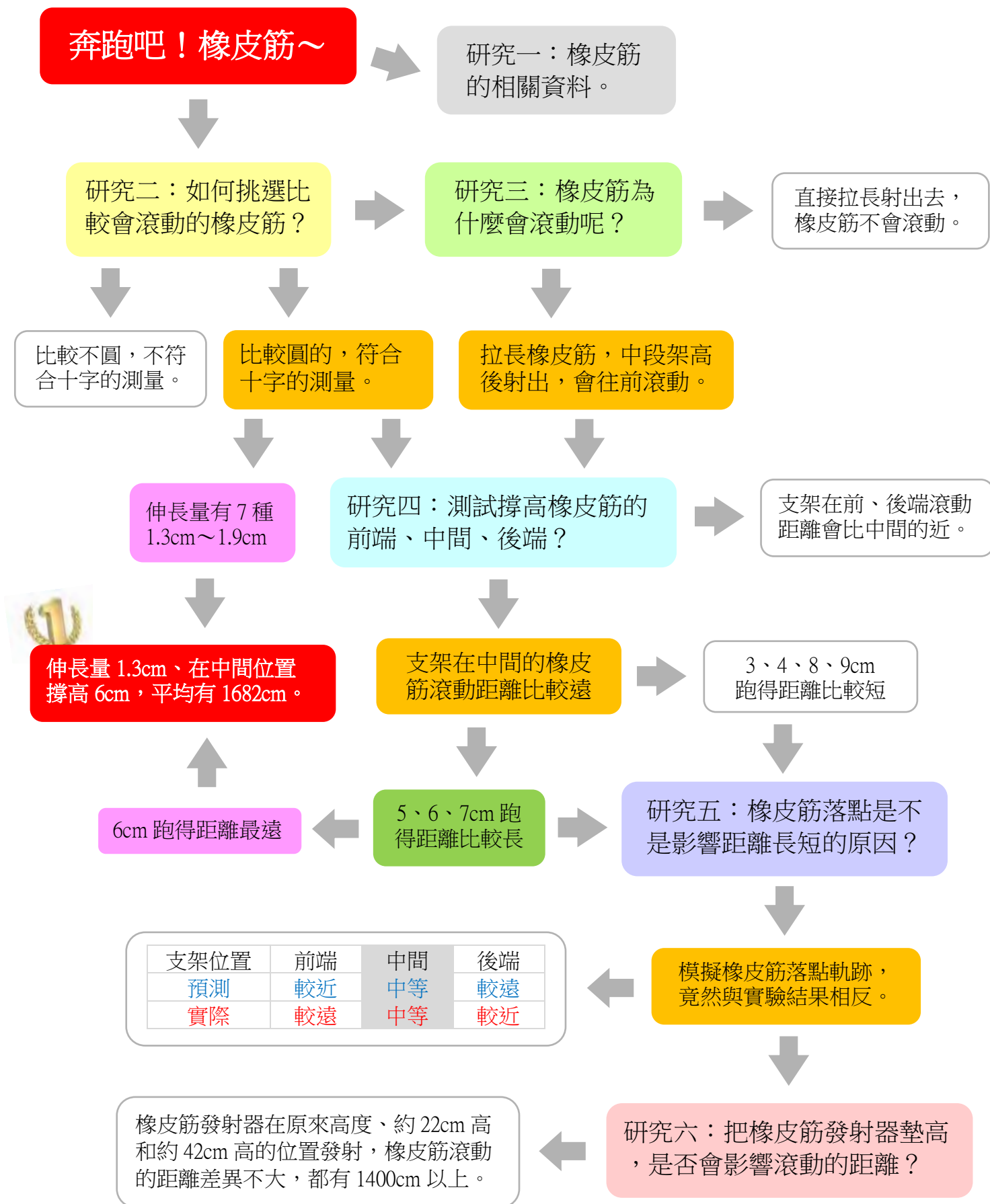


計算機



彈簧秤

## 肆、實驗架構圖


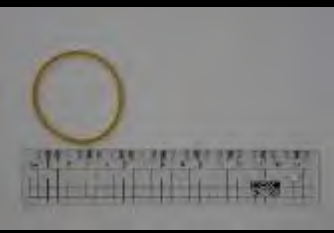
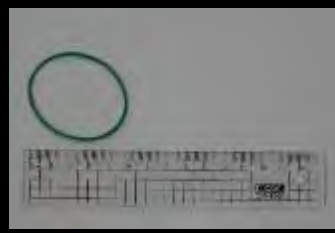
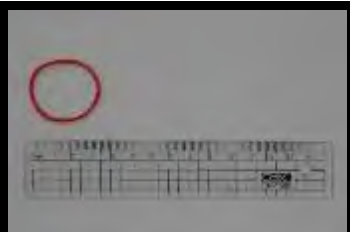
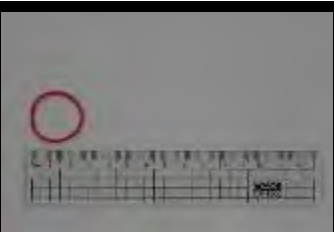


## 伍、研究過程、方法和實驗討論

### 研究一：橡皮筋的成分、製造、由來、特性和種類。

#### (一)研究內容：

- 1、橡皮筋的成分：橡皮筋是一種用橡膠與乳膠作成的圈圈，成分包含橡膠烴 94%、丙酮萃取物 2.5%、蛋白質 2.5%、水分 0.5%、雜質 0.5%。
- 2、橡皮筋的製造：大部分橡皮筋的材質是天然橡膠，而天然橡膠的顏色就是黃色，想要做出不同顏色的橡皮筋，只要加工添加色素就可以。橡皮筋的製作過程中，通常會添加硫，化學作用形成的交叉鏈接會減少黏性、硬化橡膠。
- 3、橡皮筋的由來：英國一家橡膠工廠的老闆史蒂芬·派瑞(Stephen Perry)，在西元 1845 年發明了橡皮筋。
- 4、橡皮筋的特性：拿來彈射也是許多人的童年經驗，利用橡皮筋跟竹筷可以做成彈弓。隨著時間氧氣和紫外線的接觸，會產生活性自由基使得天然橡膠的聚異戊二烯鏈斷成更小片段，橡皮筋會變成硫化前的軟黏狀，像被熔化一般。若再經過更久的退化過程就會逐漸脆化，橡皮筋接觸到光照、溶液都可能減少它的使用壽命。
- 5、橡皮筋的種類：

圖片			
尺寸	30 番、寬度 3mm	18 番、寬度 3mm	18 番、寬度 1.5mm
圖片			
尺寸	14 番、寬度 1.5mm	8 番、寬度 1.5mm	

#### (二)歸納整理：

橡皮筋的尺寸種類大約有上百種，平時的用途十分廣泛，有生活中常常會用到的尺寸，也有工業上特殊的尺寸。一般尺寸在五金行或超市就可以買到，這次我們實驗主要選擇的尺寸是 18 番、寬度 1.5mm 的橡皮筋，因為這種尺寸容易取得，而且很常看到。

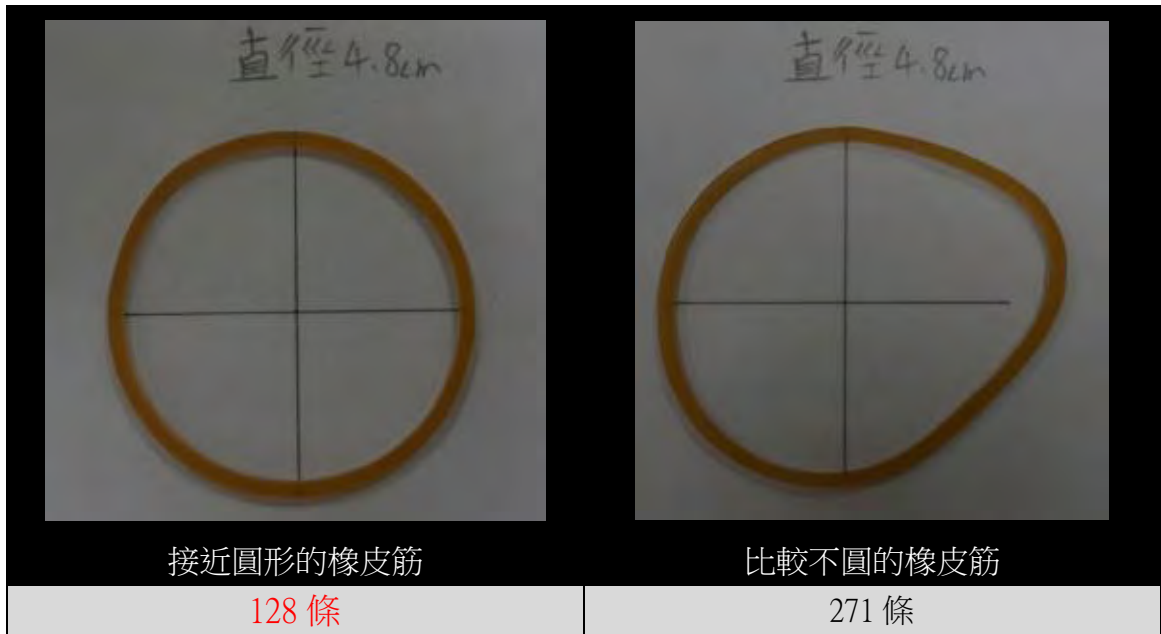
## 研究二：如何選擇比較會滾動的橡皮筋呢？

### (一)實驗方法：

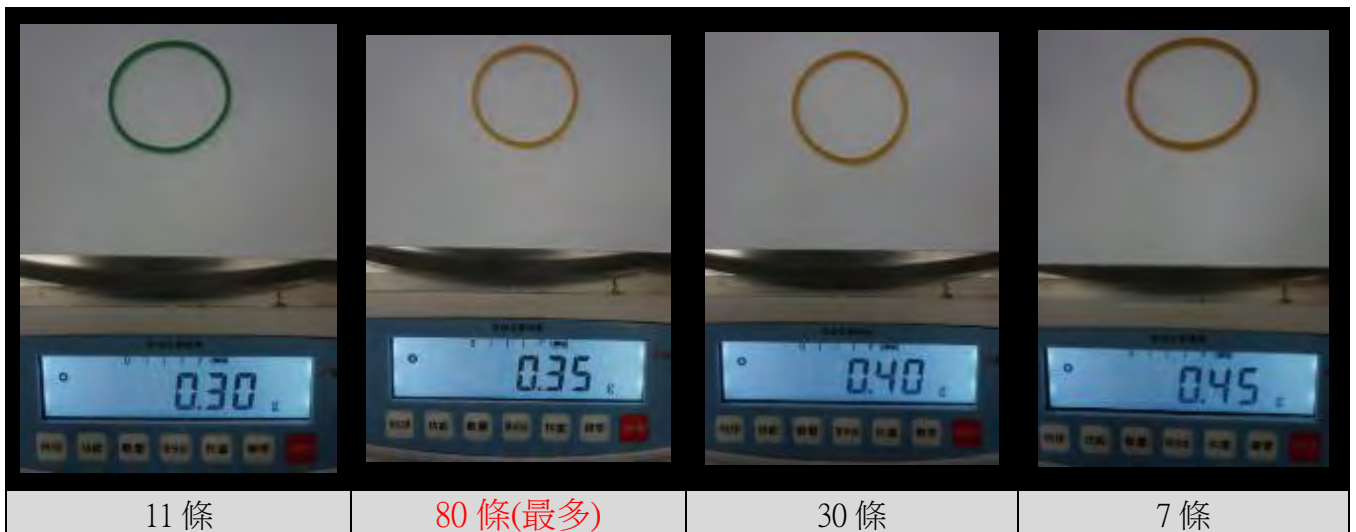
- 1、利用十字來找出接近圓形的橡皮筋。
- 2、利用電子秤找出相同重量的橡皮筋。
- 3、利用伸長量找出相同彈性的橡皮筋。

### (二)實驗過程：

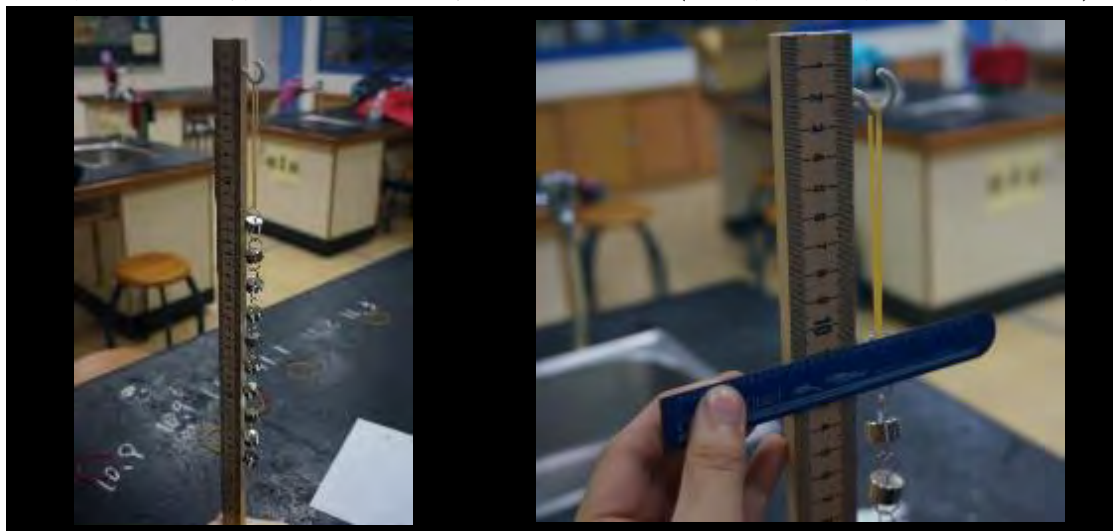
- 1、因為 18 番、寬度 1.5mm 橡皮筋的直徑大約是 4.8cm，所以利用 4.8cm 十字來選出比較接近圓形的橡皮筋，原則上只要十字的四個端點都能和橡皮筋邊緣接觸到，那麼就是屬於接近圓形的橡皮筋了。



- 2、利用電子秤來測量接近圓形的橡皮筋，128 條的橡皮筋可以分成 4 種不同的重量，分別是 0.30g 有 11 條，0.35g 有 80 條，0.40g 有 30 條和 0.45g 有 7 條。



3、利用虎克定律的伸長量，把橡皮筋做分類。(掛 1 顆和 10 顆砝碼的伸長量)



重 量(g)	0.30	0.30	0.30	0.30
伸長量(cm)	1.6	1.7	1.8	1.9
條 數	5	3	2	1

重 量(g)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
伸長量(cm)	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
條 數	1	4	33	29	10	1	2

重 量(g)	0.40	0.40	0.40	0.40
伸長量(cm)	1.4	1.5	1.6	1.7
條 數	8	18	3	1

重 量(g)	0.45	0.45
伸長量(cm)	1.4	1.5
條 數	1	6

(三)實驗討論：

我們一開始學同學的手勢射橡皮筋，並且觀察它滾動的情形，有一些橡皮筋會滾動得比較順利，有一些卻不是很順利，而且到尾段的時候會有抖動顛簸的情形出現。把這兩種橡皮筋拿來觀察，我們發現滾動順利的橡皮筋，形狀都是比較接近圓形的。這樣的情形在四年級交通工具與能源單元裡，跟我們學到車子輪子構造都是圓形的原理很相似。所以我們就先利用長度 4.8cm 的十字來選出比較接近圓形和不圓的橡皮筋。再利用電子秤和橡皮筋的伸長量，把它做重量和伸長量的分類。分類過後的結果，重量是 0.35g 的橡皮筋有最多的 80 條，而且伸長量的分類是以伸長 1.5cm(33 條)和 1.6cm(29 條)佔了大多數。

### 研究三：射出去的橡皮筋為什麼會往前滾動呢？

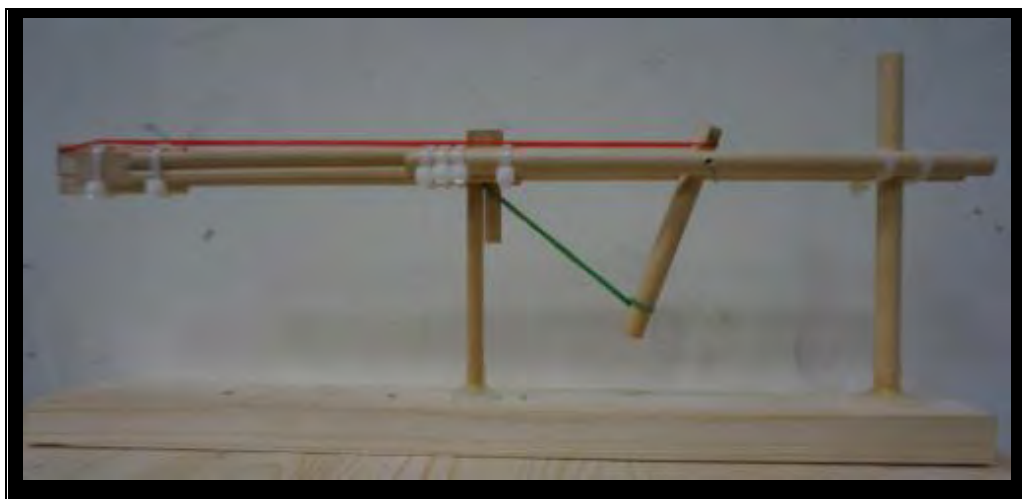
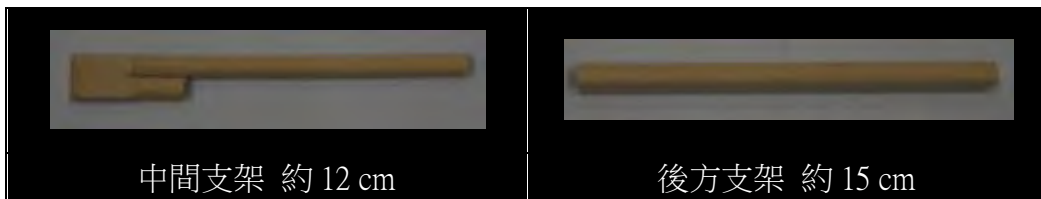
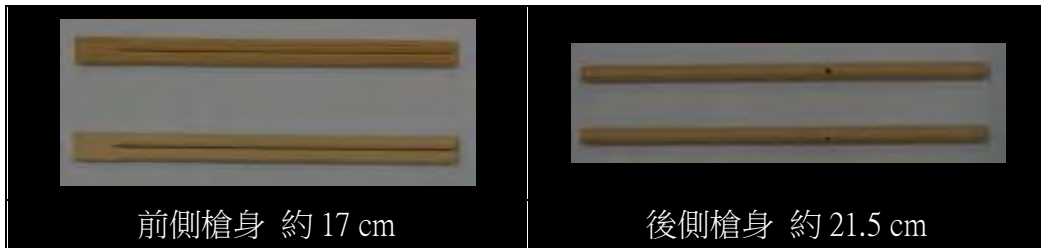
#### (一)實驗方法：

