

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080113

投石"計"器 "彈"無虛發

學校名稱：雲林縣斗南鎮僑真國民小學

作者： 小四 沈又聖 小四 黃衣柔 小四 溫宥歲 小四 謝涵宇	指導老師： 傅志雄 林嘉琦
---	---------------------

關鍵詞：投石器、彈力、槓桿原理

摘要

各式各樣的投石器是最原始的武器之一，傳說阿基米德為了防止羅馬入侵，發明了最早的投石器，而唐宋明時代也為戰爭發展出類似的武器。

阿基米德的投石器，至今仍被人們時常提起，而有趣的投石器是許多小孩的夢想玩具，但當時的投石器到底長什麼樣子，已經沒有人知道，據科學家猜測，應是利用重力與槓桿原理的方式所製作，但要怎麼才能做出好的投石器並精準的命中目標呢?讓我們一起探究其中所蘊含的物理原理，動手設計、實驗，創造出最獨特又精準的投石器，一起來找尋「投石器」的特異之處和它的趣味所在吧！

壹、研究動機

一般的投石器製作材料，大部份均使用竹筷子或冰棒棍、橡皮筋，再加上塑膠湯匙、寶特瓶蓋，即可完成，這是橡皮筋的「彈力」應用，橡皮筋的彈力不只可以固定冰棒棍，也是這款投石器的靈魂——「彈力」的來源；而經過特殊的變化，用塑膠支架替換竹筷子或冰棒棍，便能製作出特殊的投石器，更能讓我們靈活的運用不同的彈力、角度、力臂長度實驗出可精密計算且準確的投石器，達到彈無虛發的神奇境界；讓我們從投石器的製作、實驗中，激發更多想像力及發現更多的樂趣，為生活增添不同的快樂元素，也希冀能夠從實驗之中培養學生的科學精神，對日常生活的細微之處保有一顆不懈的好奇心，就讓我們一起動手完成吧！

貳、研究目的

- 一、我們想知道在自製投石器中使用具有不同彈力的物品所拋出的乒乓球，其落地的距離有什麼不同？
- 二、我們想知道在自製投石器中改變投擲桿角度所拋出的乒乓球，其落地的距離有什麼不同？
- 三、我們想知道在自製投石器中改變投擲臂長度所拋出的乒乓球，其落地的距離有什麼不同？
- 四、我們想藉由彈力、投擲桿角度、投擲臂長度的不同，在自製投石器中進行相互交叉

實驗，希望找出可投擲固定距離的各種組合模組。

五、我們想知道在自製投石器中使用各種不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度的組合模組，是否可以精確命中目標？

參、研究設備及器材

項目	數量	項目	數量
自製投石器	1 座	量角器	1 個
基座－桌子(140cm)	1 張	飲料瓶蓋	1 個
橡皮筋	數條	紙盒	1 個
彈簧	1 個	直尺	1 支
彈力包裝繩	1 段	皮尺	1 條
口罩彈力繩	1 條	3kg 彈簧秤	1 個
彈力髮圈	1 個	布標靶組(靶、黏黏球)	1 組
電子秤	1 個	長鐵尺(100 公分)	1 支
砝碼	1 批	塑膠帆布	1 條
乒乓球	數顆	毛衣	1 件