- 1、射出去的橡皮筋接觸到地面，都會滾動嗎？模仿筷子槍的基本架構，設計並測試可以讓橡皮筋射出去的機器。
- 2、模仿同學射橡皮筋的手勢，設計並測試可以讓橡皮筋往前滾動的機器。

#### (二)實驗過程：

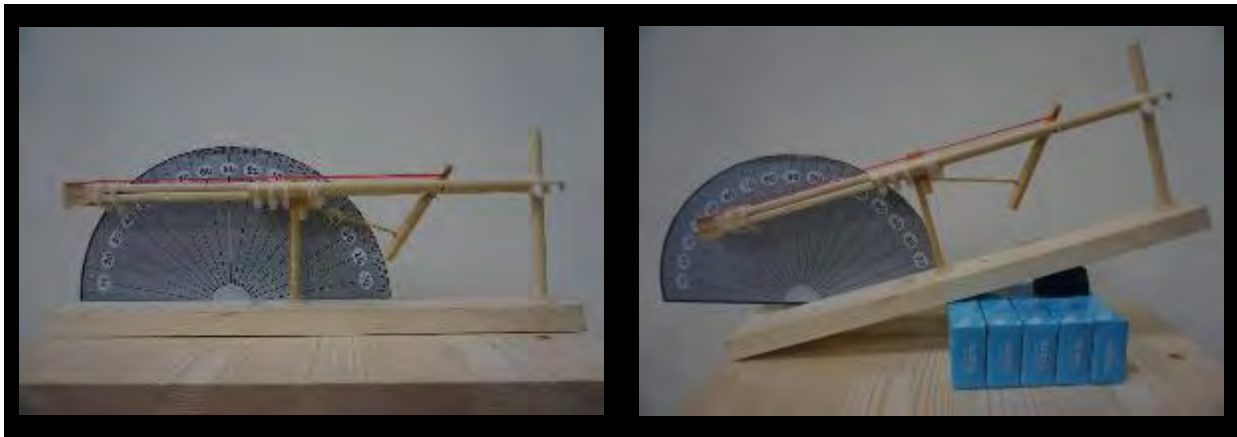
- 1、設計並測試可以讓橡皮筋射出去的機器。

##### (1)射出去機器各部位的配件分解構造說明。





(2)測試機器擺放不同角度，觀察橡皮筋射出後的情形。



<p>水平擺放</p>	<p>與水平面夾角 15°</p>
<p>射出後飛行，然後直接落地，偶有滾動。</p>	<p>射出後，打到地面便彈開，不滾動。</p>



<p>與水平面夾角 30°</p>	<p>與水平面夾角 45°</p>
<p>射出後，打到地面便彈開，不滾動。</p>	<p>射出後，打到地面便彈開，不滾動。</p>

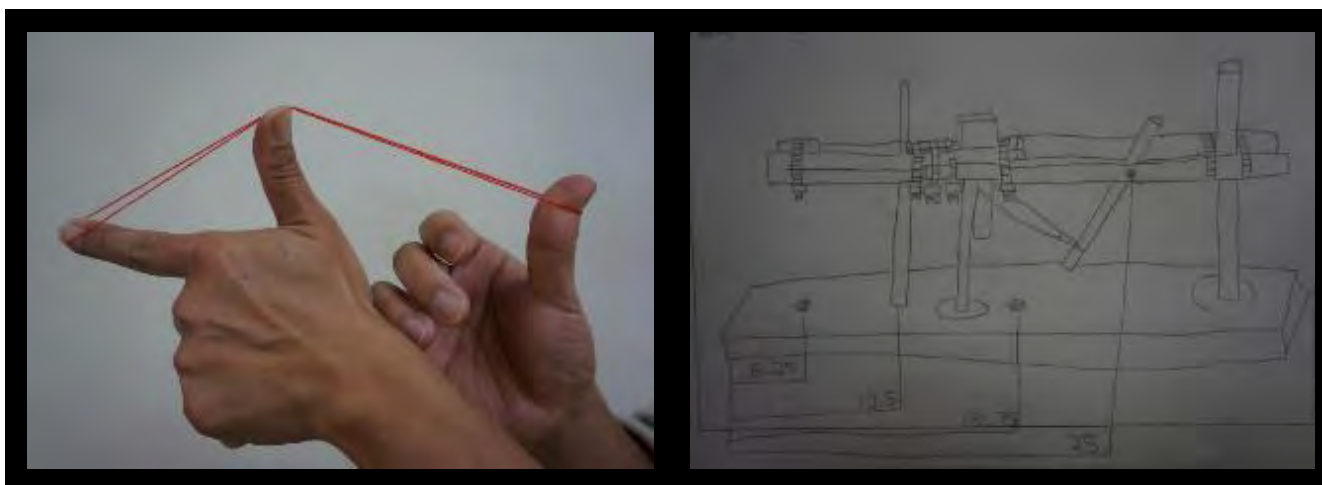
(3)測試機器橫擺時，橡皮筋射出後的情形。



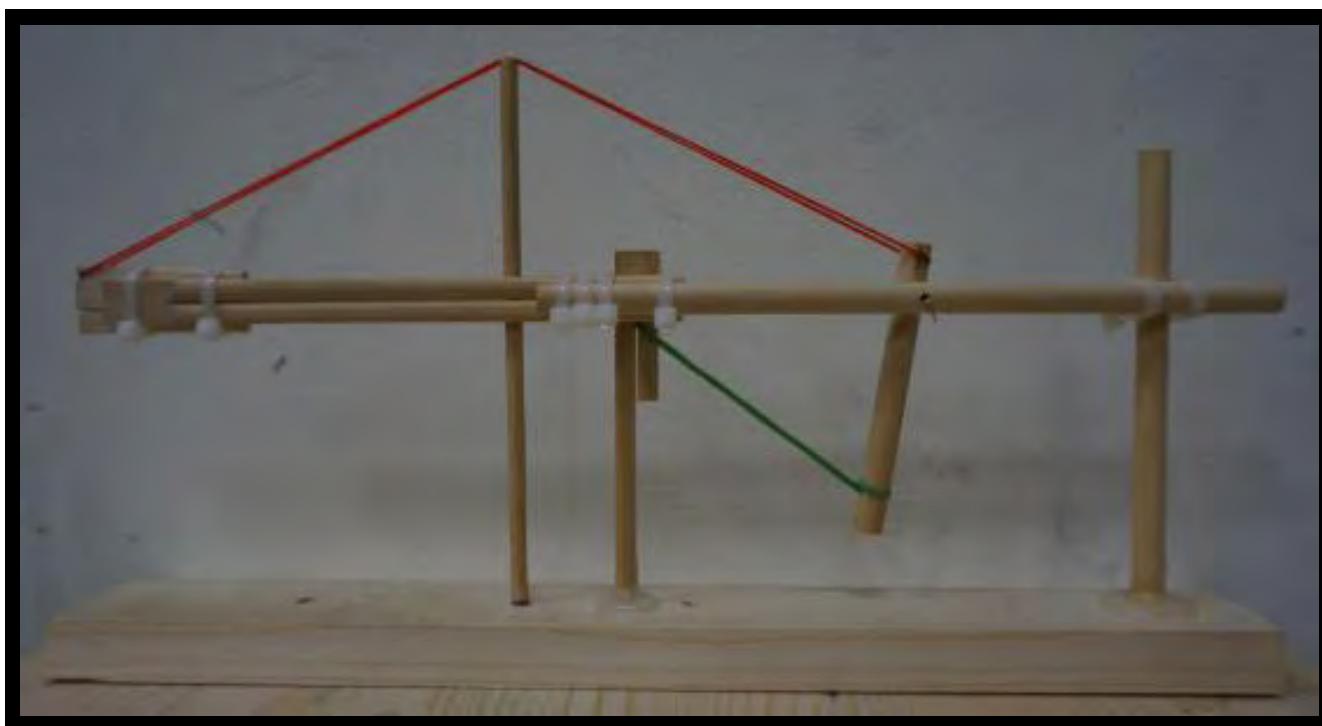
大部分都不會滾動，如果有滾動的話，滾的距離也不遠，而且幾乎不會直線前進。

2、模仿同學射橡皮筋的手勢，設計並測試可以讓橡皮筋往前滾動的機器。

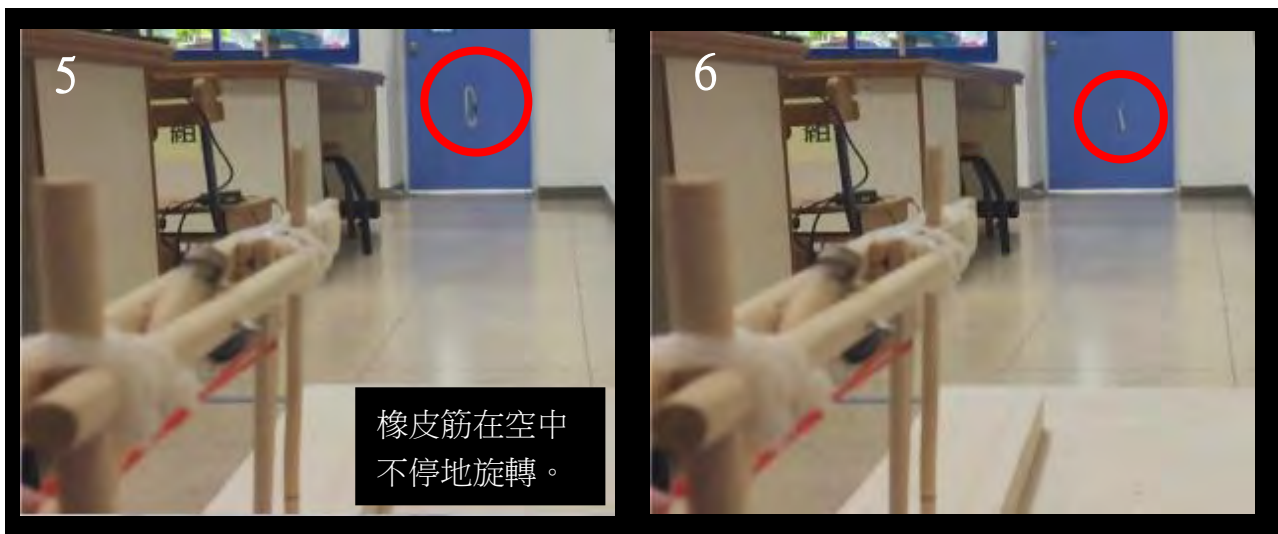
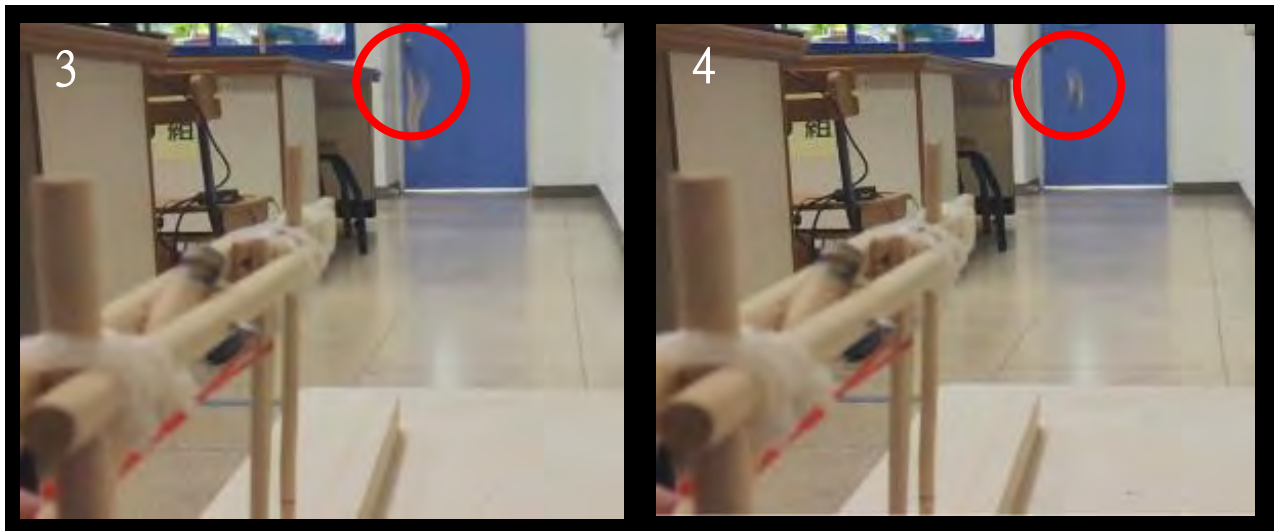
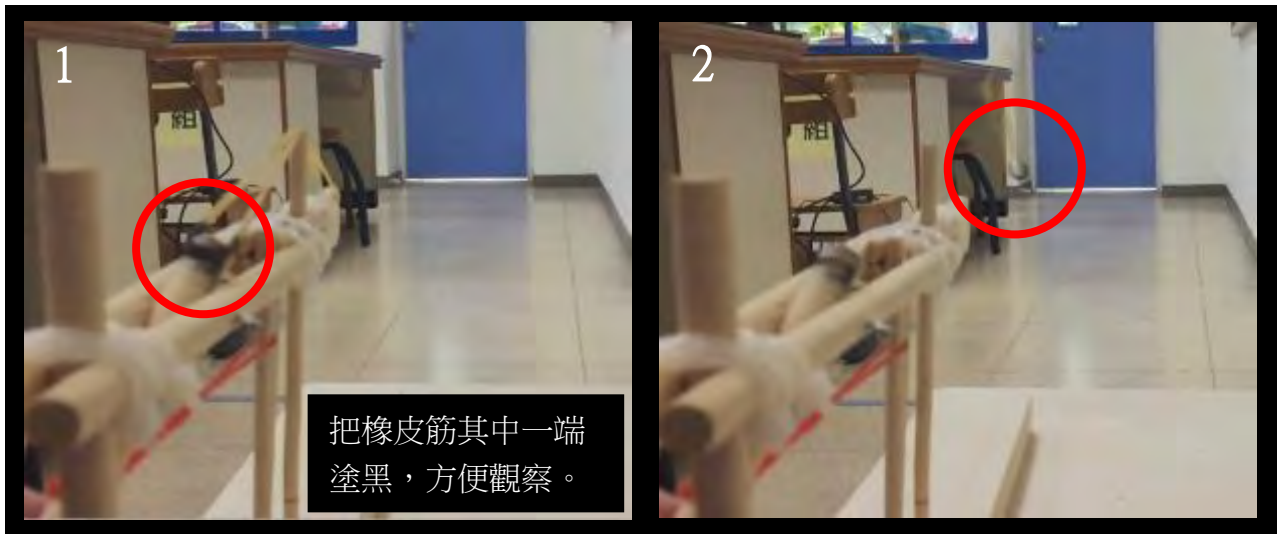
(1)橡皮筋往前滾動機器的設計圖。

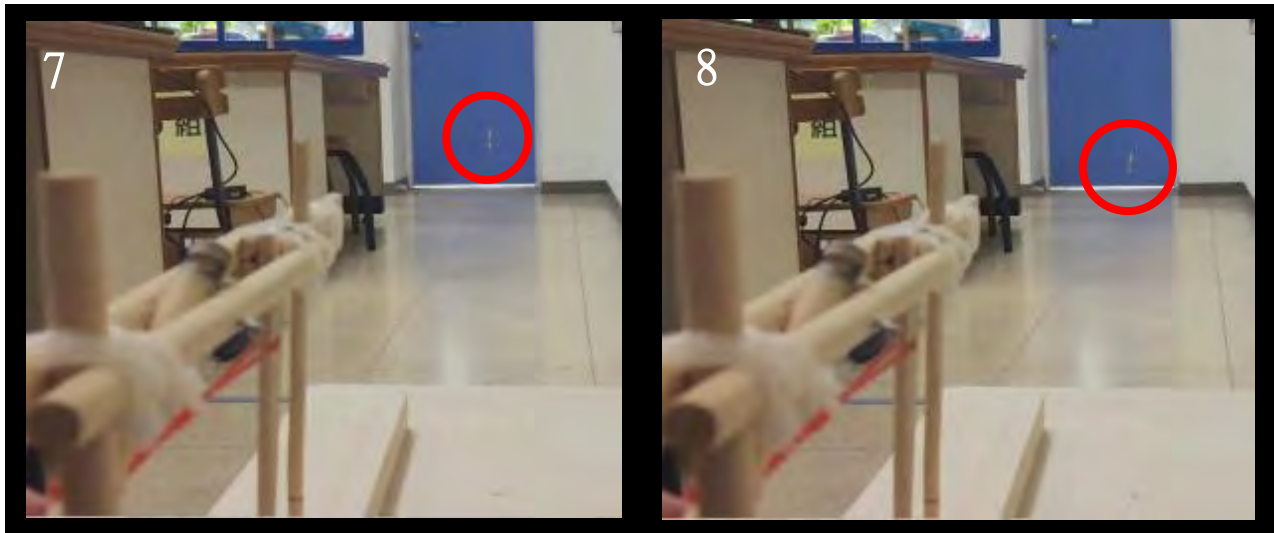


(2)橡皮筋發射器槍頭到板機距離約 25cm，在距離槍頭的前端(6.25cm)、中間(12.5cm)和後端(18.75cm)鑽孔，鑽孔的地方可以插入 3、4、5、6、7、8、9cm 的支架。