表 3-1 研究設備及器材

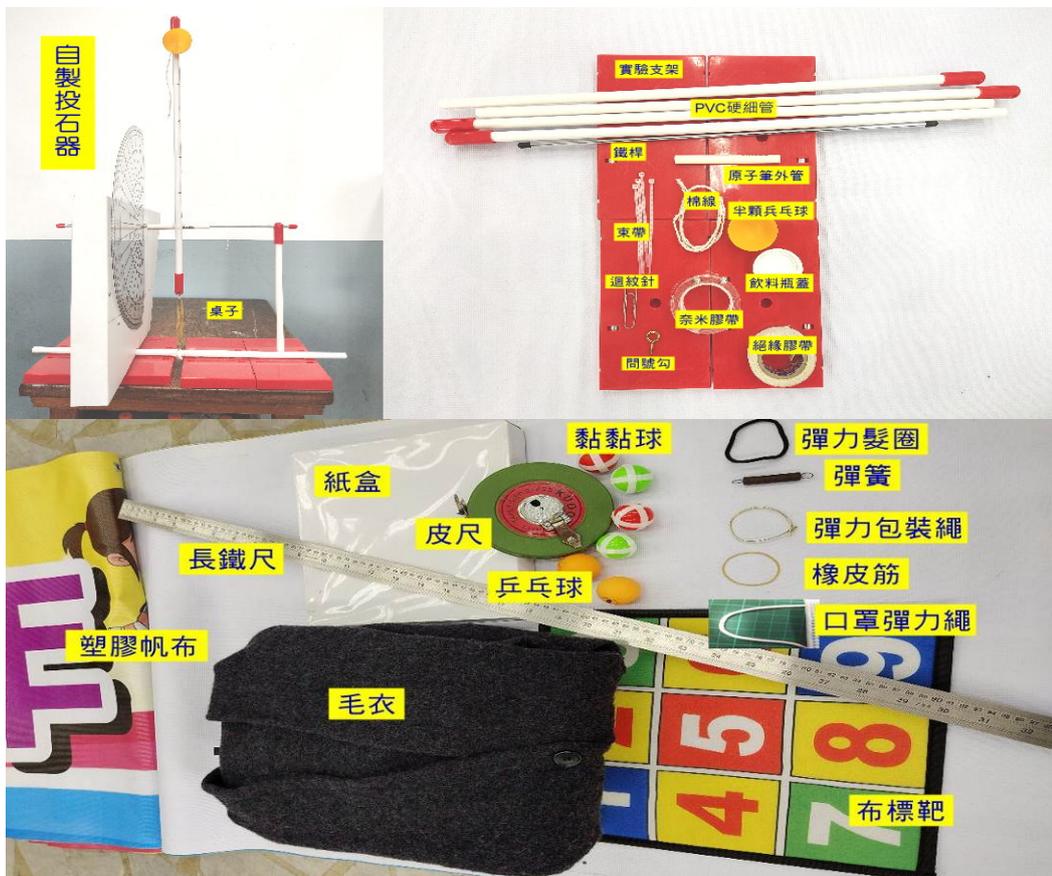


圖 3-1 研究設備及器材

肆、研究過程或方法

一、研究流程：

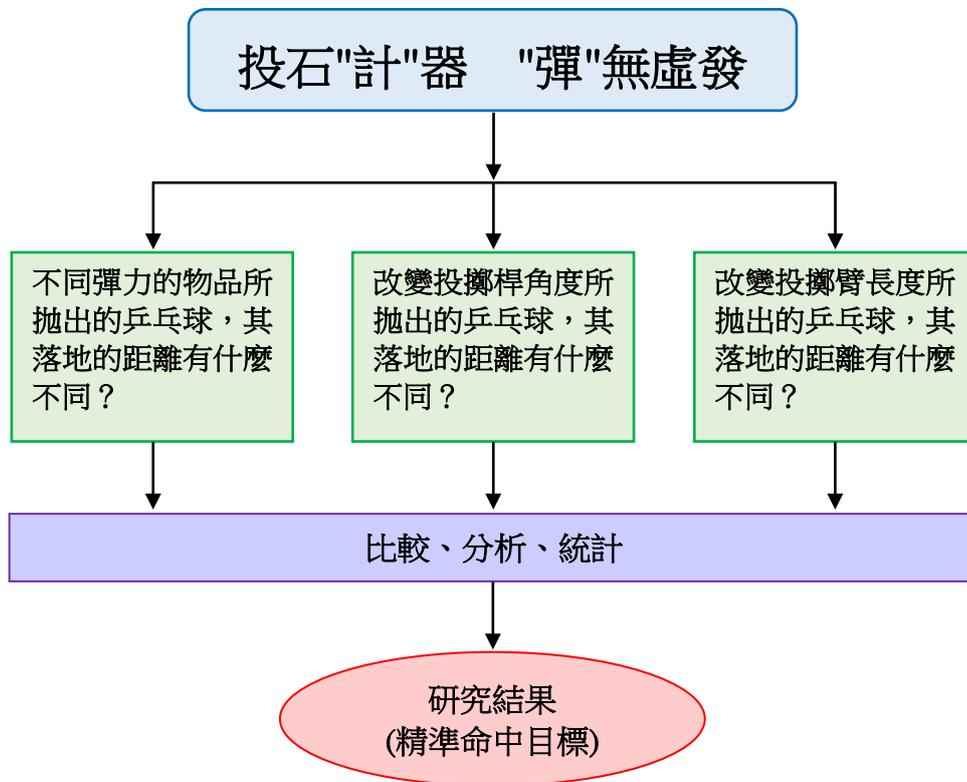


圖 4-1-1 研究流程

二、研究標的：

利用學校的實驗設備、器材以及日常生活中容易取得的物品，自行研究、製作一台小型、簡易的投石器。

(一)使用器材及工具：實驗支架、PVC硬細管、問號勾、原子筆外管、鐵桿、飲料瓶蓋、束帶、棉線、迴紋針、紙尺、量角器、紙盒、絕緣膠帶、奈米膠帶。

(二)投石器製作方法(圖片)：



(三)實驗裝置示意圖：

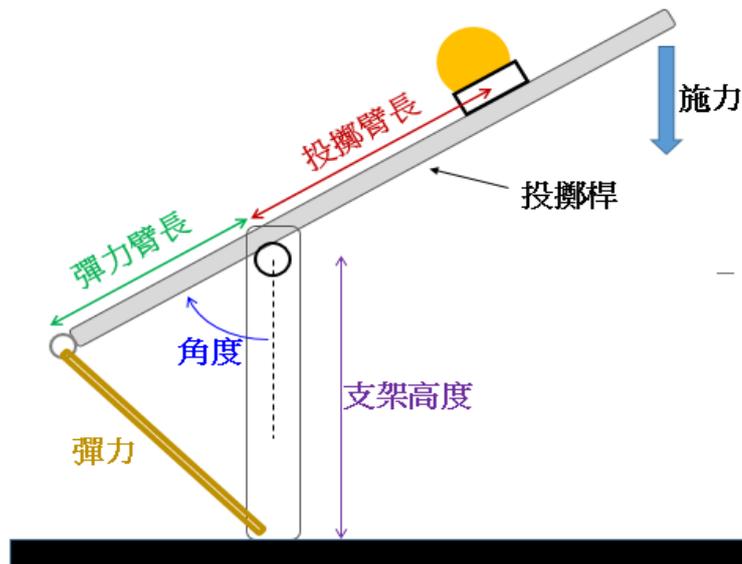


圖 4-2-1 實驗裝置示意圖

三、研究問題：

- (一)使用日常生活容易取得且具有彈力的物品(彈簧、彈力包裝繩、橡皮筋、彈力髮圈、口罩彈力繩)來充當彈力，而投石器的其他相關條件都相同時，其所拋出的乒乓球距離是否有所差別？
- (二)根據研究問題(一)實驗的結果，選擇合適的彈力物品做為彈力，改變投擲桿角度，而投石器的其他相關條件都相同時，其所拋出的乒乓球距離是否有所差別？
- (三)根據研究問題(一)和研究問題(二)實驗的結果，選擇合適的彈力物品做為彈力，以及合適的投擲桿角度，改變投擲臂長度，而投石器的其他相關條件都相同時，其所拋出的乒乓球距離是否有所差別？
- (四)操縱彈力、投擲桿角度、投擲臂長度，在自製投石器中進行相互交叉實驗，並比較其所拋出的黏黏球距離差異。
- (五)藉由自製投石器中的不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度來進行布標靶投準比賽。

四、研究實驗：

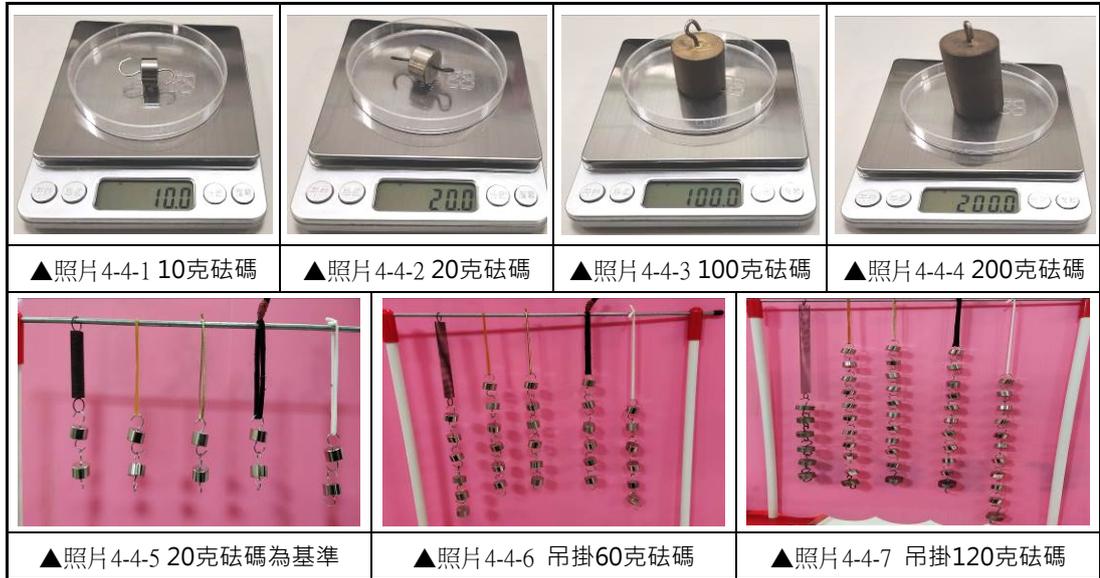
- (一)實驗一：不同彈力的物品所拋出的乒乓球，其落地的距離有什麼不同？

實驗一-1：測量不同彈力物品的伸長量。

1.實驗步驟：

- (1)將各種不同彈力的物品吊掛於實驗支架上。
- (2)每種彈力物品依次掛上砝碼，由20克為基準開始逐次增加20克至300克。
- (3)逐次測量彈力物品的長度並計算各彈力物品的伸長量且做成紀錄。

2.實驗照片：



實驗一-2：測量不同彈力的物品所拋出乒乓球落地的距離。

- ◎控制變因：基台高度、拋出物(乒乓球)、投擲桿角度、彈力臂長、投擲臂長。
- ◎操作變因：彈力(彈簧、彈力包裝繩、橡皮筋、彈力髮圈、口罩彈力繩)。
- ◎實驗裝置示意圖：