(3)在中間的位置把橡皮筋撐高，而且橡皮筋的一端塗黑，觀察橡皮筋射出後移動的軌跡，下圖是利用慢動作錄影所截取的圖片分解圖。





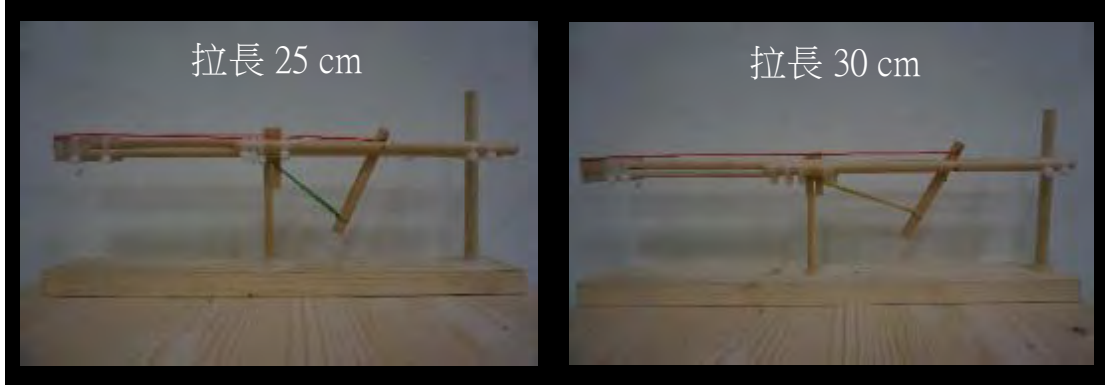
### (三)實驗討論：

透過慢動作錄影，我們可以清楚地看到橡皮筋如果有被撐高的話，在發射出去的瞬間，便會快速的翻轉飛出。而且橡皮筋在射出去之後，便會立即轉正直立，在空中快速地旋轉直到落地，接觸地面以後繼續往前滾動。我們覺得是因為橡皮筋本身被架高，並且合在一起，所以射出去的橡皮筋想恢復原本的形狀而先彈開，而且架高的支架讓橡皮筋有翻轉的現象，這個翻轉的力量使轉正後的橡皮筋可以在空中不停地旋轉。但是中間沒有被撐高的橡皮筋，射出去後左右晃動得很厲害，而且旋轉得比較緩慢，也因為沒有這個強勁旋轉的力量帶動它，所以沒有被架高的橡皮筋不會滾動，飛行的距離當然就很有有限。

#### 研究四：利用橡皮筋發射器測試橡皮筋滾動的情形。

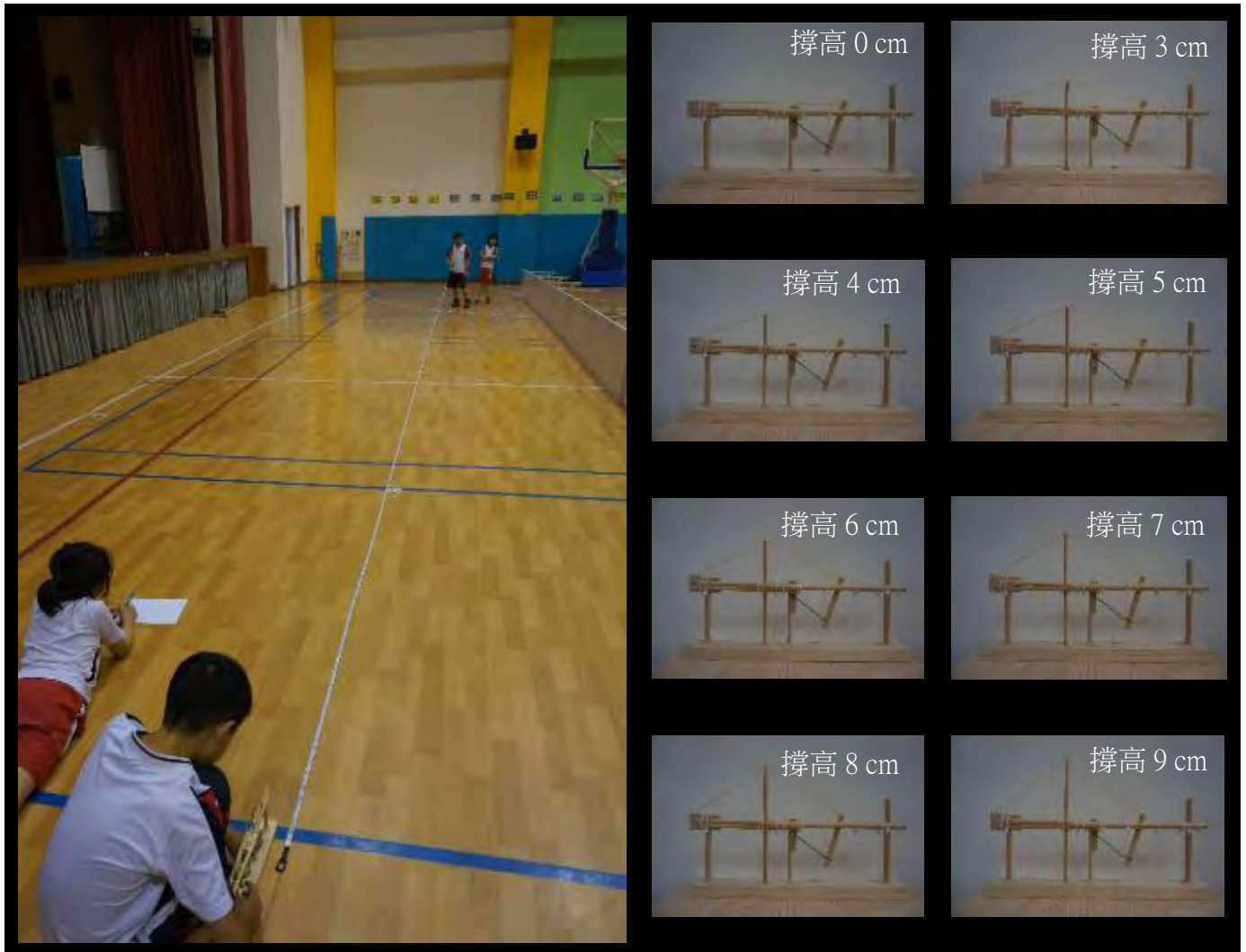
##### (一)實驗方法：

- 1、用橡皮筋發射器和手拉長橡皮筋並且射出，測試拉長 25cm 和 30cm 的距離。



- 2、利用相同重量和彈性的橡皮筋測試，分別在離槍頭 6.25 cm(前端)、12.5 cm(中間)和 18.75 cm(後端)的底座位置，把橡皮筋撐高後射出。

- 3、把橡皮筋撐高的支架分別有 3、4、5、6、7、8、9 cm。



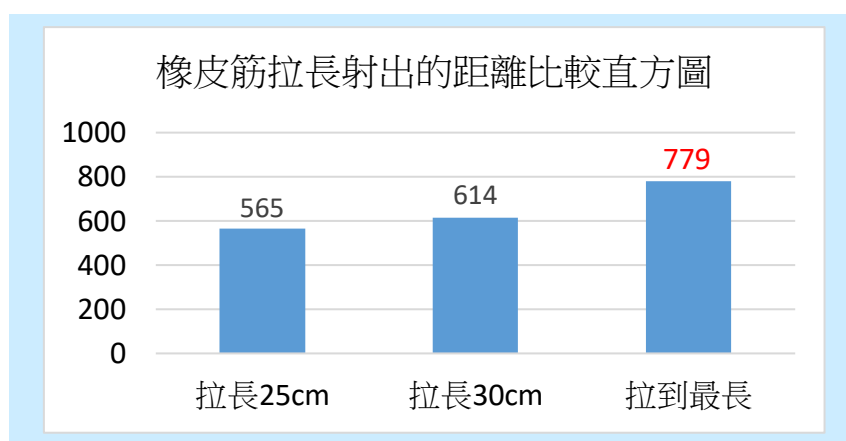
(二)實驗過程：

1、測試拉長 25 cm 和 30 cm，橡皮筋飛行的距離。

(1)我們使用重量 0.35g，伸長量是 1.5 cm 的橡皮筋來做測試。

(2)測試的結果如下表。

	橡皮筋發射器 拉長 25cm	橡皮筋發射器 拉長 30cm	用手拉到最長
第 1 次	560	600	770
第 2 次	580	605	740
第 3 次	565	625	785
第 4 次	540	600	810
第 5 次	580	640	790
平均	565	614	779



2、測試橡皮筋發射器擺放撐高支架以後，橡皮筋滾動的情形。

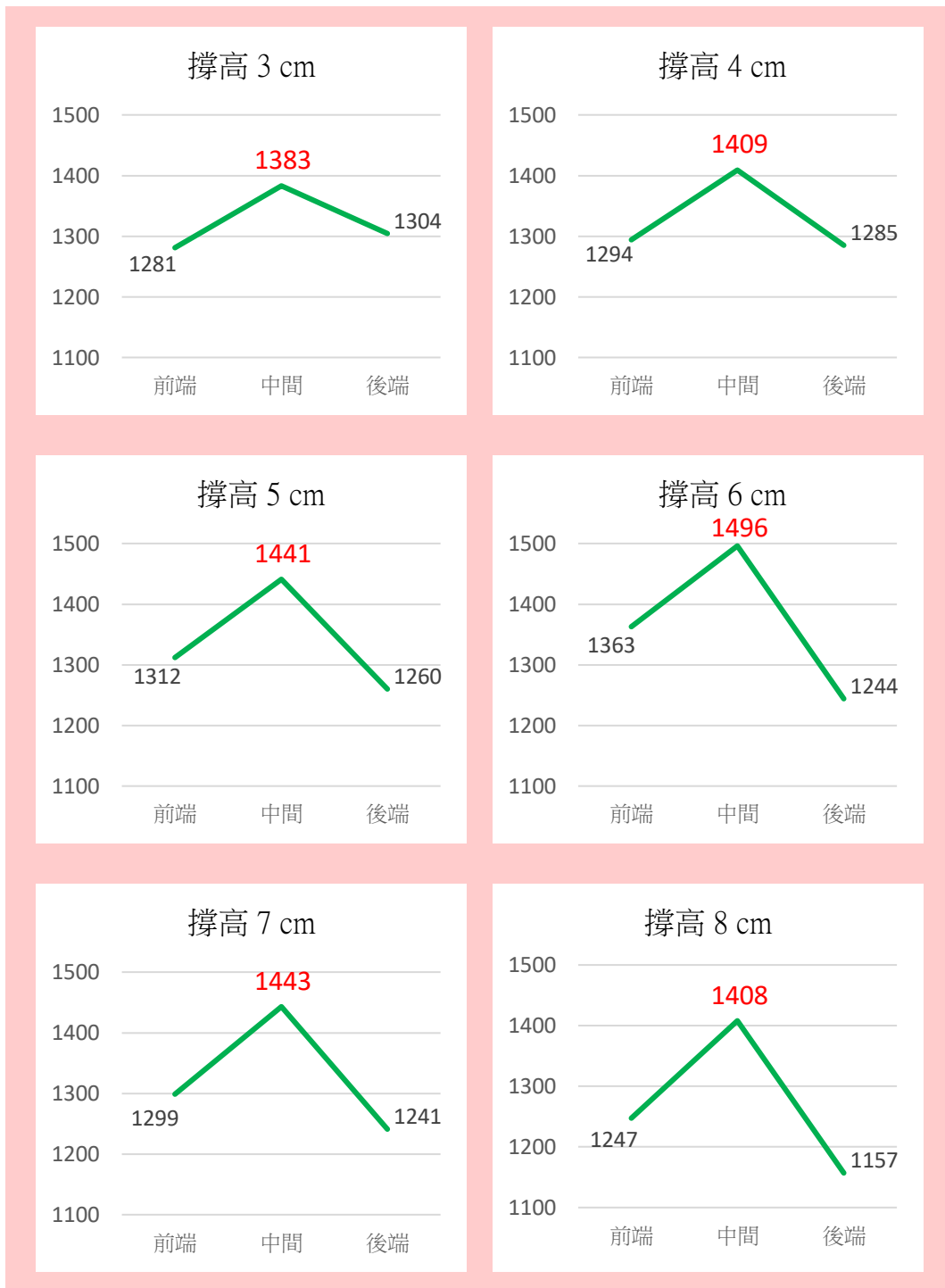
(1)我們使用重量 0.35g，伸長量是 1.5 cm 的橡皮筋來做測試。

(2)測試 15 次取 10 次的結果如下表。(單位：cm)

	前、撐高 3 cm	中、撐高 3 cm	後、撐高 3 cm
平均	1281	1383	1304
	前、撐高 4 cm	中、撐高 4 cm	後、撐高 4 cm
平均	1294	1409	1291
	前、撐高 5 cm	中、撐高 5 cm	後、撐高 5 cm
平均	1312	1441	1260
	前、撐高 6 cm	中、撐高 6 cm	後、撐高 6 cm
平均	1363	1496	1244
	前、撐高 7 cm	中、撐高 7 cm	後、撐高 7 cm
平均	1299	1443	1241

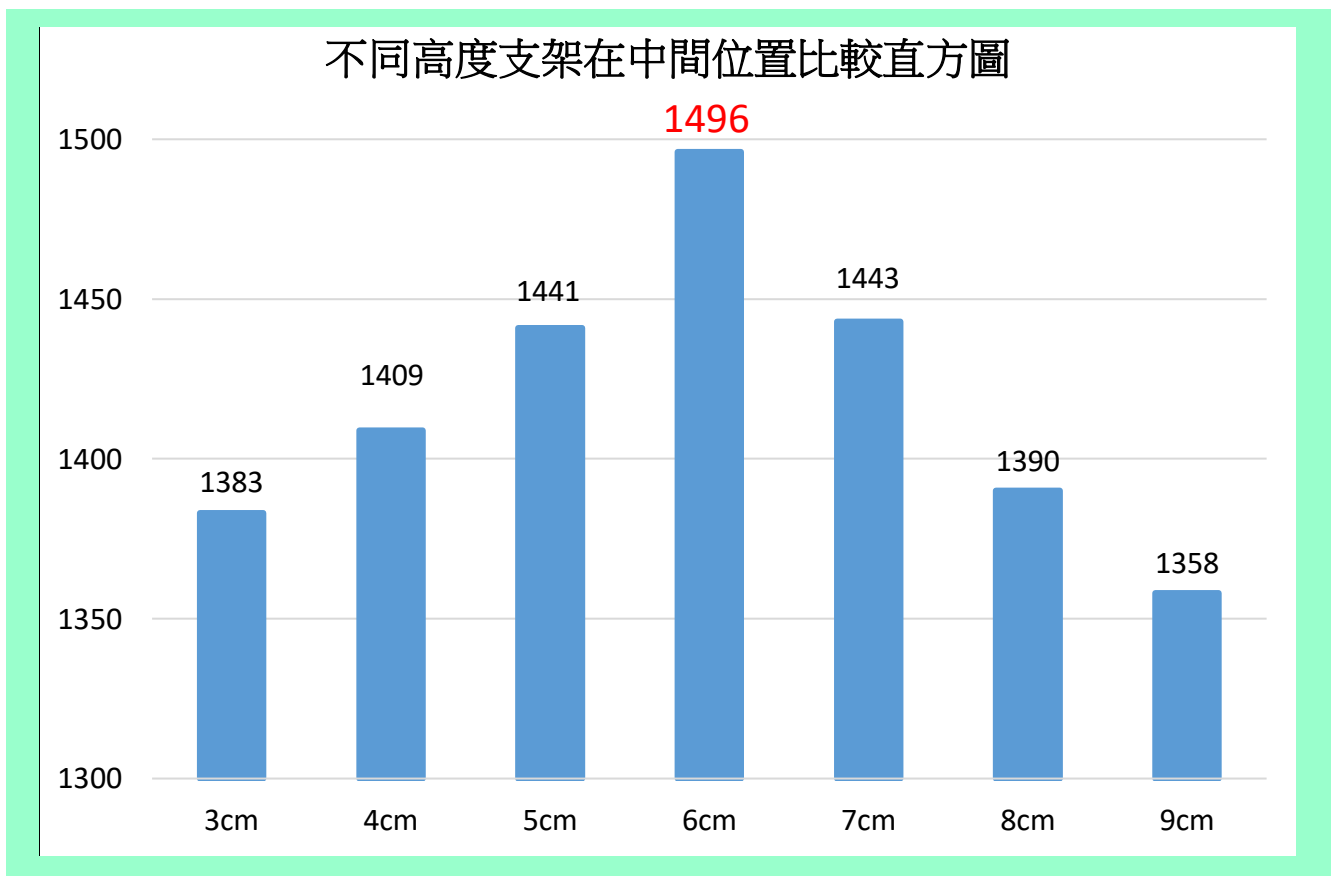
	前、撐高 8 cm	中、撐高 8 cm	後、撐高 8 cm
平均	1247	1408	1157
	前、撐高 9 cm	中、撐高 9 cm	後、撐高 9 cm
平均	1233	1358	1109

(3)在橡皮筋發射器的前端、中間、後端，把橡皮筋分別撐高 3、4、5、6、7、8、9cm，測試橡皮筋滾動距離的折線圖。





(4)因為不管撐高幾公分，都是在中間位置的距離最遠，所以把數據再集合起來做比較，看看不同的撐高高度(3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm)在中間位置，橡皮筋滾動距離(cm)長短的直方圖。





(5)利用高速攝影機觀察橡皮筋從發射、在空中旋轉、然後落地和往前滾動的情形。



(6)造成橡皮筋翻轉的原因。

		<p>發射後 橡皮筋產生 旋轉的現象</p>
<p>受力的方向不同，而且沒有作用在同一條直線上。</p>	<p>放手後，造成旋轉的現象。</p>	<p>兩力大小不同，方向不同，沒有作用在同一條直線上。</p>

### (三)實驗討論：

把橡皮筋拉長後射出去，飛行的距離最多只有 779 公分。可是如果在中間加了撐高的支架，然後把橡皮筋頂起來射出去，那麼它奔跑的距離就會遠很多，幾乎多了快一倍。利用高速攝影機來分析橡皮筋整個運動的過程，我們發現橡皮筋在發射出去後會先翻轉、然後在空中不停地旋轉，落地後便在地上滾動起來。測試後的結果，撐高高度如果相同，但是撐高位置(前端、中間、後端)不一樣的話，那麼結果都是中間位置撐高的橡皮筋會滾得最遠。而比較各種撐高高度在中間位置的滾動距離，我們會發現撐高 6 公分的橡皮筋會滾得最遠，平均大約有 1496 公分長。

可是原則上橡皮筋如果拉得越長，產生的形變程度就會越大，蓄積的能量應該會是最大，可是為什麼撐高 9 公分的橡皮筋反而會滾不遠呢？實驗的過程中，撐高 9 公分的橡皮筋落地的位置好像比較近一點，彈跳的高度好像也比較高，我們猜想會不會跟它們的落點位置或落地角度有關係呢？所以我們設計了下一個實驗，看看橡皮筋的落點和落地時的角度，是不是影響它滾動距離遠近的因素？