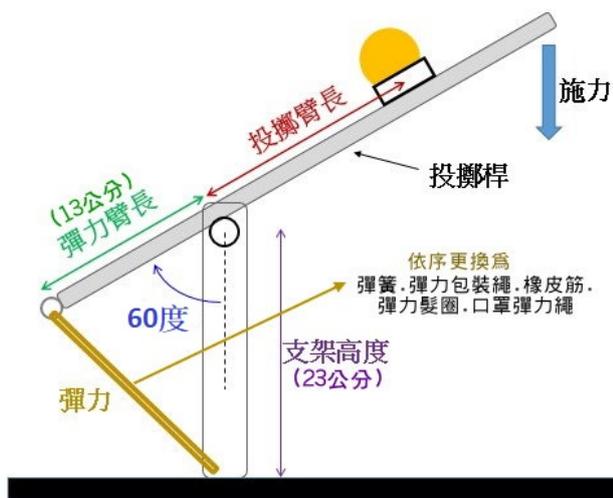


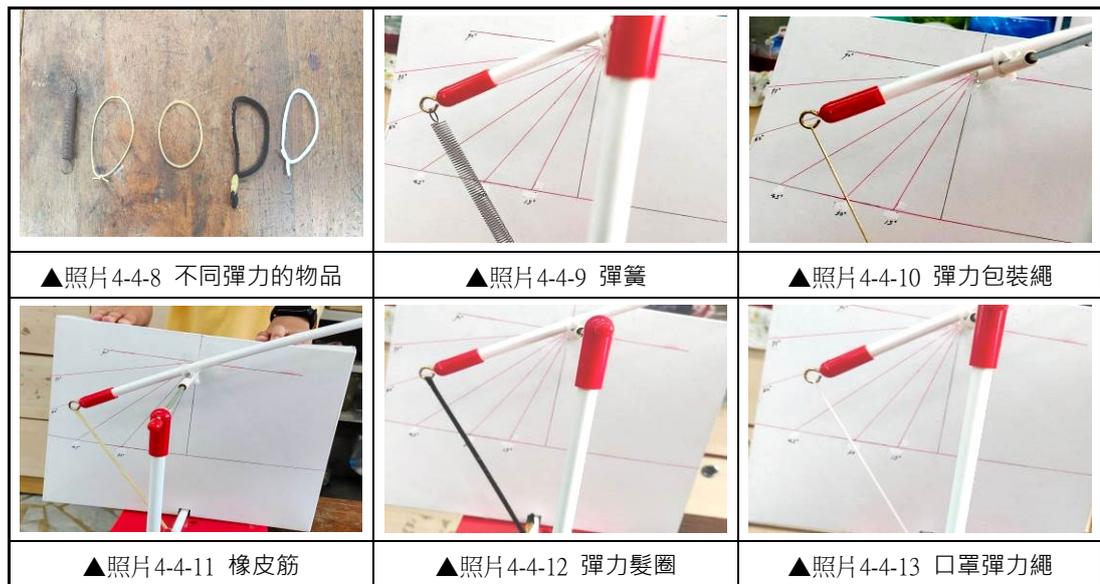
圖 4-4-1 實驗一-2裝置示意圖

1.實驗步驟：

- (1)利用餅乾紙盒自製一個「角度器」，標記30度、45度、60度、75度、90度的線條。

- (2)將自製角度器裝置於投石器上。
- (3)將塑膠帆布平鋪於地面上，並將皮尺放在上面，以利乒乓球落地距離測量。
- (4)依序將具有不同彈力的物品掛在底盤和投擲桿掛勾上。
- (5)將乒乓球放置於投擲桿的飲料瓶蓋上。
- (6)將投擲桿棉線向下拉，使其角度成為60度。
- (7)放開投擲桿棉線，使乒乓球自然彈出、落地。
- (8)測量乒乓球落地的距離。
- (9)依序操作彈簧、彈力包裝繩、橡皮筋、彈力髮圈、口罩彈力繩五項物品，每項物品操作五次，並記錄乒乓球落地的距離。
- (10)做出結論。

2.實驗照片：



(二)實驗二：拋出物(乒乓球)的投擲桿角度不同，其落地的距離有什麼不同？

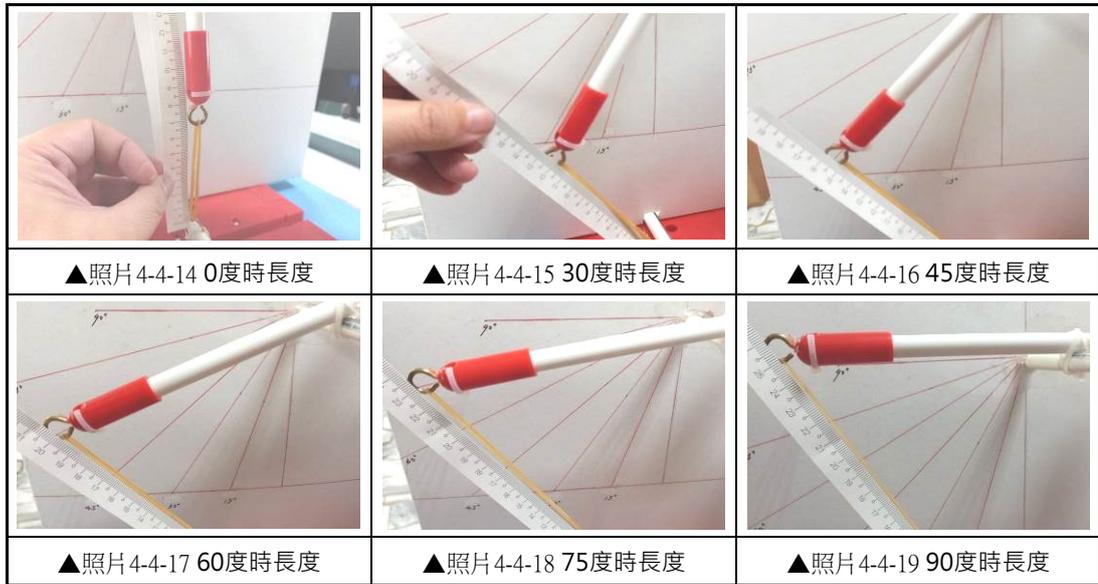
實驗二-1：投擲桿角度與橡皮筋伸長量的關係。

1.實驗步驟：

- (1)將自製角度器裝置於投石器上。
- (2)將橡皮筋掛在底盤和投擲桿掛勾上。
- (3)測量0度時橡皮筋的長度。
- (4)依序測量30度、45度、60度、75度、90度時橡皮筋的長度。

(5)計算30度、45度、60度、75度、90度時橡皮筋的伸長量並記錄之。

2.實驗照片：



實驗二-2：測量不同的投擲桿角度(橡皮筋伸長量)所拋出乒乓球落地的距離。

◎控制變因：基台高度、拋出物(乒乓球)、彈力、彈力臂長、投擲臂長。

◎操作變因：投擲桿角度(30度、45度、60度、75度、90度)。

橡皮筋伸長量(4.8cm、8.2 cm、12.8 cm、15.9 cm、18.1 cm)