## 研究五：橡皮筋滾動距離的長短，跟它的落點有關係嗎？

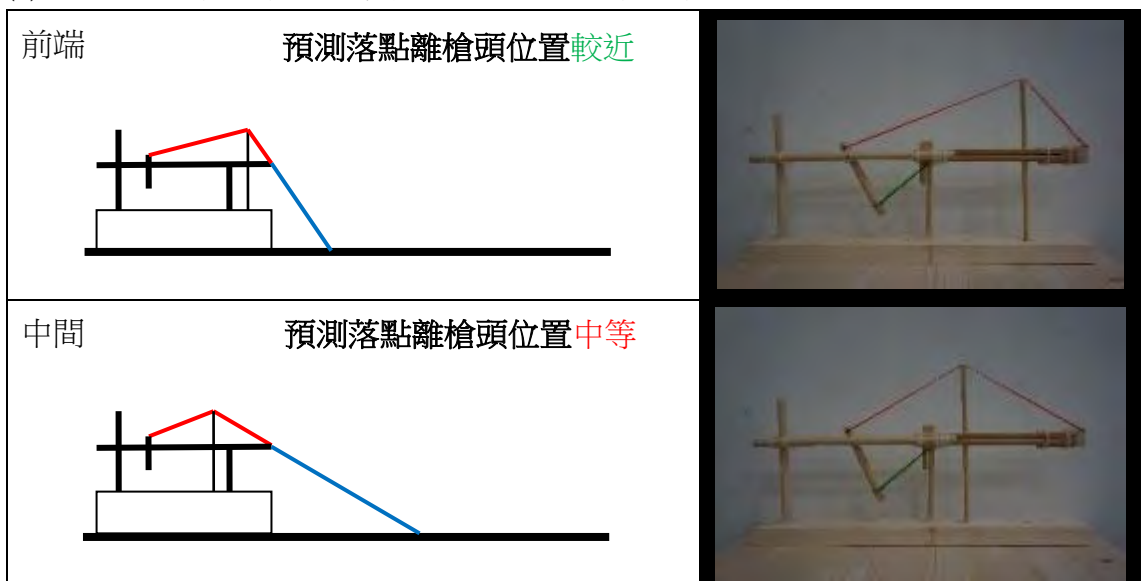
### (一)實驗方法：

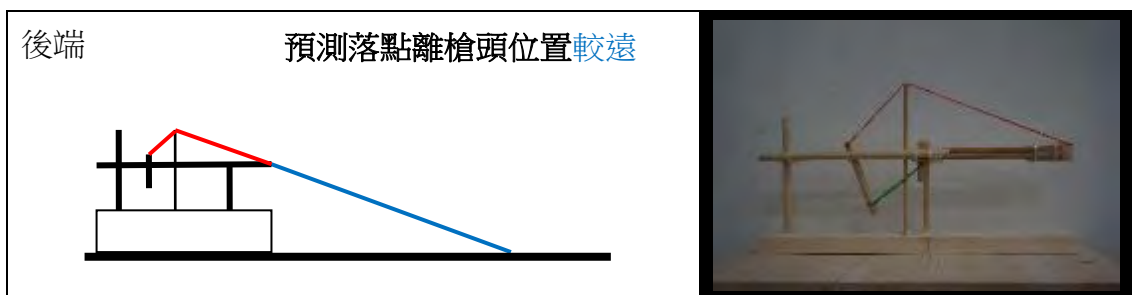
- 1、在地上撒一層均勻的紅豆，利用橡皮筋經過會留下痕跡，來測試各個撐高位置的落點。再利用各個位置的落點，測量出橡皮筋落地和地面的夾角角度。



### (二)實驗過程：

- 1、測試橡皮筋發射器在前、中、後端撐高不同高度的支架，橡皮筋落地的情形。
  - (1)我們使用重量 0.35g，伸長量是 1.5 cm 的橡皮筋來做測試。
  - (2)在前端、中間和後端把橡皮筋撐高，發射後的模擬軌跡圖。





(3)實際測試的結果如下表。(單位：cm，小數點以後四捨五入。)

	前端、撐高 3 cm	中間、撐高 3 cm	後端、撐高 3 cm
平均	310	279	237
入射角度	小	中	大

	前端、撐高 4 cm	中間、撐高 4 cm	後端、撐高 4 cm
平均	293	252	196
入射角度	小	中	大

	前端、撐高 5 cm	中間、撐高 5 cm	後端、撐高 5 cm
平均	278	223	163
入射角度	小	中	大

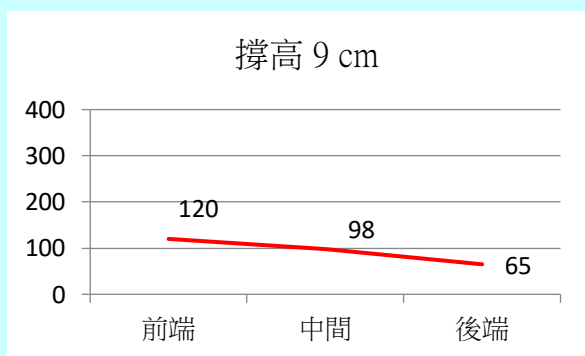
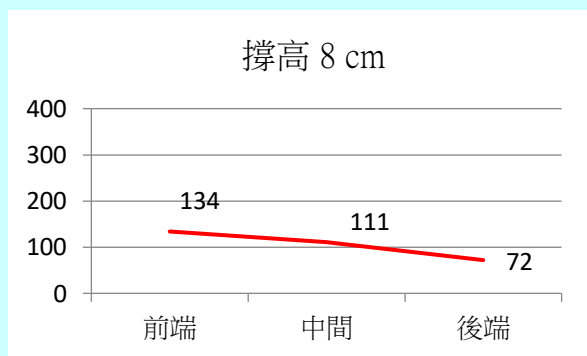
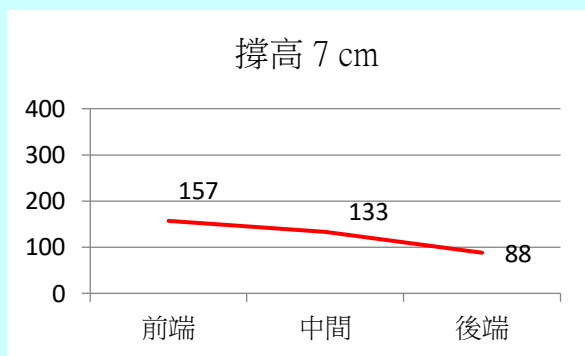
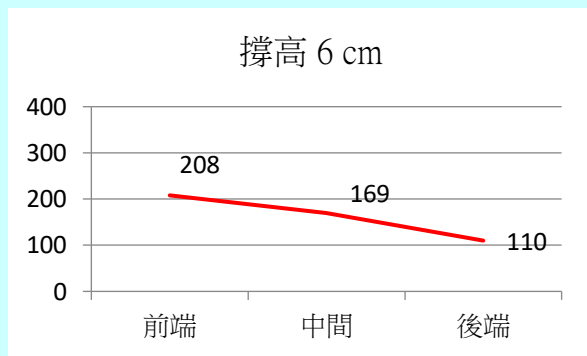
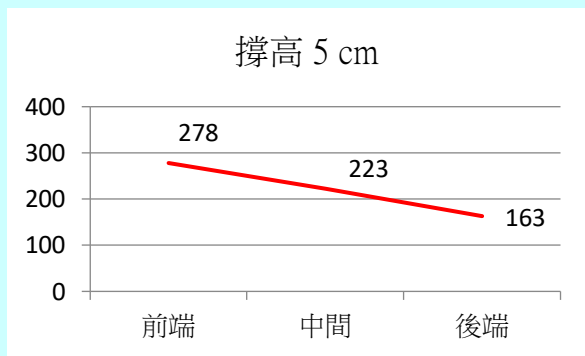
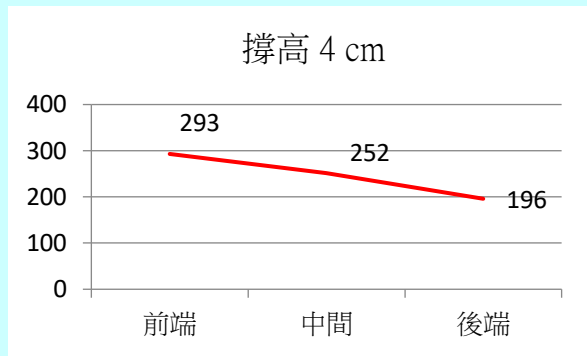
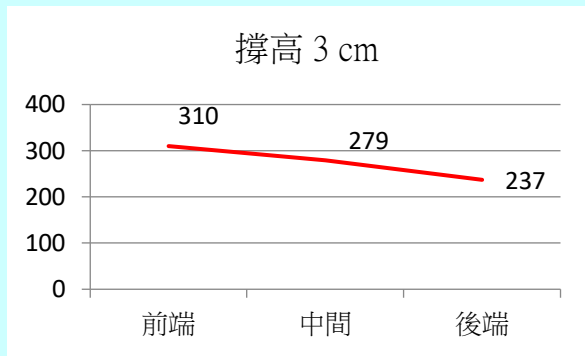
	前端、撐高 6 cm	中間、撐高 6 cm	後端、撐高 6 cm
平均	208	169	110
入射角度	小	中	大

	前端、撐高 7 cm	中間、撐高 7 cm	後端、撐高 7 cm
平均	157	133	88
入射角度	小	中	大

	前端、撐高 8 cm	中間、撐高 8 cm	後端、撐高 8 cm
平均	134	111	72
入射角度	小	中	大

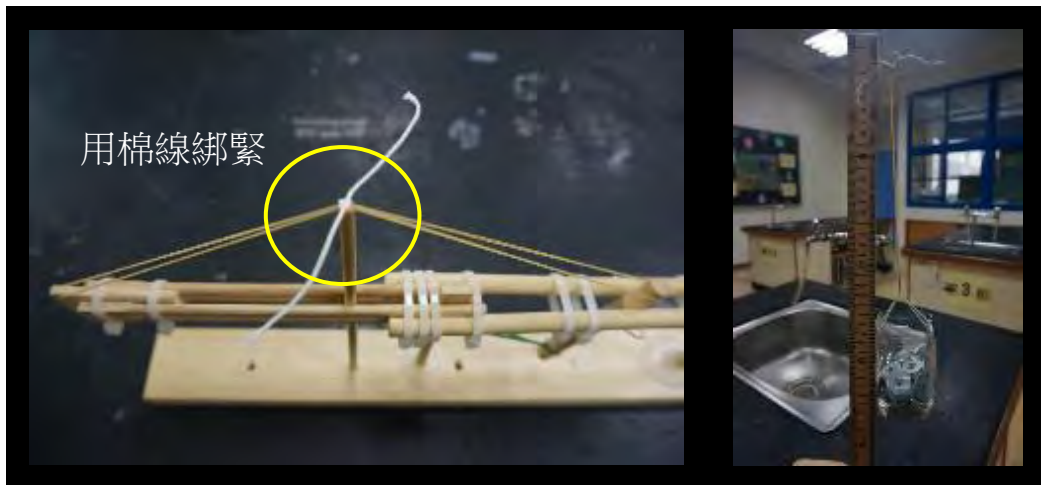
	前端、撐高 9 cm	中間、撐高 9 cm	後端、撐高 9 cm
平均	120	98	65
入射角度	小	中	大

(4)在橡皮筋發射器的前端、中間、後端，把橡皮筋分別撐高了 3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm 和 9cm，測試橡皮筋射出後落點長度的折線圖。



(5)在橡皮筋發射器的前端、中間、後端，分別把橡皮筋撐高，比較兩段橡皮筋伸長的力量大小。

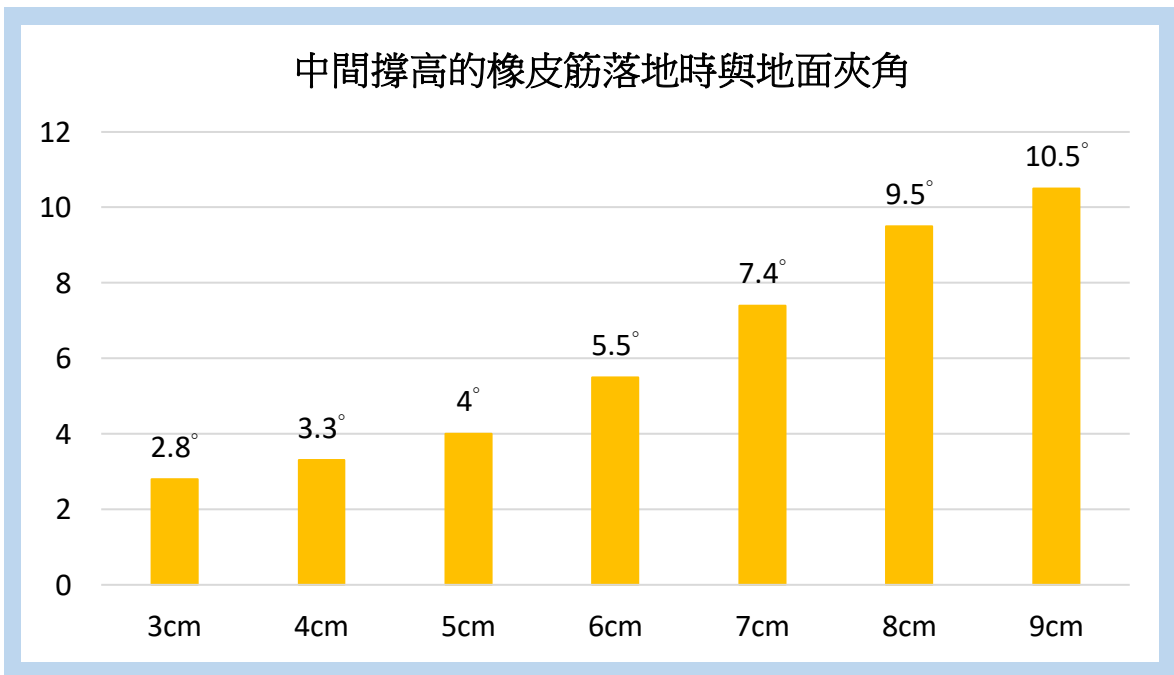
	前段受力	後段受力
架高在前端	大約 1630 公克	大約 1150 公克
架高在後端	大約 1180 公克	大約 1550 公克
架高在中間	大約 1400 公克	大約 1360 公克



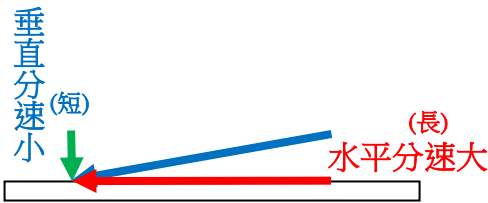
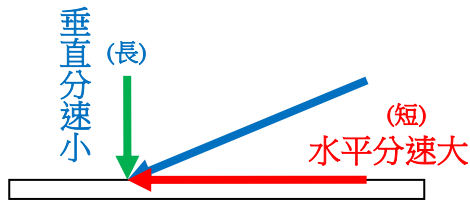




(6)在橡皮筋發射器的中間位置把橡皮筋撐高，比較各種撐高支架的落點位置。

	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm
落點距離	279	252	223	169	133	111	98
大約度數	2.8°	3.3°	4°	5.5°	7.4°	9.5°	10.5°
角度排名	7(最小)	6	5	4	3	2	1(最大)

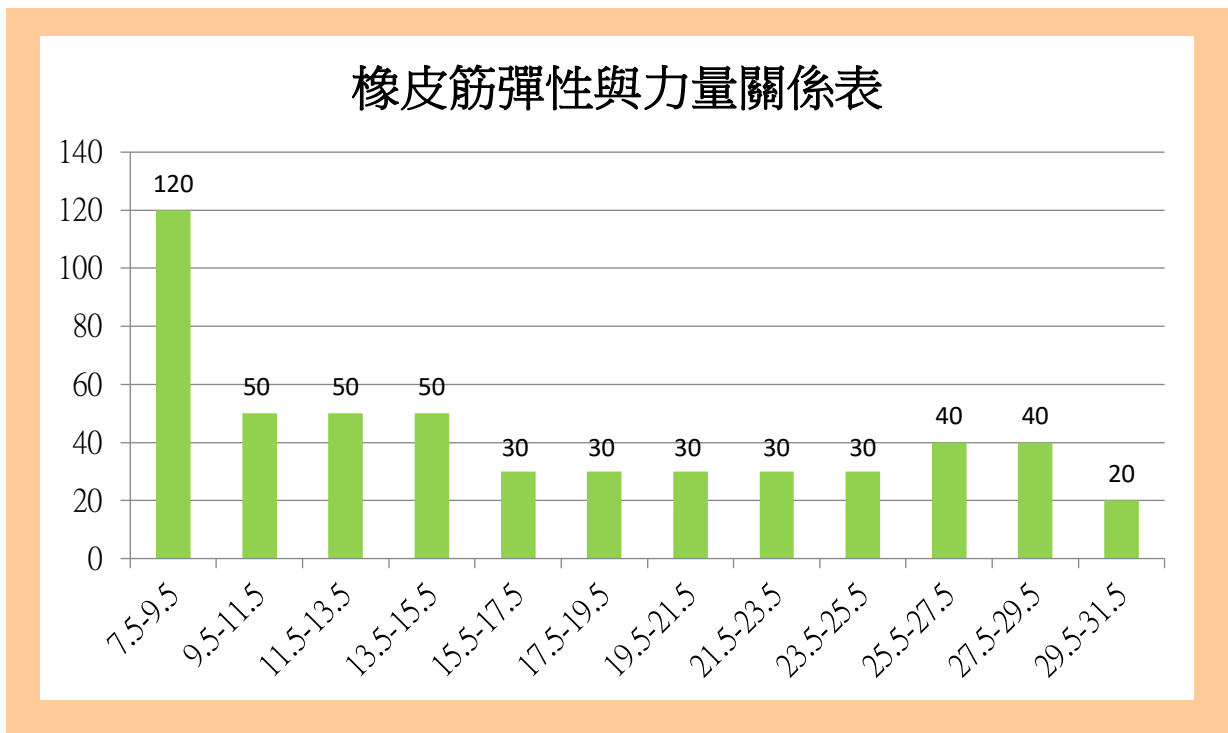


(7)橡皮筋落地角度的速度分析圖

<p>落地角度小，水平分速會比垂直分速大很多，所以滾得比較遠。</p> 	<p>落地角度大，水平分速只比垂直分速大一些，所以會滾得比較近。</p> 
 <p>距離遠，角度小。</p>	 <p>距離近，角度大。</p>

(8)利用彈簧秤來測量橡皮筋的彈性。

橡皮筋長度	7.5	9.5	11.5	13.5	15.5	17.5	19.5	21.5	23.5	25.5	27.5	29.5	31.5
彈簧秤力量	0	120	170	220	270	300	330	360	390	420	460	500	520
力量差距		120	50	50	50	30	30	30	30	30	40	40	20