◎實驗裝置示意圖：

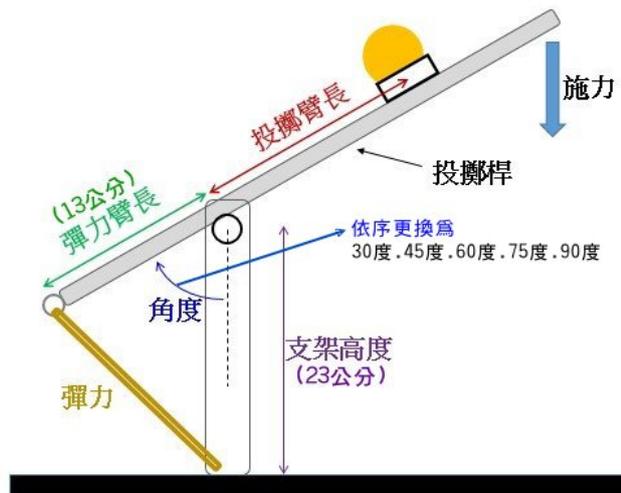


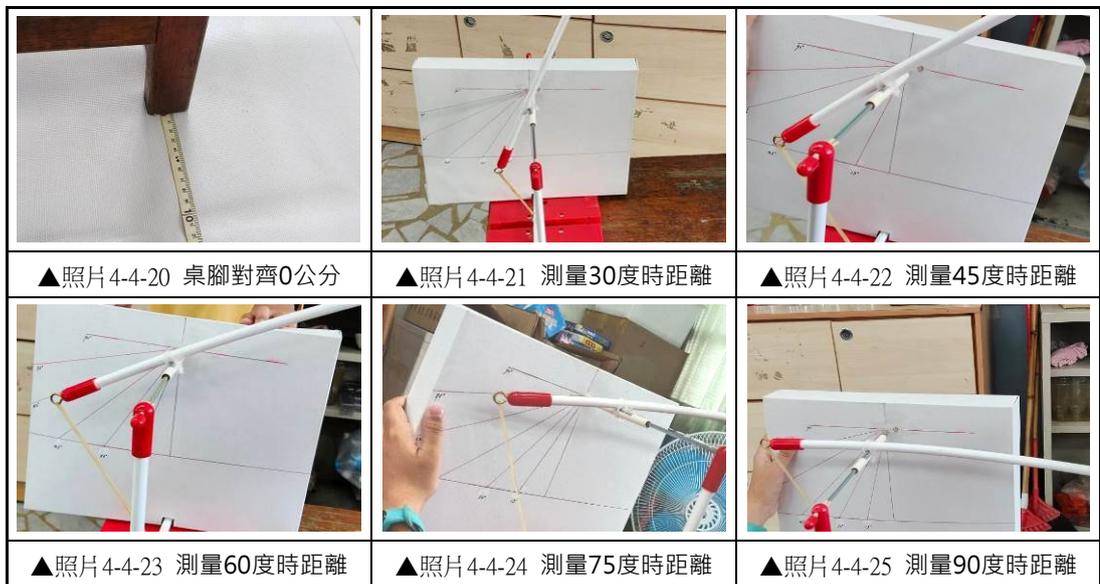
圖 4-4-2 實驗二-2裝置示意圖

1.實驗步驟：

(1)將自製角度器裝置於投石器上。

- (2)將兩條橡皮筋掛在底盤和投擲桿掛勾上。
- (3)將乒乓球放置於投擲桿的飲料瓶蓋上。
- (4)將投擲桿棉線向下拉，依序使其角度成為30度、45度、60度、75度、90度。
- (5)放開投擲桿棉線，使乒乓球自然彈出、落地。
- (6)測量乒乓球落地的距離。
- (7)每種角度操作五次，並記錄乒乓球落地的距離。
- (8)做出結論。

2.實驗照片：



(三)實驗三：投擲臂長度不同，其落地的距離有什麼不同？

◎控制變因：基台高度、拋出物(乒乓球)、彈力、投擲桿角度、彈力臂長。

◎操作變因：投擲臂長度(6.5cm、13cm、19.5cm、26cm、32.5cm)。

◎實驗裝置示意圖：

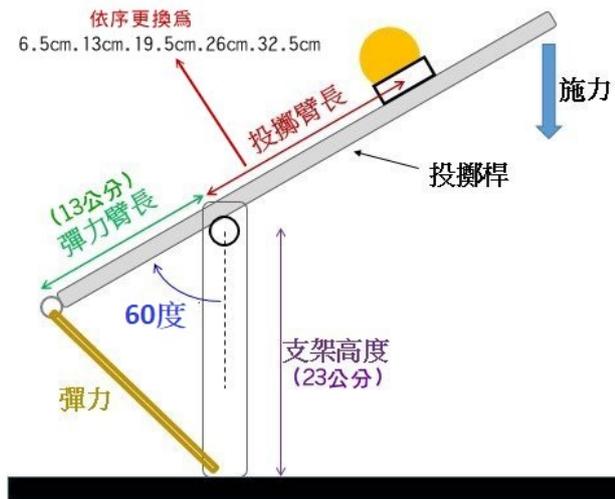


圖 4-4-3 實驗三裝置示意圖

1. 實驗步驟：

- (1) 在投擲桿拋出物一側量測出彈力臂長的0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)並用簽字筆標示記號。
- (2) 將兩條橡皮筋掛在底盤和投擲桿掛勾上。
- (3) 依序將飲料瓶蓋黏貼在投擲臂長6.5cm、13cm、19.5cm、26cm、32.5cm記號的位置。
- (4) 將乒乓球放置於投擲桿的飲料瓶蓋上。
- (5) 將投擲桿棉線向下拉，使其角度成60度。
- (6) 放開投擲桿棉線，使乒乓球自然彈出、落地。
- (7) 測量乒乓球落地的距離。
- (8) 每種拋出物的力臂長度操作五次，並記錄乒乓球落地的距離。
- (9) 做出結論。