### (三)實驗討論：

- (1)模擬發射後的預測橡皮筋軌跡圖，以橡皮筋射出的角度來說，把前端撐高的橡皮筋落點應該是最接近的，但是實際測試的結果，它的落點竟然是最遠的，預測和實際的結果竟然相反。所以除了發射出去的角度以外，應該還有其他的因素影響。不管支架撐高在前端、中間、還是後端，支點都是在前面，我們覺得撐高在前端位置的橡皮筋，前段拉的長度短，但是力量大，後段拉的長度雖然長，但力量比較小。可是整體來說主要是後段在帶動前段，後段力量比較小帶動前段，瞬間翻轉出去以後，後段速度比較慢，落點就會比較遠。相對地撐高在後端位置的橡皮筋，前段雖長但力量小，後段雖短力量卻大，後段力量大的帶動前段，旋轉速度比較快，落點就會比較近，高速攝影機的慢動作幫我們分析了這個現象。
  
- (2)雖然撐高的支架可以帶動橡皮筋翻轉，但是射出的橡皮筋，一端力量大，一端力量小，一大一小的力在旋轉時會互相拉扯，所以在發射出去的瞬間，力量多少還是會抵消掉，橡皮筋就滾動的比較不遠，而支架撐高在後端的道理也是一樣的。但是撐高在中間位置的橡皮筋，前段和後段的力量相近，發射出去的力量也就比較不會互相牽制抵消，所以當然會滾動得比較遠。
  
- (3)再來是撐高高度的問題，原則上中間支架撐得越高，產生的形變程度越大，相對釋放出來力量也就越大，那為什麼中間位置撐高 9cm 的橡皮筋反而會滾不遠呢？首先橡皮筋的彈性曲線圖告訴我們，它的彈性在拉長 9.5 到 15.5cm 都還算是正常，但是拉到了 25.5cm 以後，明顯的橡皮筋已經彈性疲乏鬆掉了，這也就是為什麼撐得越高，反而沒有跑得最遠的一個原因。還有以撐高支架在中間位置來說，如果撐得越高，橡皮筋落地的角度會越大，所以水平分速和垂直分速會拉近，減緩了橡皮筋旋轉的力道，反而會讓橡皮筋滾不遠，而我們的實驗數據也證明了這個現象。



## 研究六：橡皮筋發射器在哪一種高度，才可以讓橡皮筋滾最遠呢？

### (一)實驗方法：

- 1、利用不同高度的紙箱當作平台，把橡皮筋發射器架高測試。
- 2、橡皮筋發射器的槍頭距離地面約 12cm，分別再架高 10cm 和 30cm 來測試。



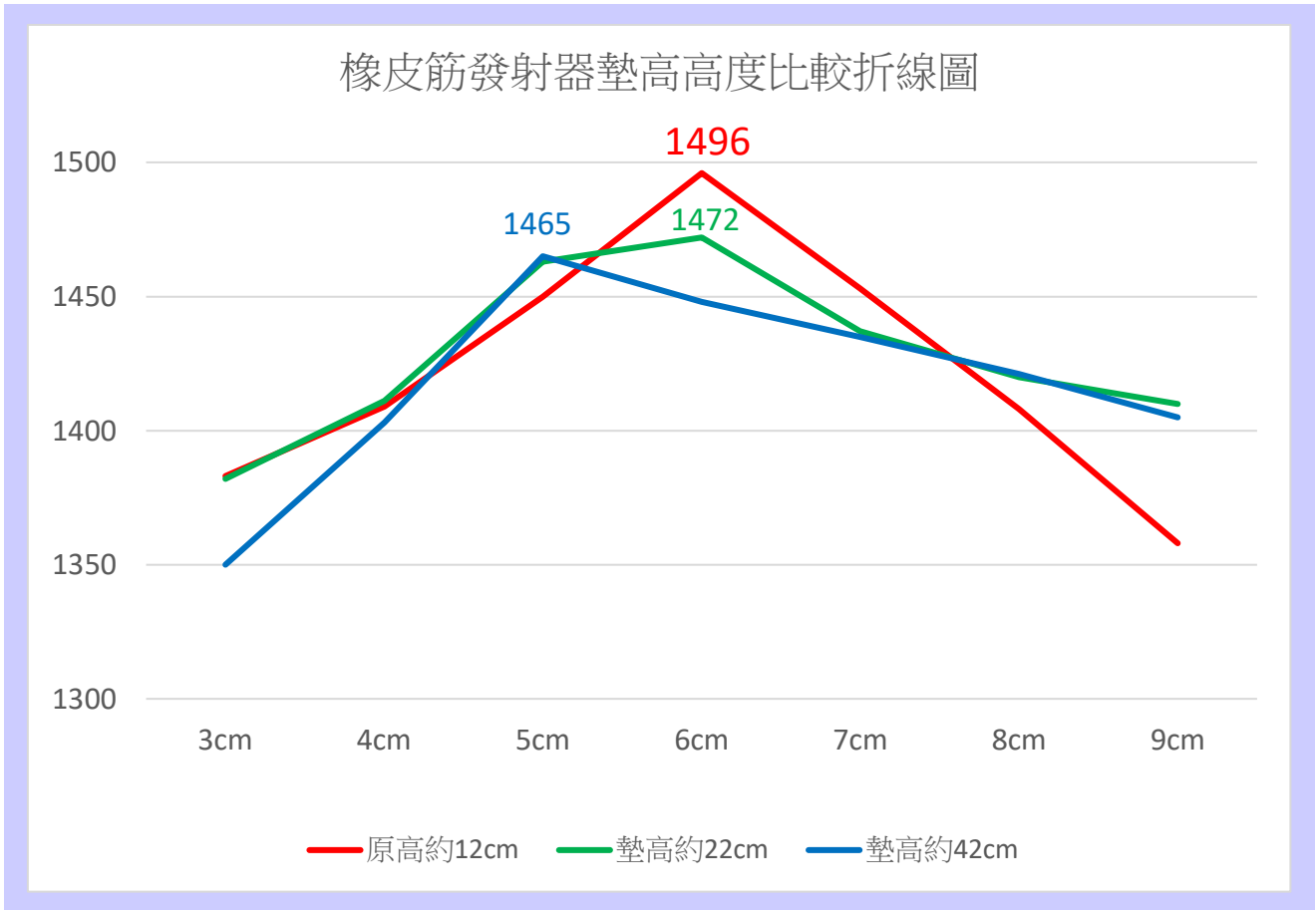
### (二)實驗過程：

- 1、把橡皮筋發射器墊高後，分別測試橡皮筋滾動的情形。
- 2、因為在研究四裡，前端、中間和後端三個撐高位置，都是中間位置滾的距離最長，所以我們選擇中間的位置來測試不同撐高高度，測試情形如下表。

墊高約 22 cm							
支架撐高高度	3 cm	4cm	5 cm	6 cm	7 cm	8cm	9 cm
平均	1382	1411	1463	1472	1437	1420	1410

墊高約 42 cm							
支架撐高高度	3 cm	4cm	5 cm	6 cm	7 cm	8cm	9 cm
平均	1350	1403	1465	1448	1435	1421	1405

(4)橡皮筋發射器高度約 22cm 和 42cm，比較橡皮筋跑的距離長短折線圖。



### (三)實驗討論：

我們一開始都是把橡皮筋發射器放在地上測試，而槍頭離地面大約 12cm 高，然後分別用 10cm 和 30cm 高的箱子把橡皮筋發射器墊高，測試後的情形，撐高在 6cm 的位置，橡皮筋跑的距離有比較遠一點，但是撐高 5cm 和 7cm 跑的距離也不短，支架在中間位置撐高 5cm、6cm、7cm 的橡皮筋，在 3 種高度的平均都有到達 1400cm 以上。但是實驗數據都蠻接近的，並沒有比較突出的數據，所以我們把橡皮筋發射器墊高，在 45cm 以下的高度測試，橡皮筋跑的距離都沒有太大的差異。不過以折線圖來分析，發射出去越接近地面的橡皮筋，還是跑得會比較遠一些。

## 陸、實驗結論

- 一、橡皮筋在日常生活裡很常見，它為我們帶來許多的便利，還可以拿來玩遊戲，這次我們就是研究如何讓它可以跑得更遠。
- 二、四年級曾經學過的交通工具與能源，所以我們利用直徑約 4.8cm 的十字，選出比較接近圓形的橡皮筋，使用電子秤和虎克定律組把接近圓形的橡皮筋做分類。之後為了確保實驗的準確性，全部選擇重量 0.35g、伸長量 1.5cm 的橡皮筋來做測試。
- 三、為什麼橡皮筋射出去後會在地上滾動？首先中間架高的支架有兩個用處，第一個是橡皮筋一離開板機後，讓後段的橡皮筋產生翻轉的現象，而且射出去的橡皮筋會立刻轉正直立，之後便一直在空中不停地旋轉，直到落地後，再繼續往前滾動。第二個是架在支架頂端合起來的橡皮筋射出後，它為了要恢復原來的形狀，一離開支架後便會彈開。綜合以上兩點，也就是拉長的橡皮筋在中間架高了支架以後，為什麼可以讓它在地上滾動的秘密武器。
- 四、橡皮筋撐高的位置和中間支架的高度，對於橡皮筋奔跑得遠不遠也有相當的關係。實驗後的結果撐高位置以在正中央的地方跑得最遠，然後在中間位置的支架，分別用不同的高度來測試，支架撐高 6cm 的橡皮筋比其他長度的支架跑得更遠。但是原則上支架的高度越高，產生的形變程度會越大，釋放出來的力量當然就大。但是為什麼不是支架 9cm 的跑得最遠呢？所以在研究五裡，我們設計了測試射出去的橡皮筋落點和角度的實驗。
- 五、(1)橡皮筋發射器在前端、中間和後端位置，射出橡皮筋後，我們模擬並畫出它的軌跡預測圖。但在操作實驗之後，橡皮筋的實際落點跟預測情形完全相反。我們分析撐高在前端位置的橡皮筋，前段長度短，但是力量大，而後段拉的長度雖長，但是力量小，後段力量小帶動了前段，瞬間翻轉出去以後，旋轉的力道不會快速往下，落點就會比較遠。撐高在後端位置的橡皮筋前段長力量小，後段短力量大，後段力量大帶動前段翻轉，旋轉的力道會快速往下，落點就會比較近。  
(2)支架在前端和後端的橡皮筋，為什麼比在中間位置跑得還要近，我們分析是前段和後段的橡皮筋，它們受力大小不一樣的結果。如果支架在前端的話，前段的長度短力量小，後段的長度長力量大，所以橡皮筋在射出後，一端力量大，一端力量小，在發射出去的瞬間，兩端的力量多少會互相拉扯而抵消掉，支架在後端也會是一樣的情形。但支架在中間位置的橡皮筋，因為兩端的受力大小很接近，能量比較足夠，所以才會跑得比較遠。  
(3)支架在中間位置的橡皮筋，理論上中間支架如果撐得越高，產生的形變程度越大，那麼釋放出來力量也就會越大，可是為什麼撐高 9cm 的橡皮筋反而滾得不遠。如果以彈性與力量關係表來看，拉太長的橡皮筋會有彈性疲乏現象，鬆弛的橡皮筋失去了原有的彈性，所以橡皮筋反而跑得不遠。還有以撐高支架在中間位置來說，因為橡皮筋射入地面的角度比較大，所以橡皮筋落地時的垂直分速和水平分速會拉近，大大地減緩了橡皮筋旋轉的力道，反而會讓橡皮筋滾不遠，但是如果射入的角度比較小，往前走的水平分速會大於垂直分速，橡皮筋就會滾得比較遠

了，這也解釋了為什麼支架撐得越高，橡皮筋反而跑得不遠的原因了。

六、橡皮筋彈射器的槍頭高度離地面約 12cm，箱子當平台把它架高後，3 種高度的平均都有到達 1400cm 以上。實驗數據都蠻接近的，沒有比較突出的數據，所以我們把橡皮筋發射器墊高，在 45cm 以下的高度測試，橡皮筋跑的距離都沒有太大差異。不過觀察墊高高度折線圖表後，我們可以看出發射越接近地面的橡皮筋，滾動的距離還是比較遠一些

七、如果要玩橡皮筋射遠的比賽，原則上拉橡皮筋的長度越長，射的距離當然就越遠。但是如果用我們的秘密武器—撐高的支架和研究出落地角度問題，把橡皮筋撐在一定的高度，那麼橡皮筋在飛出去後，就會在地上奔跑起來，而且會跑得又直又遠。

## 柒、參考資料及其他

一、自然與生活科技四上－康軒版、第四單元：交通工具與能源。

二、自然與生活科技五上－康軒版、第四單元：力與運動。

三、網路資料：

- 1、<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A9%A1%E7%9A%AE%E7%AD%8B> 橡皮筋-維基百科
- 2、<http://www.8874595.com.tw/about-us.html> 橡皮筋的種類-橡皮筋工廠
- 3、<http://news.gamme.com.tw/1010055> 橡皮筋的用途-新聞
- 4、<https://kknews.cc/zh-tw/news/jgz3nq.html> 橡皮筋的玩法-新聞

## 【評語】 080112

這個工作討論了橡皮筋彈出後滾動的長度，報告中提到可以選擇形狀較圓的橡皮筋來達到滾動的情況。探討的因素包含橡皮筋的特性、發射器構造、落點與高度等。實驗上就橡皮筋的形狀之外和發射器的發射方式（橡皮筋長度前後比率）進行了一系列的研究，研究內容豐富。

作品海報

# 壹、摘要

橡皮筋在日常生活中很常見，用途十分廣泛，而且隨手可得，它的玩法有很多種，例如拿來玩跳高、做圖案，還是射擊遊戲...等。不管我們把橡皮筋拉多長，射出去的距離還是很有限。為什麼同學的橡皮筋可以在地上滾了起來？還有為什麼它可以滾得這麼遠？同學射橡皮筋的手勢，果然是讓它在地上滾動的重要關鍵，而橡皮筋發射器在中間的支架，正好證明了我們這個想法。在力與運動的單元裡，橡皮筋形狀的改變程度越大，相對地產生的能量就會越大。可是為什麼撐高9公分的橡皮筋，滾動的距離反而會不如撐高6公分的遠呢？橡皮筋的彈性曲線和落地角度幫我們解答了這些疑惑。

# 貳、研究動機

去年和同學代表學校參加打擊樂比賽，中午大家吃完便當休息時，覺得無聊就把綁便當盒的橡皮筋拿來玩，比賽看看誰可以射得比較遠。結果有位同學用了一個很奇怪的手勢贏了比賽，讓我們覺得好厲害、好神奇，紛紛要他教我們這個大絕招。這個奇怪的手勢就是用左手的食指和右手大拇指把橡皮筋拉長後，再用左手大拇指把橡皮筋的中間撐起來，然後放手射出去，飛出去的橡皮筋竟然在地上滾了起來。比賽時我們的射出橡皮筋雖然偶爾有滾動，但是大部分都是飛行一小段後，就直接掉下來，不像同學的滾動得這麼順利、這麼遠。為什麼我們射出去的橡皮筋，飛到後面是用飄的。而且不管把橡皮筋拉得多長，飛行的距離總是有限。還有為什麼同學射出的橡皮筋在地上是用滾的？把橡皮筋頂更高會跑得越遠嗎？還是跟頂橡皮筋的位置有關呢？這個有趣的現象引發了我們的興趣，在跟老師和隊員討論過後，會滾動的橡皮筋就成為我們的研究主題。

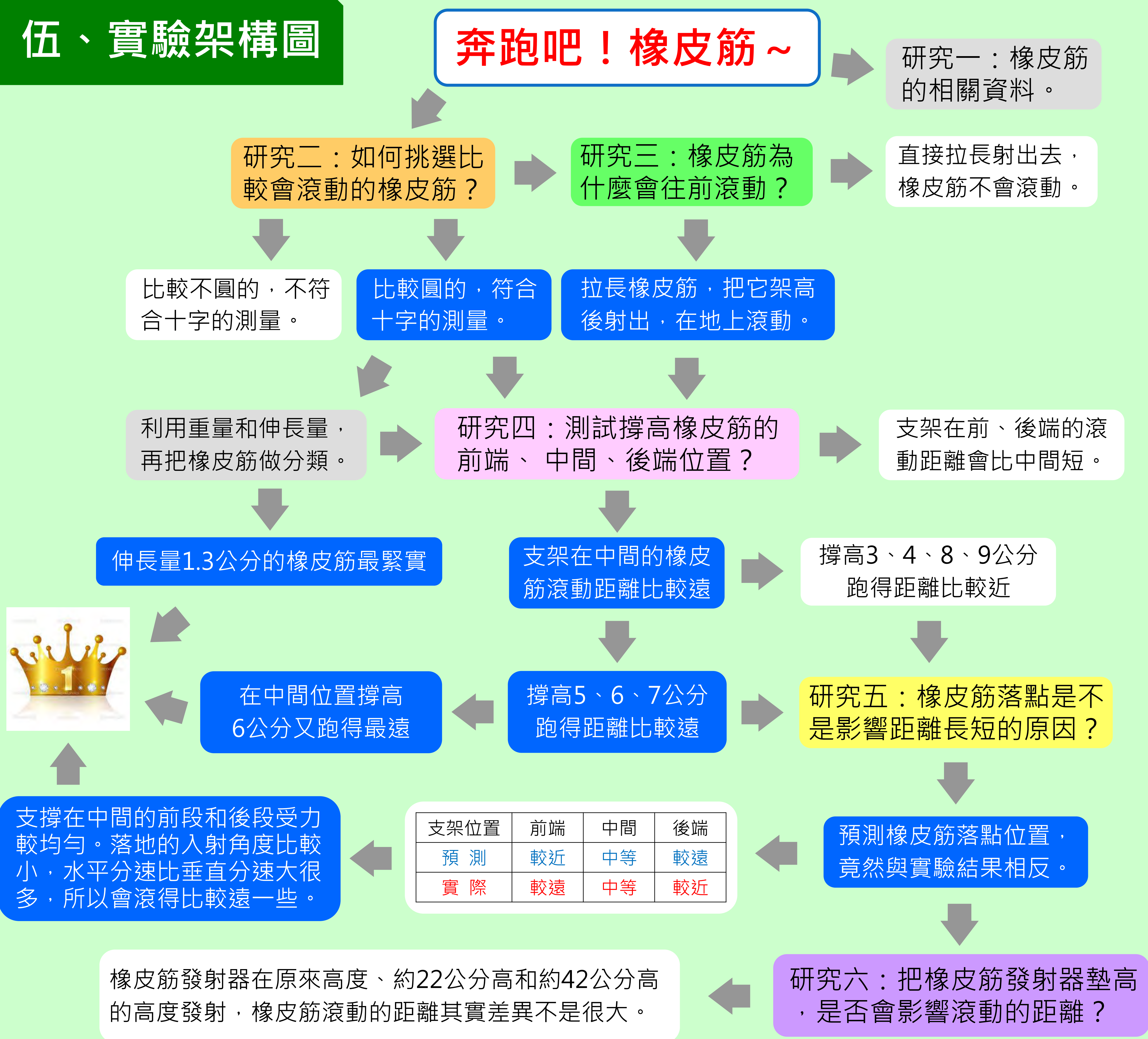
# 參、研究目的

- 研究一、橡皮筋的成分、製造、由來、特性和種類。
- 研究二、如何挑選比較會滾動的橡皮筋呢？
- 研究三、射出去的橡皮筋為什麼會往前滾動呢？
- 研究四、利用橡皮筋發射器測試橡皮筋滾動的情形。
- 研究五、橡皮筋滾動距離的長短，跟它的落點會有關係嗎？
- 研究六、橡皮筋發射器在哪一種高度，才可以讓橡皮筋滾最遠呢？