2. 實驗照片：





(四)實驗四：改變彈力、投擲桿角度、投擲臂長度進行相互交叉實驗，並比較其所拋出的黏黏球距離差異。

實驗四-1：投擲桿角度(橡皮筋伸長量)與拉力的關係。

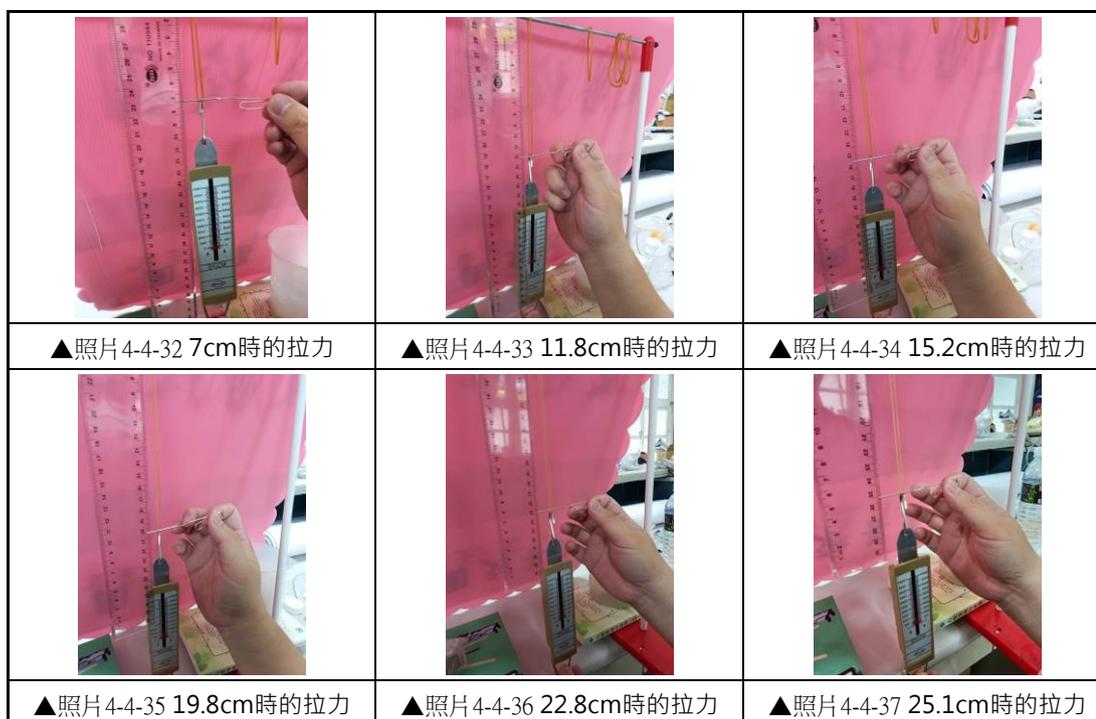
1.實驗步驟：

(1)將數條橡皮筋(至少6條)吊掛於實驗支架上。

(2)依實驗二-1所測得30度、45度、60度、75度、90度的長度當作測量拉力之數據。

(3)使用3kg的彈簧秤依序測量11.8cm、15.2cm、19.8cm、22.8cm、25.1cm的拉力，並做成紀錄。

1.實驗照片：



實驗四-2：彈力：1條橡皮筋。

投擲臂長度：0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)。

實驗裝置示意圖：

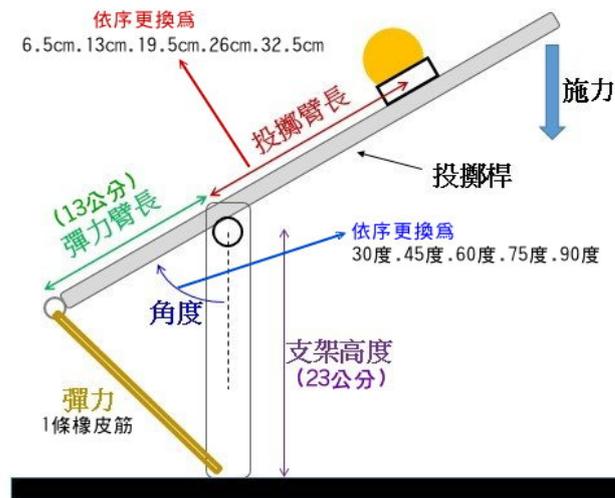


圖 4-4-4 實驗四-2裝置示意圖

1. 實驗步驟：

- (1) 將橡皮筋掛在底盤和投擲桿掛勾上。
- (2) 在地面鋪上塑膠帆布及毛衣。
- (3) 將黏黏球放置於投擲桿的剖半乒乓球上。
- (4) 將投擲桿棉線向下拉，依序使投擲桿角度為30度、45度、60度、75度、90度；並依投擲臂長度0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)依序改變。
- (5) 放開投擲桿棉線，使黏黏球自然彈出、落在地面的毛衣上。
- (6) 測量黏黏球落地的距離。
- (7) 每種組合各操作三次，並記錄黏黏球落地的距離。

2. 實驗照片：



1 條橡皮筋					
力臂 角度	0.5倍(6.5cm)	1倍(13cm)	1.5倍(19.5cm)	2倍(26cm)	2.5倍(32.5cm)
30度					
45度					
60度					
75度					
90度					

實驗四-3：彈力：2條橡皮筋。

投擲臂長度：0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)。

實驗裝置示意圖：

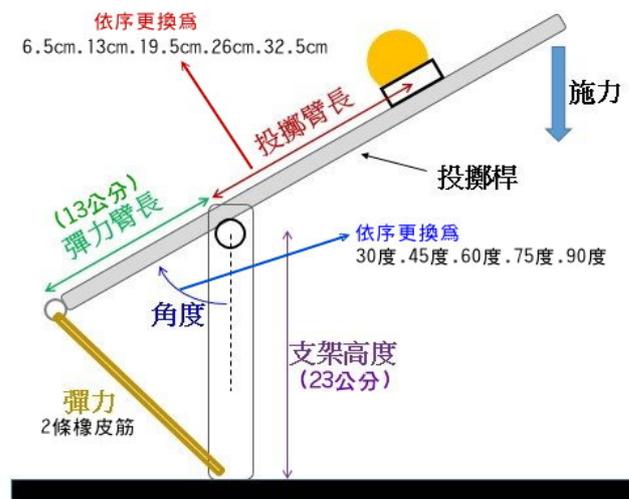


圖 4-4-5 實驗四-3裝置示意圖

1. 實驗步驟：

- (1) 將橡皮筋掛在底盤和投擲桿掛勾上。
- (2) 在地面鋪上塑膠帆布及毛衣。
- (3) 將黏黏球放置於投擲桿的剖半乒乓球上。
- (4) 將投擲桿棉線向下拉，依序使投擲桿角度為30度、45度、60度、75度、90度；並

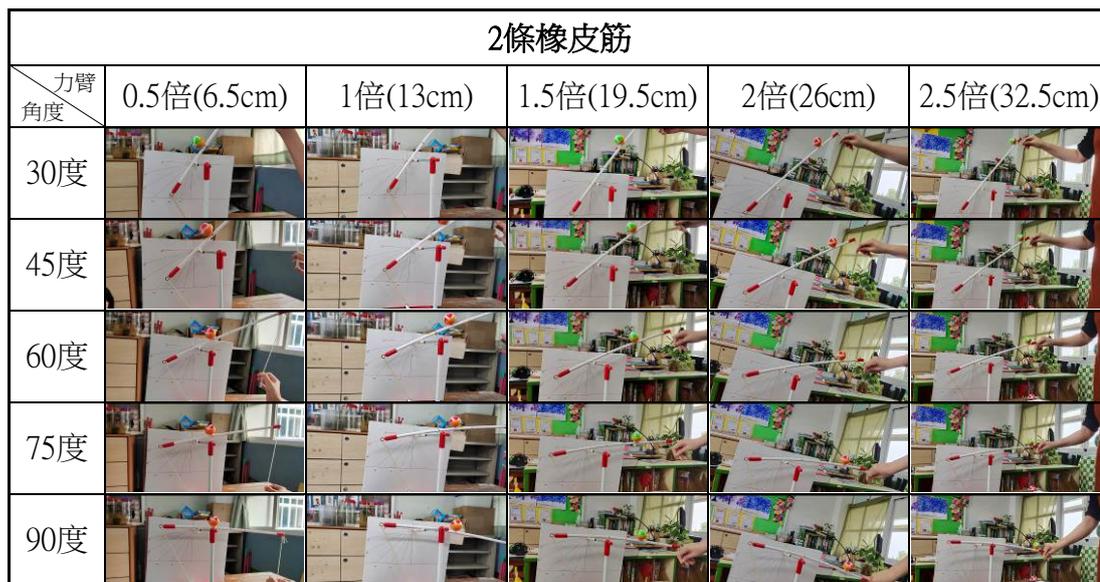
依投擲臂長度為0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)依序做改變。

(5)放開投擲桿棉線，使黏黏球自然彈出、落在地面的毛衣上。

(6)測量黏黏球落地的距離。

(7)每種組合各操作三次，並記錄黏黏球落地的距離。

2.實驗照片：



實驗四-4：彈力：3條橡皮筋。

投擲臂長度：0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)。

實驗裝置示意圖：

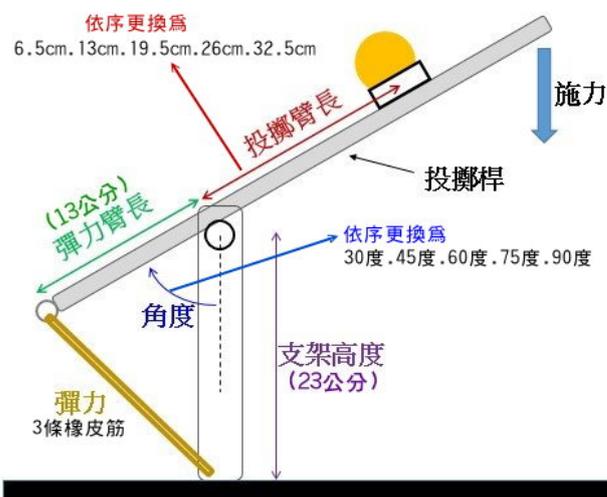
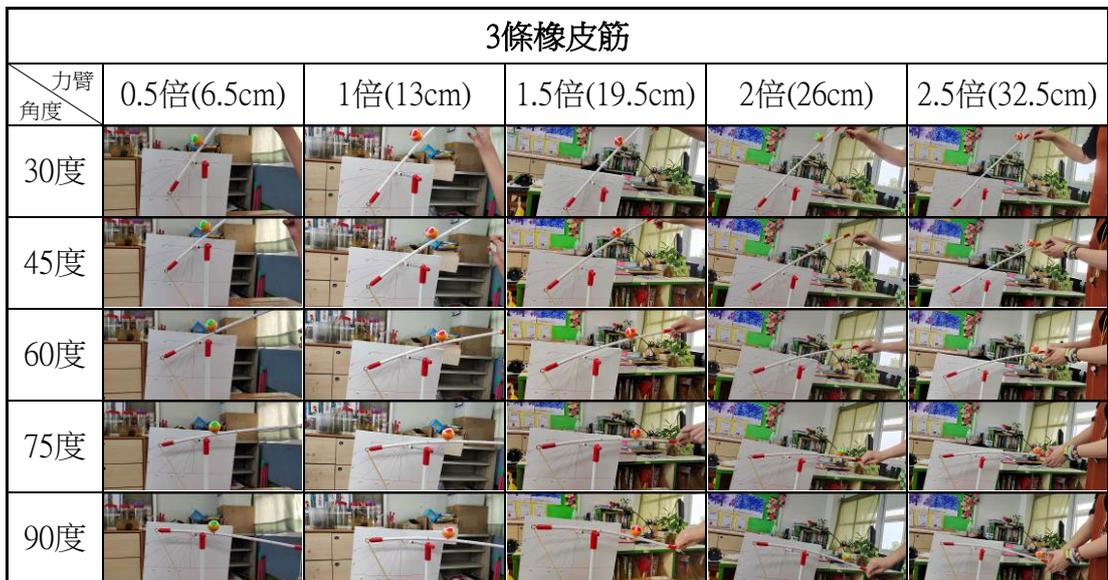


圖 4-4-6 實驗四-4裝置示意圖

1.實驗步驟：

- (1)將橡皮筋掛在底盤和投擲桿掛勾上，並在地面鋪上塑膠帆布及毛衣。
- (2)將黏黏球放置於投擲桿的剖半乒乓球上。
- (3)將投擲桿棉線向下拉，依序使投擲桿角度為30度、45度、60度、75度、90度；並依投擲臂長度為0.5倍(6.5 cm)、1倍(13 cm)、1.5倍(19.5cm)、2倍(26cm)、2.5倍(32.5cm)依序做改變。
- (4)放開投擲桿棉線，使黏黏球自然彈出、落在地面的毛衣上。
- (5)測量黏黏球落地的距離。
- (6)每種組合各操作三次，並記錄黏黏球落地的距離。

2.實驗照片：



(五)實驗五：使用不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度組合來進行布標靶投準。

1.實驗步驟：

- ◎設定距離：100公分、200公分、300公分。
- ◎彈力、投擲桿角度、投擲臂長度組合(01)~(12)。

預設投擲距離	100cm				200cm				300cm			
橡皮筋數	1	2	2	3	1	2	2	3	2	2	3	3
投擲桿角度	60度	37.5度	45度	68度	75度	49度	60度	63度	67.5度	60度	64度	90度
投擲臂長	21cm	26cm	22.5cm	13cm	31cm	32.5cm	27.5cm	26cm	32.5cm	31.5cm	32.5cm	28cm
組合模組	組合01	組合02	組合03	組合04	組合05	組合06	組合07	組合08	組合09	組合10	組合11	組合12

◎實驗裝置示意圖：

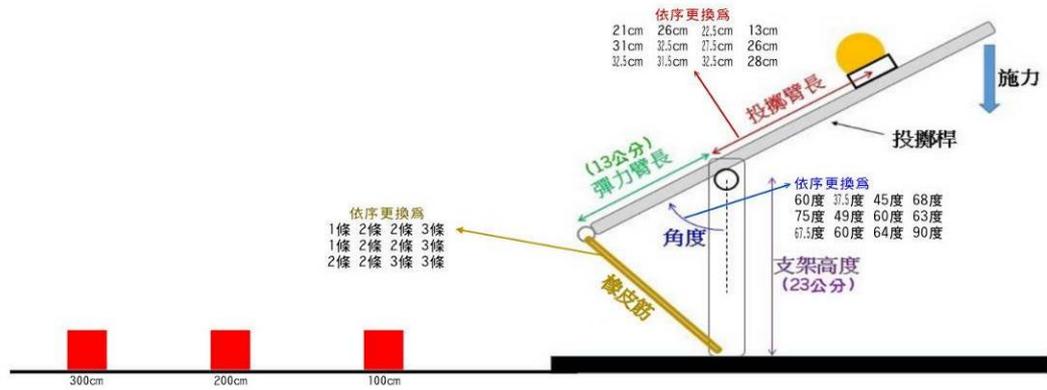
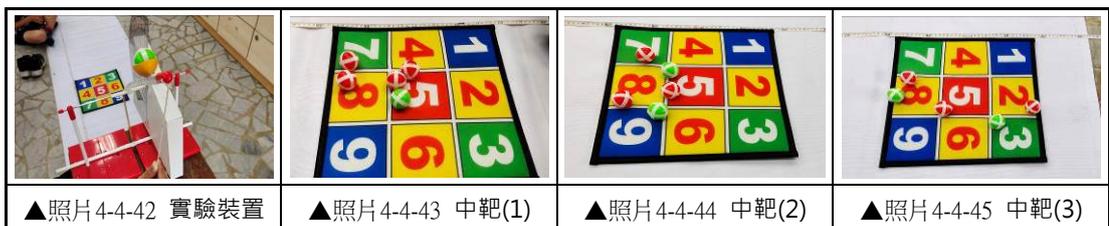