# 肆、研究設備與器材

橡皮筋、長度4.8cm十字、量角器、電子秤、虎克定律木架、砝碼、電鑽、長捲尺、直尺、紅豆、量角器、熱熔槍、束帶、照相機、木條、pp板、慢動作錄影機、高速攝影機、鐵絲、彈簧秤、計算機、桌上型鑽孔機、空曠平坦的跑道。

# 伍、實驗架構圖



# 陸、研究方法、過程與討論

## 研究一：橡皮筋的成分、製造、由來、特性和種類。

(一)研究內容：

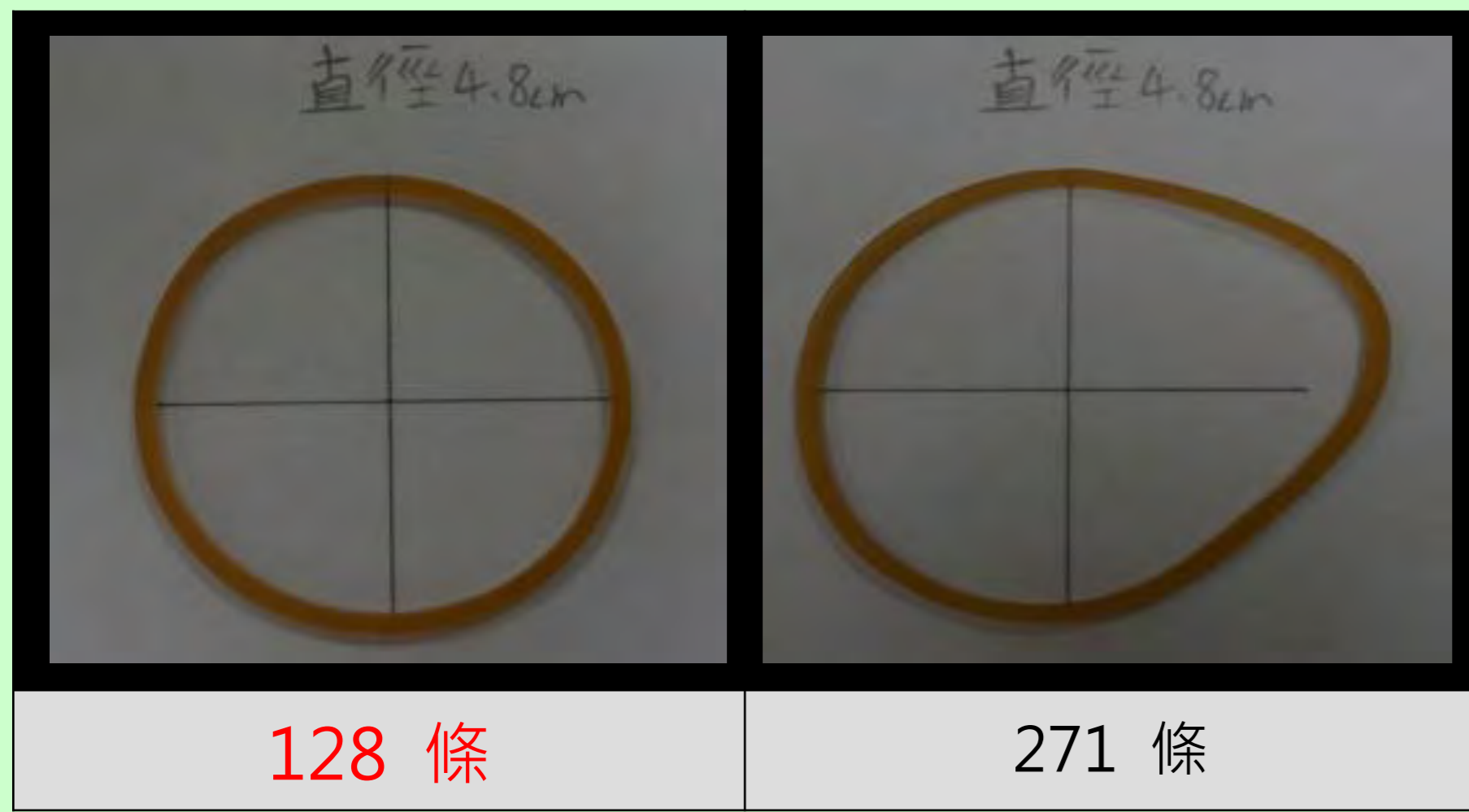
- 橡皮筋的成分：橡皮筋是一種用橡膠與乳膠做成的圈圈，它的成分包含橡膠94%、丙酮萃取物2.5%、蛋白質2.5%、水分0.5%、雜質0.5%。
- 橡皮筋的製造：大部分橡皮筋的材質是天然橡膠，而天然橡膠的顏色就是黃色，想要做出不同顏色的橡皮筋，只要加工添加色素就可以了。橡皮筋的製作過程中，通常會添加硫，化學作用形成的交叉鏈接會減少黏性、硬化橡膠。
- 橡皮筋的由來：英國一家橡膠工廠的老闆史蒂芬·派瑞(Stephen Perry)，在西元1845年發明了橡皮筋。
- 橡皮筋的特性：拿來彈射也是許多人的童年經驗，利用橡皮筋跟竹筷可以做成彈弓。隨著時間氧氣和紫外線的接觸，會產生活性自由基使得天然橡膠的聚異戊二烯鏈斷成更小片段，橡皮筋會變成硫化前的軟黏狀，像被融化一般。若再經過更久的退化過程就會逐漸脆化，橡皮筋接觸到光照、溶液都可能減少它的使用壽命。

(二)歸納整理：

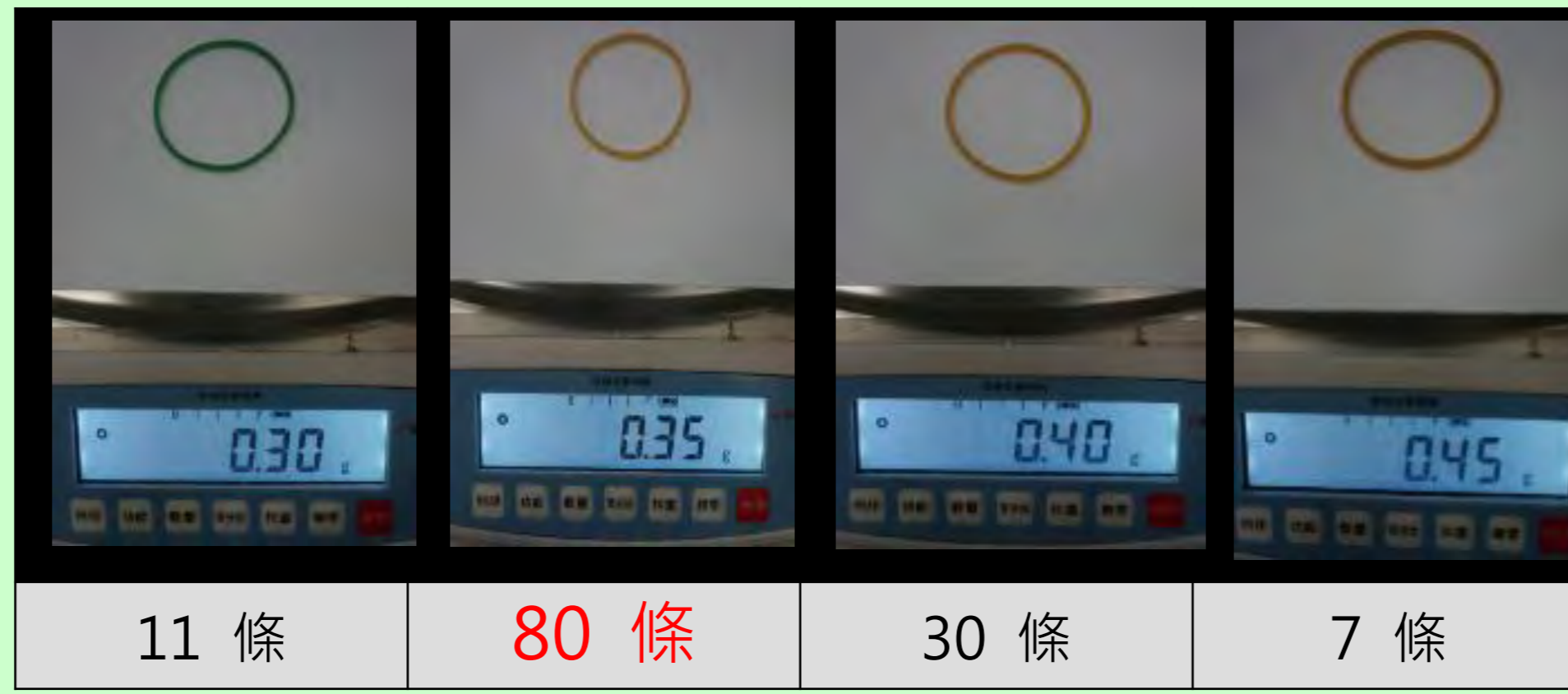
橡皮筋的尺寸種類大約有上百種，平常的用途十分廣泛，有日常生活中使用的，也有工業上在使用。一般尺寸在五金行或超市就可以買到，這次我們實驗主要選擇的尺寸是18番、寬度1.5mm的橡皮筋，因為這種尺寸容易取得，而且很常看到。

(一)實驗方法和過程

1、利用4.8公分的十字選出接近圓形的橡皮筋。

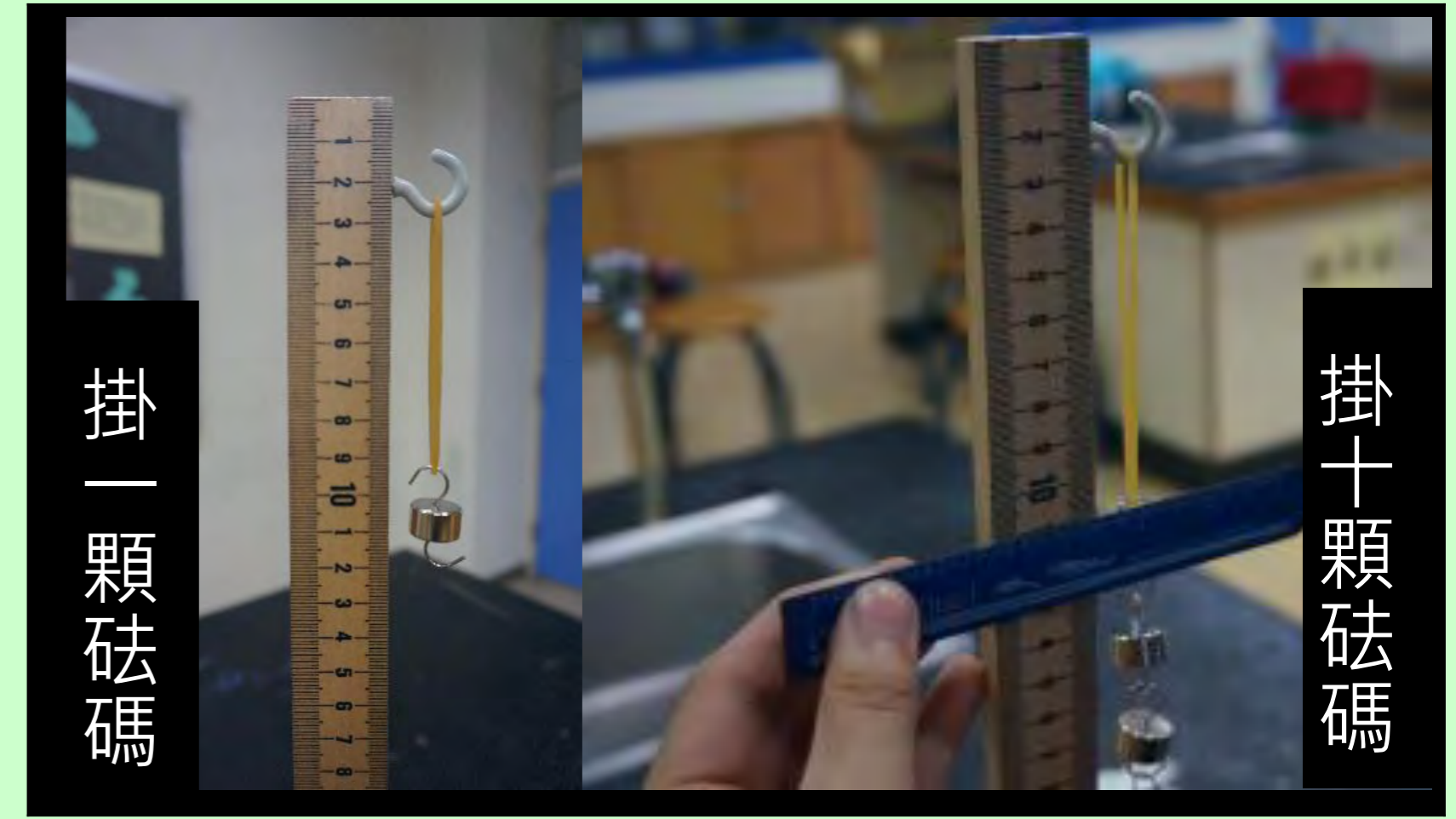


2、把接近圓形的橡皮筋，利用電子秤秤出四種不同的重量。



研究二：如何挑選比較會滾動的橡皮筋呢？

3、利用虎克定律找出相同伸長量的橡皮筋。



重量(g)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
伸長量(cm)	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
條數	1	4	33	29	10	1	2

重量(g)	0.30	0.30	0.30	0.30
伸長量(cm)	1.6	1.7	1.8	1.9
條數	5	3	2	1

重量(g)	0.40	0.40	0.40	0.40
伸長量(cm)	1.4	1.5	1.6	1.97
條數	8	18	3	1

重量(g)	0.45	0.45
伸長量(cm)	1.4	1.5
條數	1	6

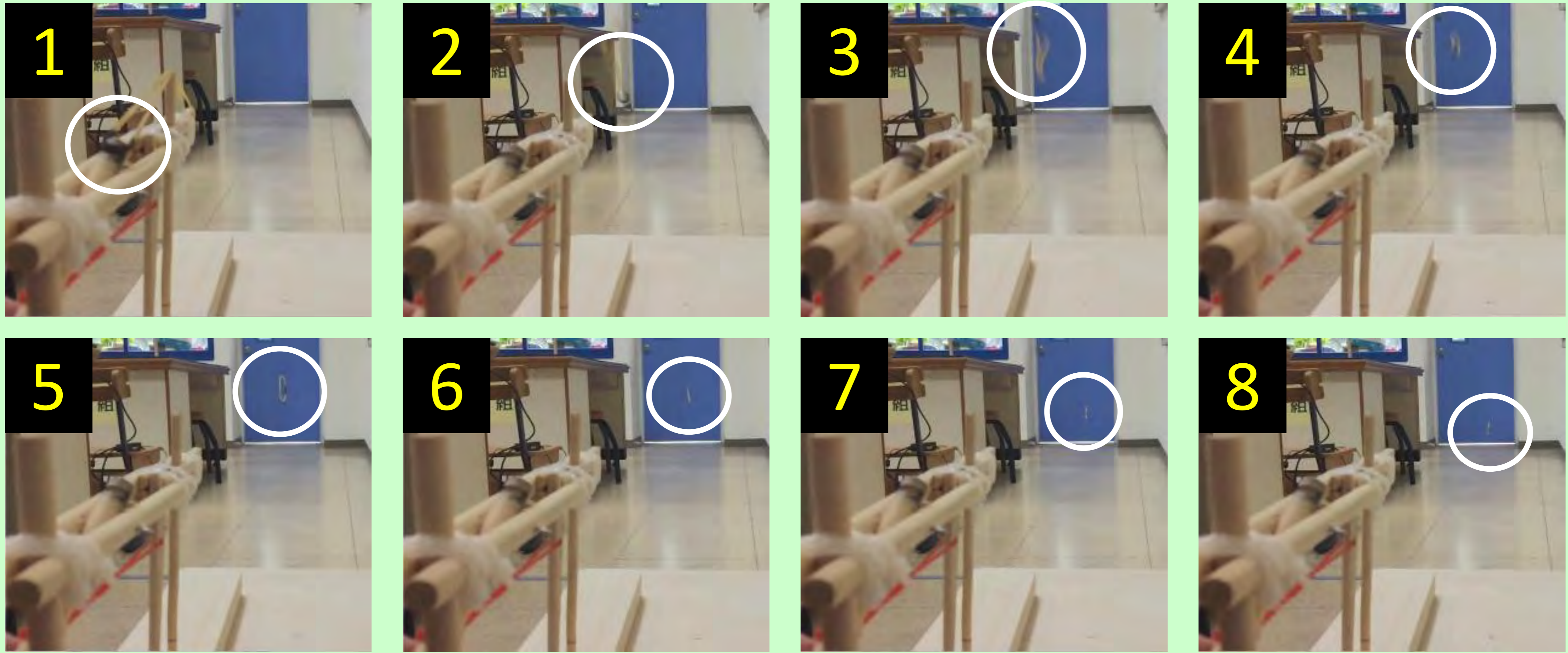
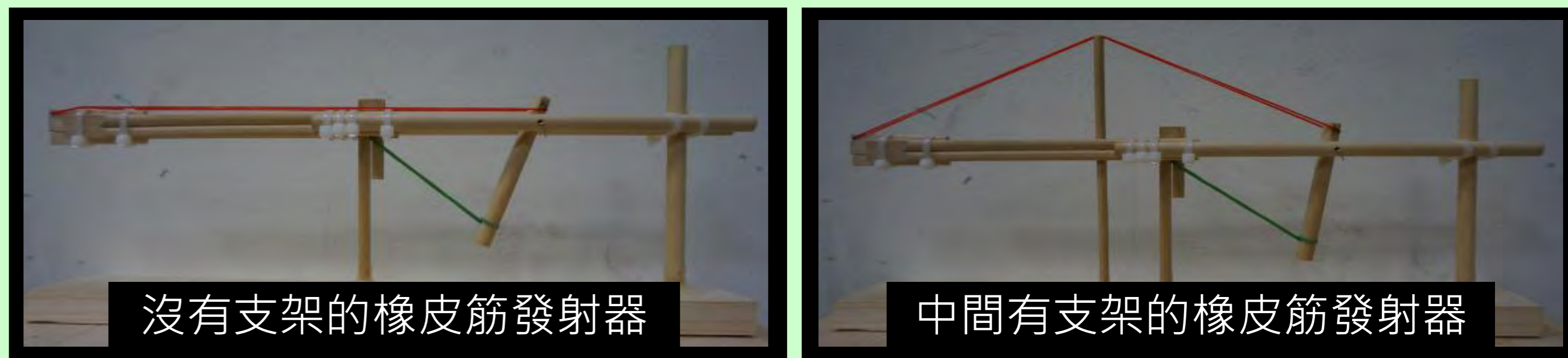
(二)實驗討論