圖 4-4-7 實驗五裝置示意圖

- (1)利用實驗四-2結果的六張折線圖，找出100公分、200公分、300公分的各種組合模組，然後在三種距離(100公分、200公分、300公分)中各挑選出四種模組(如上表所示)來進行實驗操作。
- (2)在地面鋪上塑膠帆布並放上布標靶(36cm×36cm)，使其中心依序分別對齊100公分、200公分、300公分處。
- (3)依照上表組合模組01~12調整橡皮筋數量、投擲桿角度、投擲臂長度。
- (4)放開投擲桿棉線，使黏黏球自然彈出、落在地面。
- (5)每種組合模組各操作五次，並記錄黏黏球是否命中布標靶，並做出結論。

2.實驗照片：



組合01	組合02	組合03	組合04	100公分
組合05	組合06	組合07	組合08	200公分
組合09	組合10	組合11	組合12	300公分

伍、研究結果

一、在自製投石器中，使用不同彈力的物品所拋出的乒乓球，其落地的距離有什麼不同？

(一)實驗結果：

(1)依照實驗步驟來測量不同彈力物品的伸長量，將實驗結果整理如下：

表 5-1-1 不同彈力物品的伸長量紀錄表

物 品 吊掛重量	彈 簧	彈力包裝繩	橡皮筋	彈力髮圈	口罩彈力繩
20g	0.0 cm	0.0 cm	0.0 cm	0.0 cm	0.0 cm
40g	1.8 cm	0.2 cm	0.4 cm	0.4 cm	1.4 cm
60g	4.4 cm	0.3 cm	0.8 cm	0.6 cm	2.9 cm
80g	6.7 cm	0.5 cm	1.2 cm	0.8 cm	4.9 cm
100g	9.2 cm	0.6 cm	1.6 cm	1.2 cm	6.1 cm
120g	12.0 cm	0.6 cm	2.0 cm	1.6 cm	6.4 cm
140g	14.5 cm	0.6 cm	2.4 cm	2.3 cm	6.7 cm
160g	16.7 cm	0.6 cm	2.8 cm	3.3 cm	6.7 cm
180g	19.2 cm	0.6 cm	3.0 cm	3.3 cm	6.7 cm
200g	21.5 cm	0.6 cm	3.6 cm	3.3 cm	6.7 cm
220g	24.2 cm	0.6 cm	4.0 cm	3.3 cm	6.7 cm
240g	27.0 cm	0.6 cm	4.4 cm	3.3 cm	6.7 cm
260g	29.2 cm	0.6 cm	4.8 cm	3.3 cm	6.7 cm
280g	31.7 cm	0.6 cm	5.2 cm	3.3 cm	6.7 cm
300g	34.2 cm	0.6 cm	5.6 cm	3.3 cm	6.7 cm

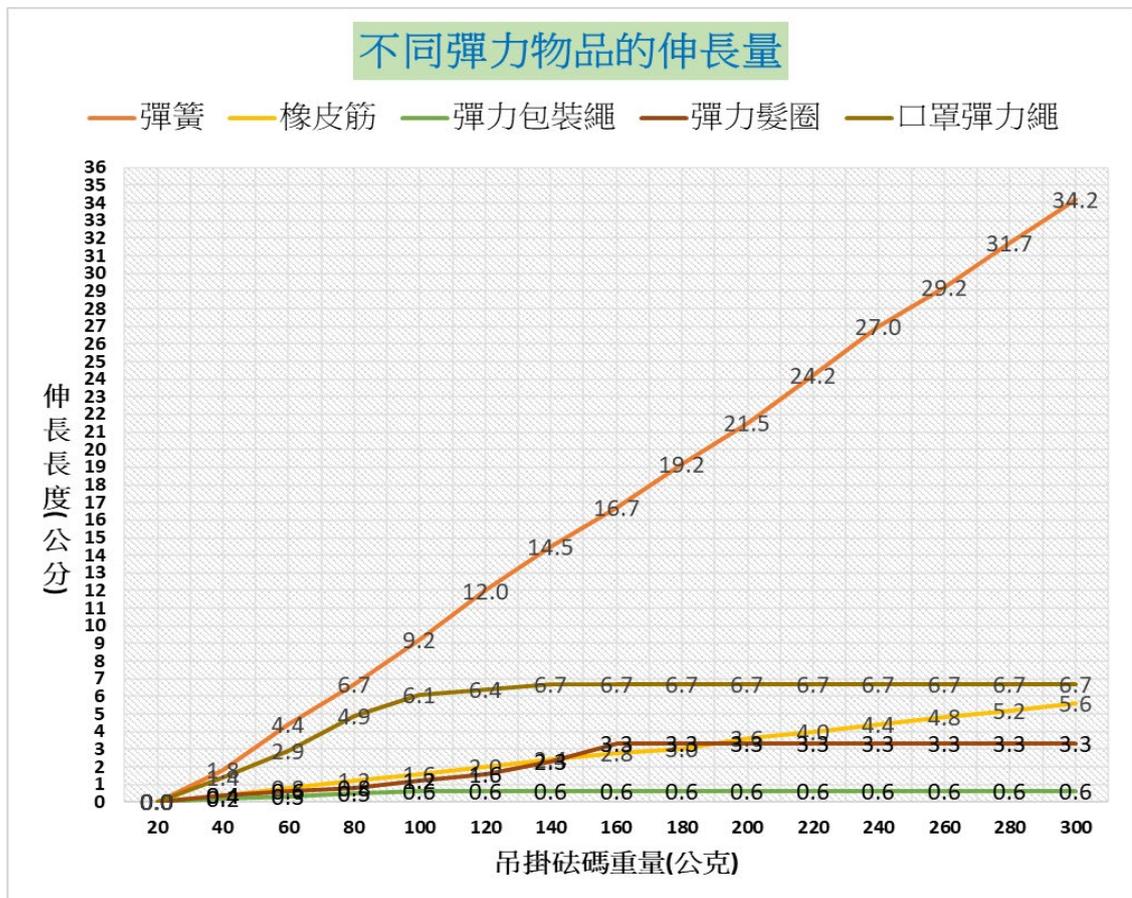


圖 5-1-1 不同彈力物品的伸長量折線圖

(2)在自製投石器中，使用不同彈力的物品(彈簧、彈力包裝繩、橡皮筋、彈力髮圈、口罩彈力繩)，依照實驗步驟，分別量測出乒乓球擲出的落地距離，將實驗結果整理如下：

表 5-1-2 不同彈力的物品所拋出距離紀錄表(投擲桿角度=60度)

物 品	彈 簧	彈力包裝繩	橡皮筋	彈力髮圈	口罩彈力繩
第1次投擲距離	34 cm	42 cm	39 cm	37 cm	20 cm
第2次投擲距離	34 cm	44 cm	40 cm	37 cm	22 cm
第3次投擲距離	36 cm	40 cm	39 cm	35 cm	19 cm
第4次投擲距離	35 cm	43 cm	39 cm	36 cm	18 cm
第5次投擲距離	34 cm	45 cm	41 cm	38 cm	19 cm
投擲距離合計	173 cm	214 cm	198 cm	183 cm	98 cm
平均投擲距離	34.6 cm	42.8 cm	39.6 cm	36.6 cm	19.6 cm