我們一開始學同學的手勢射橡皮筋，並觀察它滾動的情形，有一些橡皮筋會滾動得比較順利，有一些卻不是很順利，到尾段的時候會有抖動的情形出現。把這兩種橡皮筋拿來觀察，我們發現滾動順利的橡皮筋，形狀都是比較接近圓形的。這樣的情形在四年級交通工具與能源單元裡，車子輪子的構造都是圓形的原理很相似。所以我們就先利用長度4.8cm的十字來選出比較接近圓形和不圓的橡皮筋。再利用電子秤和橡皮筋的伸長量，把它做重量和伸長量的分類。分類過後的結果，重量是0.35公克橡皮筋有最多的80條，而且伸長量的分類是以伸長1.5cm(33條)和1.6cm(29條)佔了大多數。

研究三：射出去的橡皮筋為什麼會往前滾動呢？

(一)實驗方法和過程

- 1、模仿筷子槍的基本架構，設計並測試可以讓橡皮筋射出去的機器。
- 2、模仿同學射橡皮筋的手勢，設計並測試可以讓橡皮筋往前滾動的機器。
- 3、橡皮筋中間被撐高，發射出去後橡皮筋翻轉和旋轉的軌跡圖。



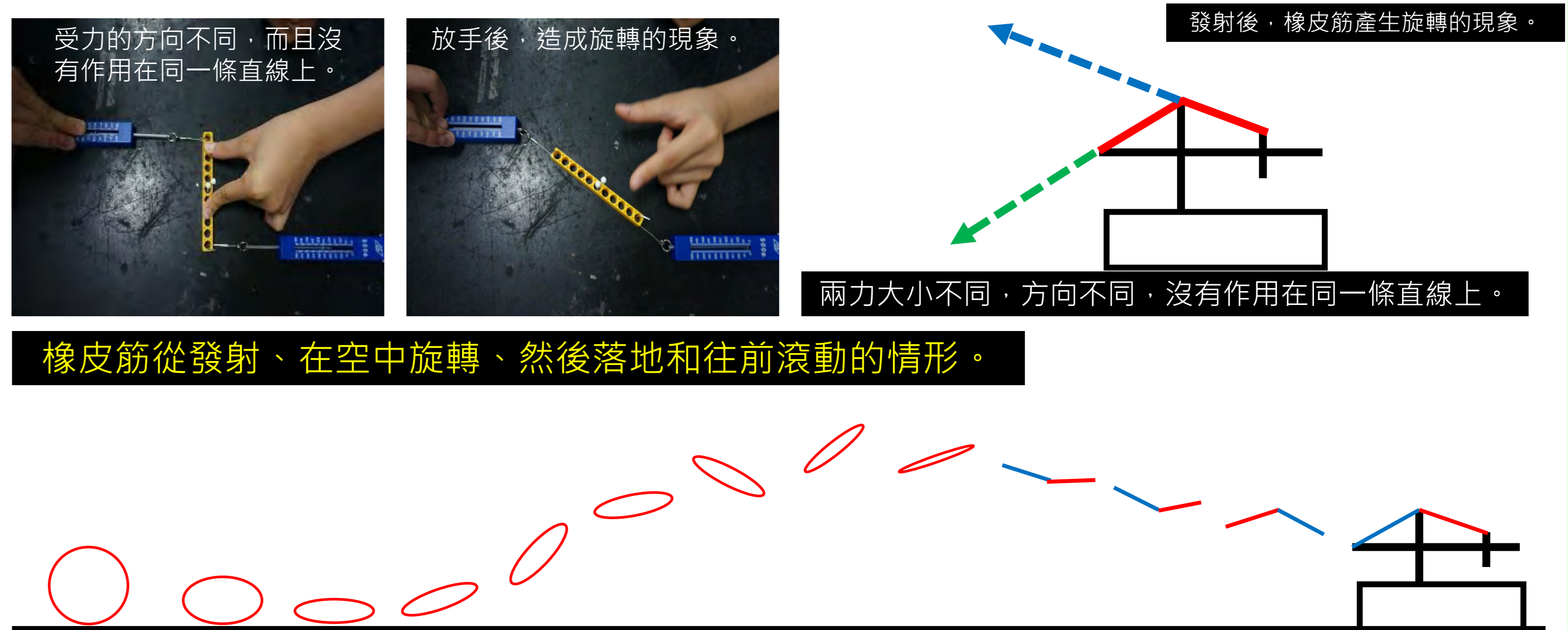
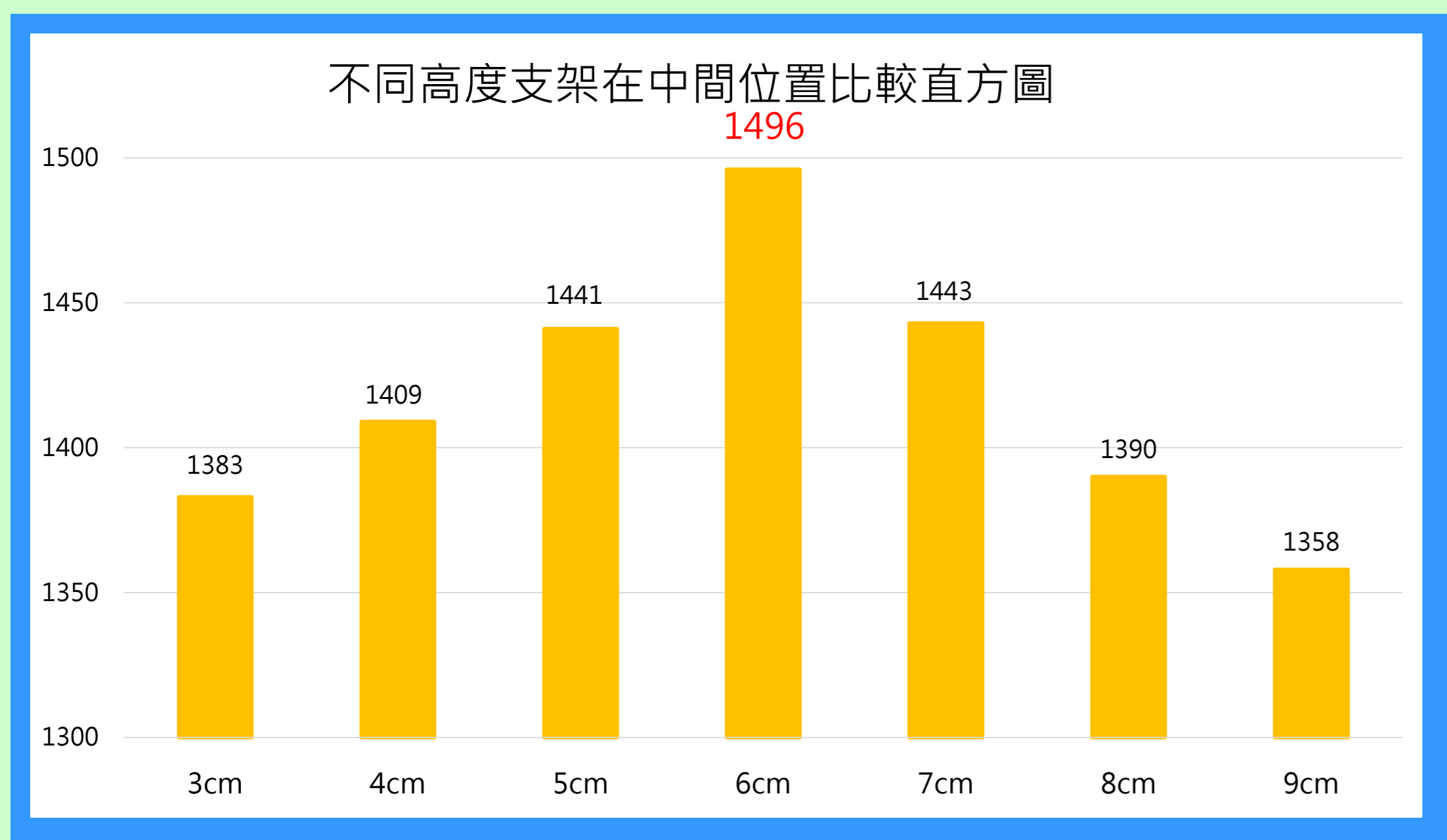
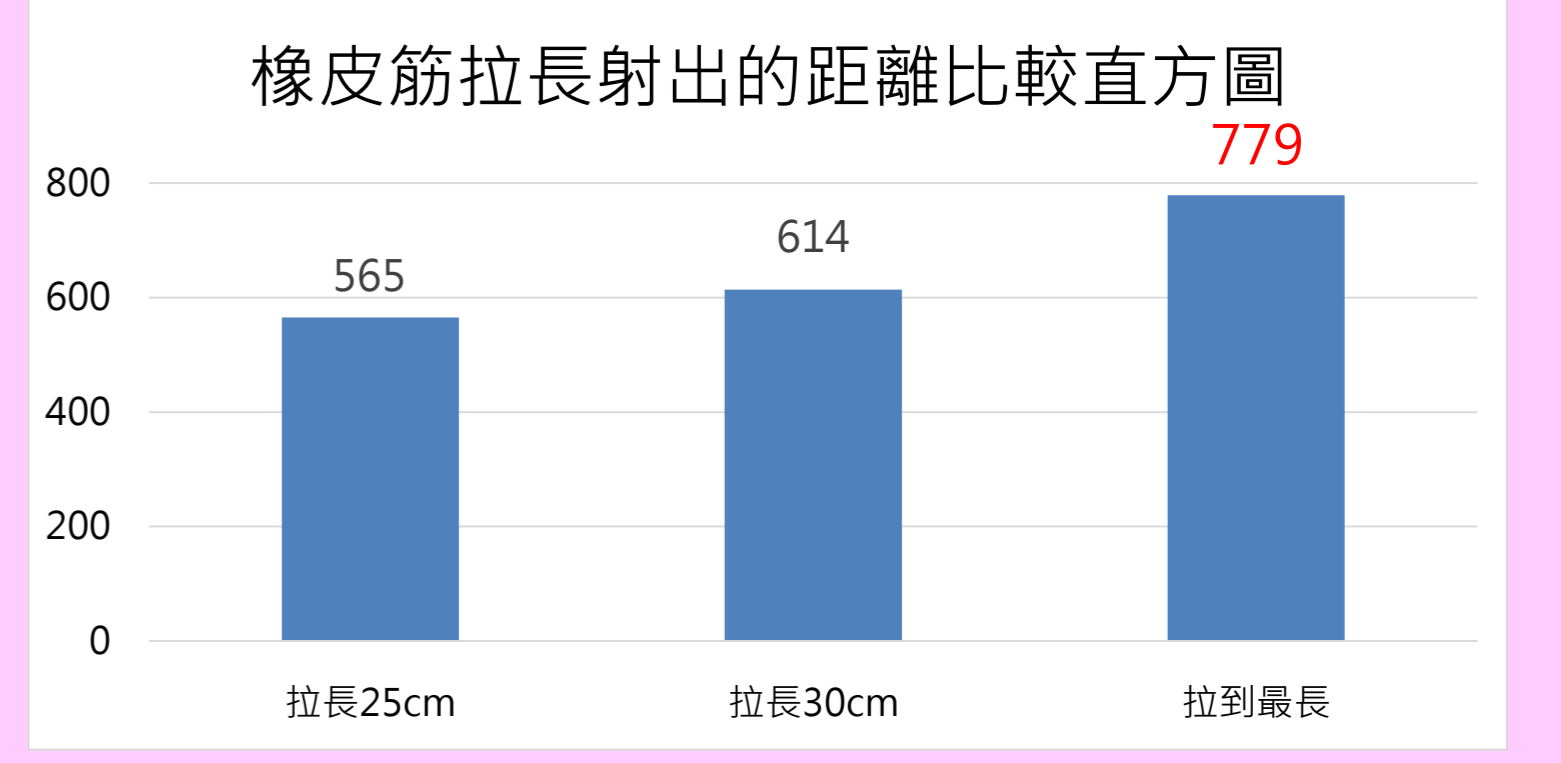
(二)實驗討論

透過慢動作錄影，我們可以清楚地看到橡皮筋如果有被撐高的話，在發射出去的瞬間，便會快速的翻轉飛出。而且橡皮筋在射出去之後，便會立即轉正直立，在空中不停地旋轉直到落地，接觸地面以後繼續往前滾動。我們覺得是因為橡皮筋中間被架高，並且合在一起，所以射出的橡皮筋會先要彈開恢復形狀，而中間架高的支架讓橡皮筋翻轉，這個翻轉的力量使轉正後的橡皮筋可以在空中旋轉。但是中間沒有被撐高的橡皮筋，射出後左右晃動得很厲害，而且旋轉得比較緩慢，也因為沒有這個強勁旋轉的力量帶動它，所以沒有被架高的橡皮筋落地後不會滾動，飛行的距離當然就很有有限。

研究四：利用橡皮筋發射器測試橡皮筋滾動的情形。

(一)實驗方法和過程

- 1、利用相同重量和彈性的橡皮筋測試，分別在離槍頭6.25 cm(前端)、12.5 cm(中間)和18.75 cm(後端)的底座位置，把橡皮筋撐高後射出。
- 2、把橡皮筋撐高的支架分別有3 cm、4 cm、5 cm、6 cm、7 cm、8 cm、9 cm。
- 3、在橡皮筋發射器的前、中、後端，把它分別撐高3、4、5、6、7、8、9 cm，測試橡皮筋滾動距離折線圖。



(二)實驗討論：

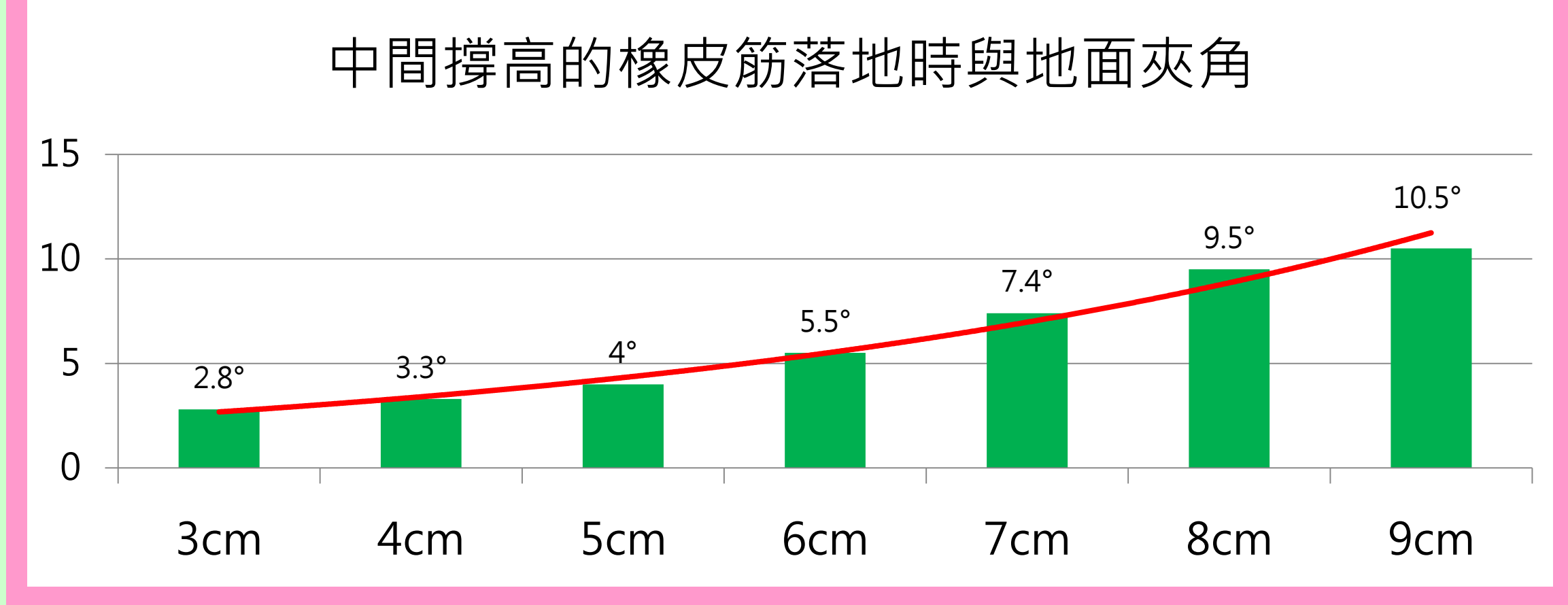
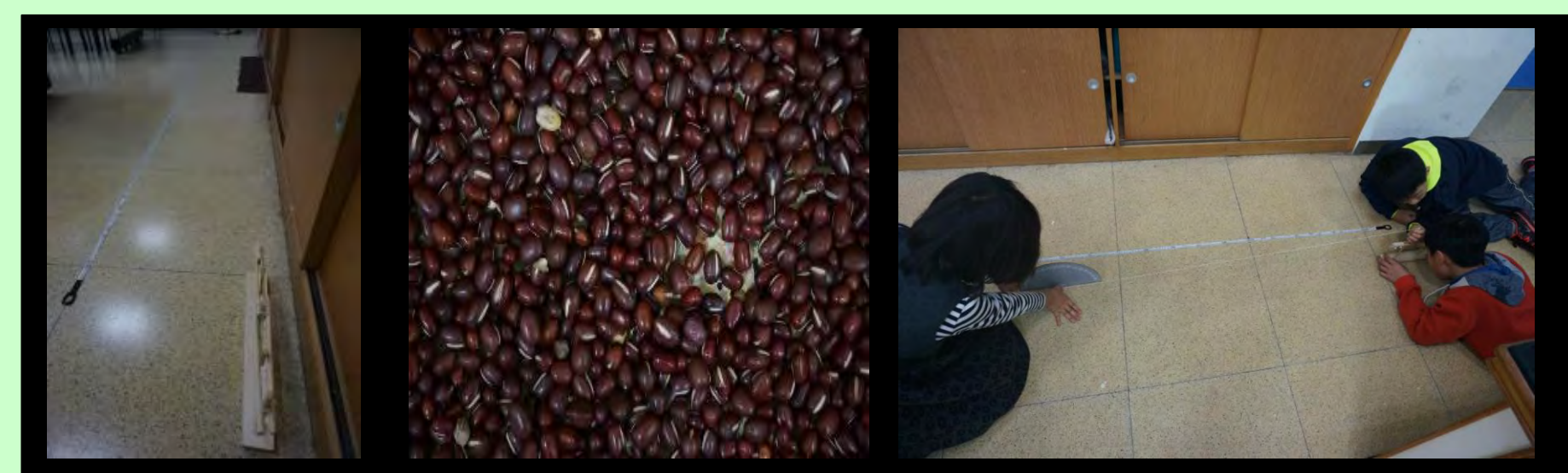
把橡皮筋拉長後射出去，飛行的距離最多只有779cm。可是如果在中間加了撐高的支架，然後把橡皮筋頂起來射出去，那麼它奔跑的距離就會遠很多，幾乎多了快一倍。利用高速攝影機來分析橡皮筋整個運動的過程，我們發現橡皮筋在發射出去後會先翻轉，然後在空中不停地旋轉，落地後便在地上滾動起來。測試後的結果，撐高高度如果相同，但是撐高位置(前、中、後)不一樣的話，那麼結果都是中間位置撐高的橡皮筋會滾得最遠。而比較各種撐高高度在中間位置的滾動距離，我們會發現撐高6cm的橡皮筋會滾得最遠，平均大約有1496cm長。

可是原則上橡皮筋如果拉得越長，產生的形變程度就會越大，蓄積的能量應該會是最大，可是為什麼撐高9cm的橡皮筋反而會滾不遠呢？實驗的過程中，撐高9cm的橡皮筋落地的位置好像比較近一點，彈跳的高度好像也比較高，我們猜想會不會跟它們的落點位置或落地角度有關係呢？所以我們設計了下一個實驗，看看橡皮筋的落點和落地時的角度，是不是影響它滾動距離遠近的因素？

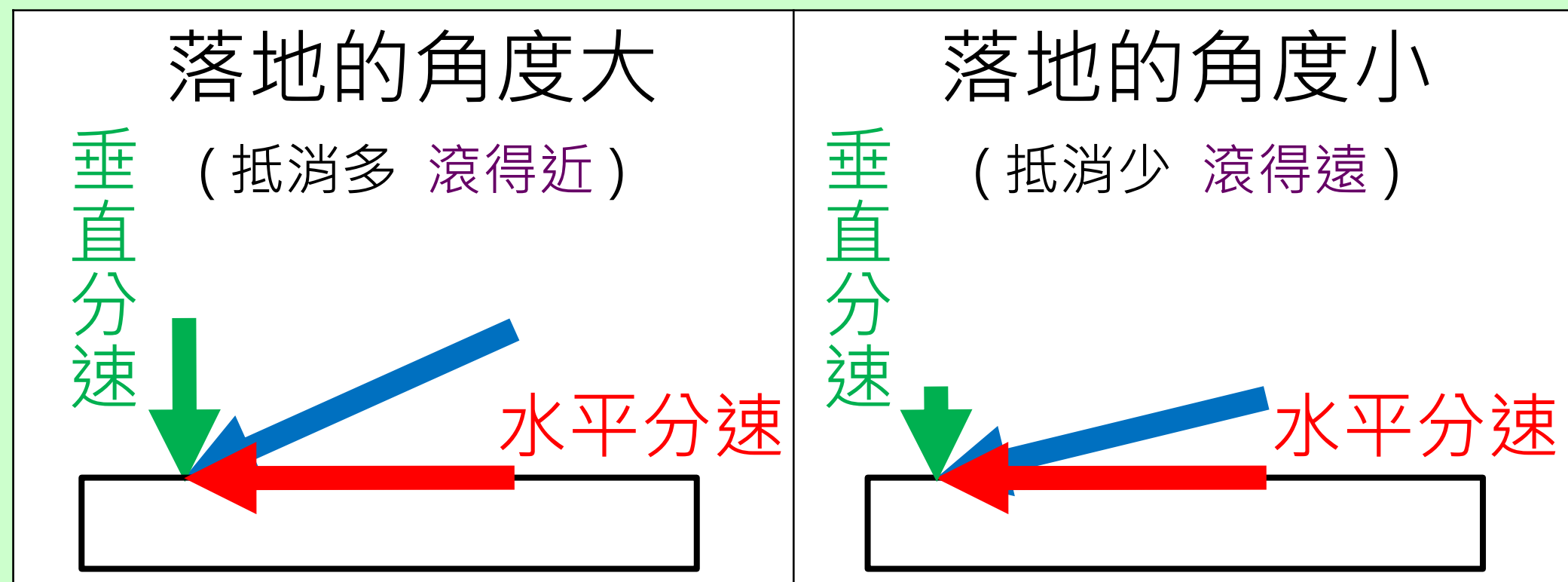
## 研究五：橡皮筋滾動距離的長短，跟它的落點有關嗎？

### (一)實驗方法：

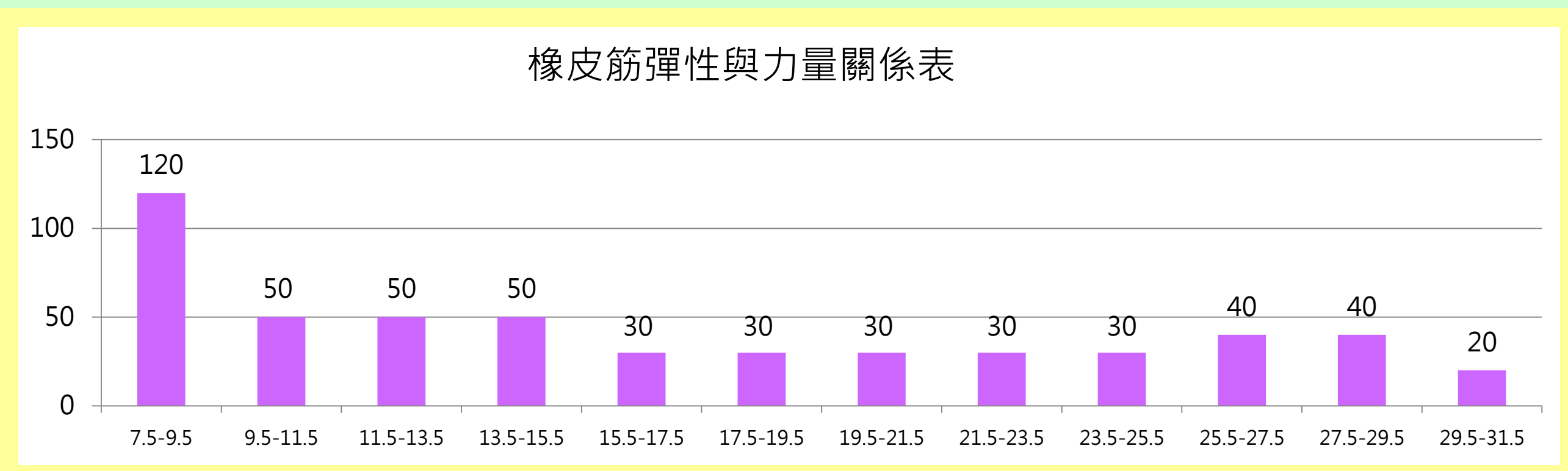
- 1、在地上撒一層均勻的紅豆，利用橡皮筋經過會留下痕跡，來測試各個撐高位置的落點。再利用各個位置的落點，測量出橡皮筋落地和地面的夾角角度。
- 2、在底座的前端、中間和後端撐高橡皮筋，比較兩段橡皮筋的力量。



- 3、橡皮筋在落地時角度的速度分析圖。



- 4、利用彈簧秤來測量橡皮筋的伸長量與力量關係。



### (二)實驗討論：

- (1)模擬發射後的預測橡皮筋軌跡圖，以橡皮筋射出的角度來說，把前端撐高的橡皮筋落點應該是最遠的，但是實際測試的結果，它的落點竟然是最近，預測和實際的結果竟然相反。所以除了發射出去的角度以外，應該還有其他的因素影響。不管支架撐高在前端、中間、還是後端，支點都是在前面，我們覺得撐高在前端位置的橡皮筋，前段拉的長度短，但是力量大，後段拉的長度雖然長，但力量比較小。可是整體來說主要是後段在帶動前段，後段力量比較小帶動前段，瞬間翻轉出去以後，後段速度比較慢，不會快速向下，落點就會比較遠。相對地撐高在後端位置的橡皮筋，前段雖長但力量小，後段雖短力量卻大，後段力量大的帶動前段，旋轉速度比較快，所以快速往下，落點就會比較近，高速攝影機的慢動作幫我們分析了這個現象，但落點對橡皮筋奔跑的距離沒有太大的影響。
- (2)雖然撐高的支架可以帶動橡皮筋翻轉，但是射出的橡皮筋，一端力量大，一端力量小，一大一小的力在旋轉時會互相拉扯，所以在發射出去的瞬間，力量多少還是會抵消掉，橡皮筋就滾動的比較不遠，而支架撐高在後端的道理也是一樣的。但是撐高在中間位置的橡皮筋，前段和後段的力量相近，發射出去的力量也就比較不會互相牽制抵消，所以當然會滾動得比較遠。
- (3)再來是撐高高度的問題，原則上中間支架撐得越高，產生的形變程度越大，相對釋放出來力量也就越大，那為什麼中間位置撐高9cm的橡皮筋反而會滾不遠呢？首先橡皮筋的彈性曲線圖告訴我們，它的彈性在拉長9.5到15.5cm都還算是正常，但是拉到了25.5cm以後，明顯的橡皮筋已經彈性疲乏鬆掉了，這也就是為什麼撐得越高，反而沒有跑得最遠的一個原因。還有以撐高支架在中間位置來說，如果撐得越高，橡皮筋落地的角度會越大，所以水平分速和垂直分速會拉近，減緩了橡皮筋旋轉的力道，反而會讓橡皮筋滾不遠，而我們的實驗數據也證明了這個現象。

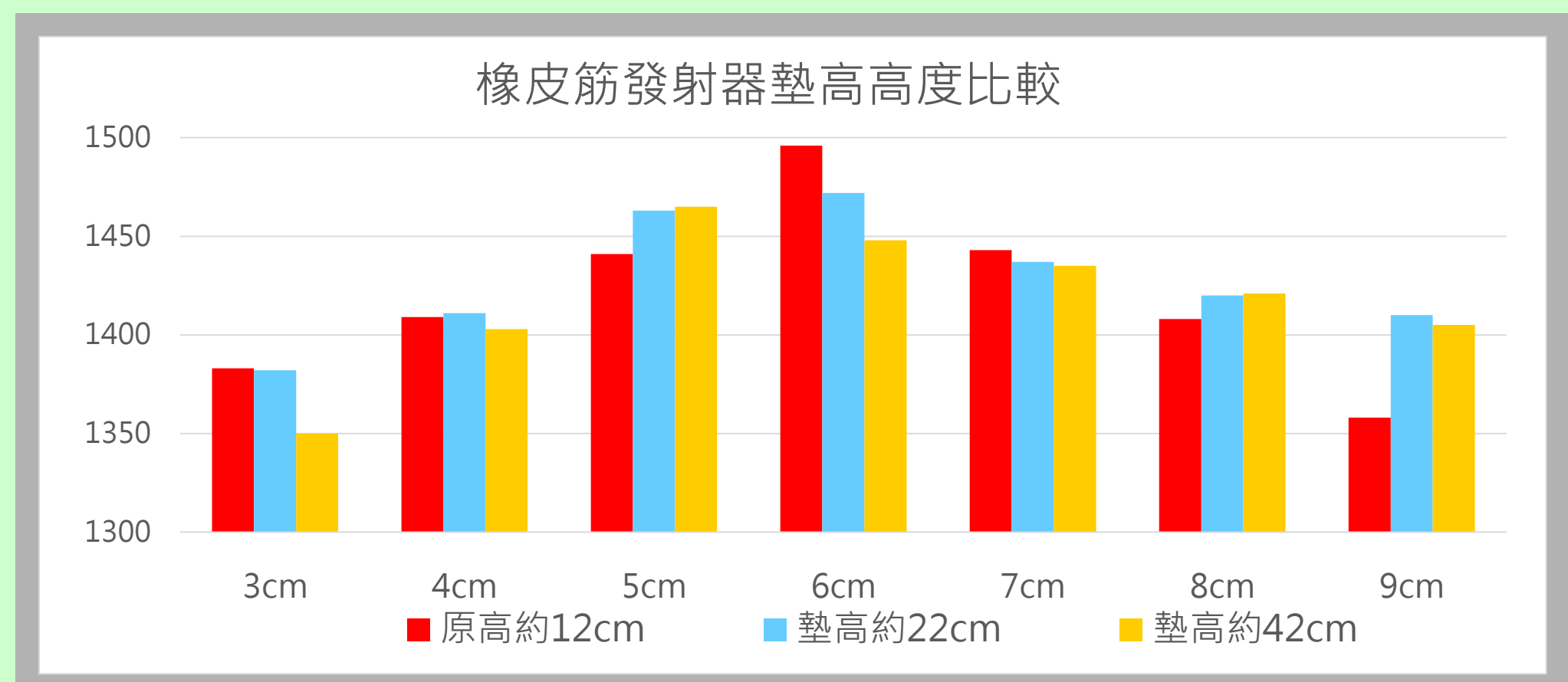
## 研究六：發射器在哪一種高度，才可以讓它滾最遠呢？

### (一)實驗方法和過程：

- 1、利用不同高度的紙箱當作平臺，把橡皮筋發射器架高測試。
- 2、橡皮筋發射器槍頭距離地面約12cm，分別再架高10cm和30cm來測試。

### (二)實驗討論

我們一開始都是把橡皮筋發射器放在地上測試，而槍頭離地面大約12cm高，然後分別用10cm和30cm高的箱子把橡皮筋發射器墊高，測試後的情形，撐高在6cm的位置，橡皮筋跑的距離有比較遠一點，但是撐高5cm和7cm跑的距離也不短，支架在中間位置撐高5cm、6cm、7cm的橡皮筋，在3種高度的平均都有到達1400cm以上。但是實驗數據都蠻接近的，並沒有比較突出的數據，所以我們把橡皮筋發射器墊高，在45cm以下的高度測試，橡皮筋跑的距離都沒有太大的差異。



## 柒、實驗結論

- 一、橡皮筋在日常生活裡很常見，這次我們就是研究如何讓它可以跑得更遠。四年級曾經學過的交通工具與能源，所以我們利用直徑約4.8cm的十字，選出比較接近圓形的橡皮筋，使用電子秤和虎克定律組把接近圓形的橡皮筋做分類。為了確保實驗的準確性，全部選擇重量0.35g、伸長量1.5cm的橡皮筋來做測試。
- 二、為什麼橡皮筋射出去後會在地上滾動？首先中間架高的支架有兩個用處，第一個是橡皮筋一離開板機後，讓後段的橡皮筋產生翻轉的現象，而且射出去的橡皮筋會立刻轉正直立，之後便一直在空中不停地旋轉，直到落地後，再繼續往前滾動。第二個是架在支架頂端合起來的橡皮筋射出後，它為了要恢復原來的形狀，一離開支架後便會彈開。綜合以上兩點，也就是拉長的橡皮筋在中間架高了支架以後，為什麼可以讓它在地上滾動的秘密武器。
- 三、橡皮筋撐高的位置和中間支架的高度，對於橡皮筋奔跑得遠不遠也有相當的關係。實驗後的結果撐高位置以在正中央的地方跑得最遠，然後在中間位置的支架，分別用不同的高度來測試，支架撐高6cm的橡皮筋比其他長度的支架跑得更遠。但是原則上支架的高度越高，產生的形變程度會越大，釋放出來的力量當然就大。但是為什麼不是支架9cm的跑得最遠呢？所以在研究五裡，我們設計了測試射出去的橡皮筋落點和角度的實驗。
- 四、(1)橡皮筋發射器在前端、中間和後端位置，射出橡皮筋後，我們模擬並畫出它的軌跡預測圖。但在操作實驗之後，橡皮筋的實際落點跟預測情形完全相反。我們分析撐高在前端位置的橡皮筋，前段長度短，但是力量大，而後段拉的長度雖長，但是力量小，後段力量小帶動了前段，瞬間翻轉出去以後，旋轉的力道不會快速往下，落點就會比較遠。撐高在後端位置的橡皮筋前段長力量小，後段短力量大，後段力量大帶動前段翻轉，旋轉的力道會快速往下，落點就會比較近。  
(2)支架在前端和後端的橡皮筋，為什麼比在中間位置跑得還要近，我們分析是前段和後段的橡皮筋，它們受力大小不一樣的結果。如果支架在前端的話，前段的長度短力量小，後段的長度長力量大，所以橡皮筋在射出後，一端力量大，一端力量小，在發射出去的瞬間，兩端的力量多少會互相拉扯而抵消掉，支架在後端也會是一樣的情形。但支架在中間位置的橡皮筋，因為兩端的受力大小很接近，能量比較足夠，所以才會跑得比較遠。  
(3)支架在中間位置的橡皮筋，理論上中間支架如果撐得越高，產生的形變程度越大，那麼釋放出來力量也就會越大，可是為什麼撐高9cm的橡皮筋反而滾得不遠。如果以彈性與力量關係表來看，拉太長的橡皮筋會有彈性疲乏現象，鬆弛的橡皮筋失去了原有的彈性，所以橡皮筋反而跑得不遠。還有以撐高支架在中間位置來說，因為橡皮筋射入地面的角度比較大，所以橡皮筋落地時的垂直分速和水平分速會拉近，大大地減緩了橡皮筋旋轉的力道，反而會讓橡皮筋滾不遠，但是如果射入的角度比較小，往前走的水平分速會大於垂直分速，橡皮筋就會滾得比較遠了，這也解釋了為什麼支架撐得越高，橡皮筋反而跑得不遠的原因了。
- 五、橡皮筋彈射器的槍頭高度離地面約12cm，箱子當平台把它架高後，3種高度的平均都有到達1400cm以上。實驗數據都蠻接近的，沒有比較突出的數據，所以我們把橡皮筋發射器墊高，在45cm以下的測試，橡皮筋跑的距離都沒有太大差異。
- 六、如果要玩橡皮筋射遠的比賽，原則上拉橡皮筋的長度越長，射的距離當然就越遠。但是如果用我們的秘密武器——撐高的支架和研究出落地角度問題，把橡皮筋撐在一定的高度，那麼橡皮筋在飛出去後，就會在地上奔跑起來，而且會跑得又直又遠。