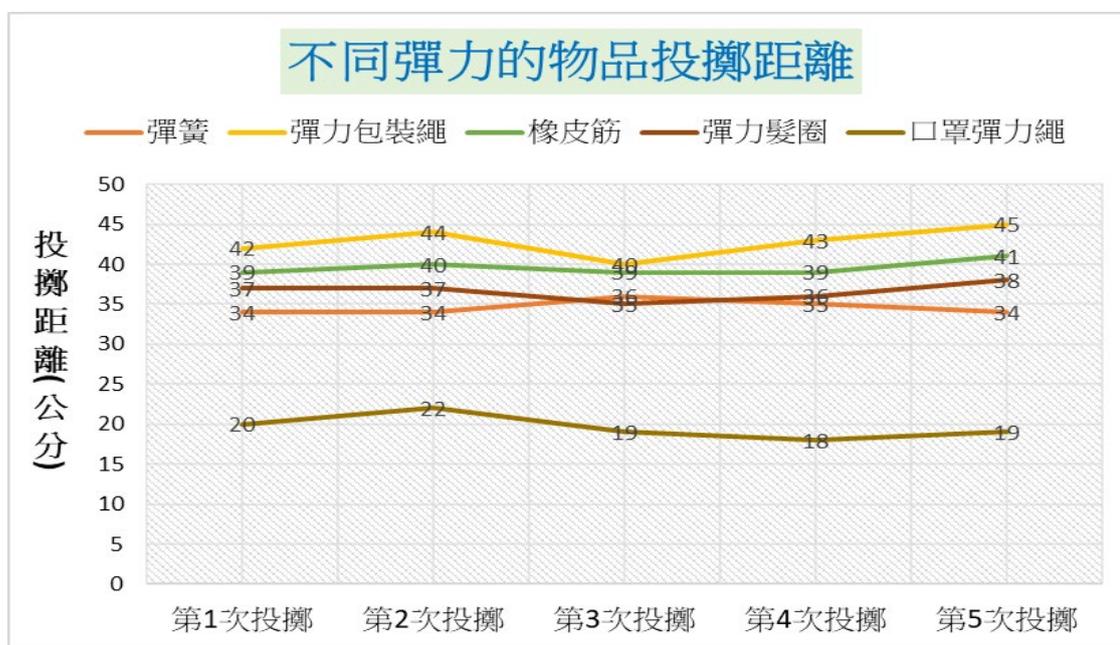


圖 5-1-2 不同彈力的物品所拋出距離折線圖(投擲桿角度=60度)

(二)結果說明：

- 1.不同彈力的物品其伸長量不同。
- 2.彈簧和橡皮筋吊掛300g砝碼後仍持續伸長，彈力包裝繩吊掛100g砝碼後就不再伸長；彈力髮圈吊掛160g砝碼後就不再伸長；口罩彈力繩吊掛140g砝碼後就不再伸長。
- 3.同一物品每次投擲的距離不一定相同。
- 4.不同彈力的物品所投擲出的距離不同，投擲出的距離依遠近排列依序為**彈力包裝繩** > **橡皮筋** > **彈力髮圈** > **彈簧** > **口罩彈力繩**。

二、在自製投石器中，使拋出物(乒乓球)的投擲桿角度不同，其落地的距離有什麼不同？

(一)實驗結果：

(1)依實驗步驟，測量投擲桿角度不同時，其橡皮筋伸長量結果整理如下：

表 5-2-1 不同投擲桿角度測得橡皮筋伸長量紀錄表

投擲桿角度	0度	30度	45度	60度	75度	90度
橡皮筋總長度	7 cm	11.8 cm	15.2cm	19.8 cm	22.9 cm	25.1 cm
橡皮筋伸長量	0 cm	4.8 cm	8.2 cm	12.8 cm	15.9 cm	18.1cm

(2)在自製投石器中，使拋出物(乒乓球)的投擲桿角度不同(30度、45度、60度、75度、90度)，依照實驗步驟，分別量測出乒乓球擲出的落地距離，將實驗結果整理如下：

表 5-2-2 不同投擲桿角度所拋出距離紀錄表

投擲桿角度	30度	45度	60度	75度	90度
第1次投擲距離	111 cm	165 cm	220 cm	316 cm	443 cm
第2次投擲距離	108 cm	168 cm	225 cm	310 cm	442 cm
第3次投擲距離	106 cm	165 cm	226 cm	315 cm	438 cm
第4次投擲距離	104 cm	160 cm	230 cm	318 cm	435 cm
第5次投擲距離	107 cm	158 cm	228 cm	310 cm	440 cm
投擲距離合計	536 cm	816 cm	1129 cm	1569 cm	2198 cm
平均投擲距離	107.2 cm	163.2 cm	225.8 cm	313.8 cm	439.6 cm

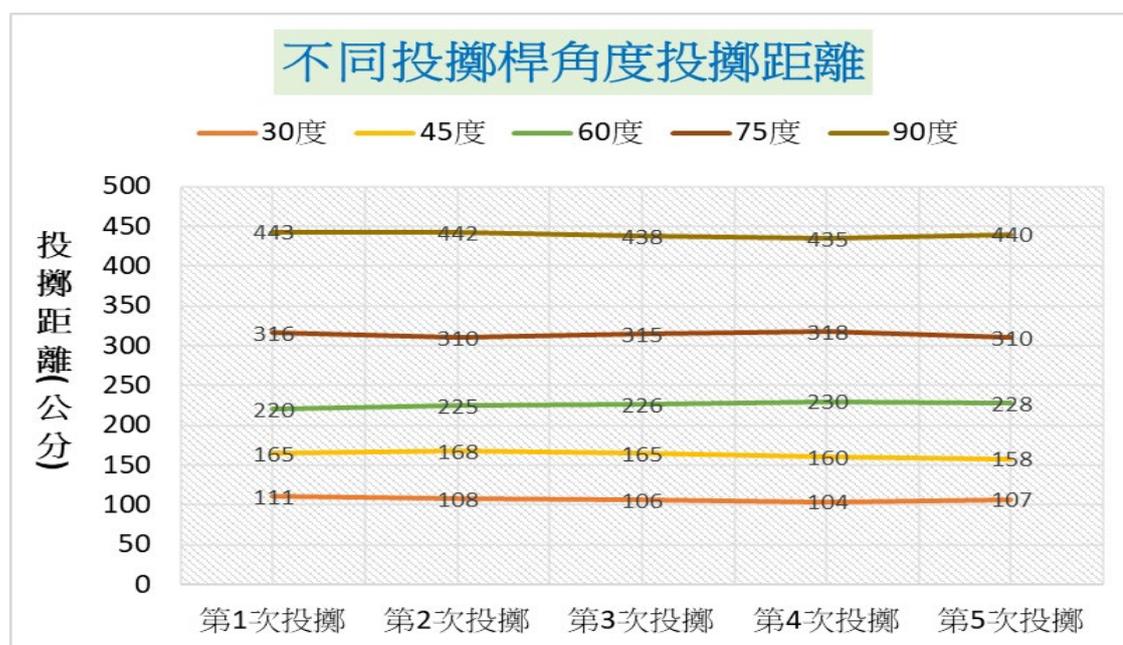


圖 5-2-1 不同投擲桿角度所拋出距離折線圖

(二)結果說明：

1.投擲桿角度不同時，橡皮筋伸長量也不同。

2.投擲桿角度與橡皮筋伸長後總長度是固定的，與使用哪一種彈力物品無關。

3.相同投擲桿角度每次投擲的距離不一定相同。

4.不同投擲桿角度所投擲出的距離不同，投擲出距離依遠近排列依序為90度>75度>60度>45度>30度。

三、在自製投石器中，使投擲臂長度不同，其落地的距離有什麼不同？

(一)實驗結果：

在自製投石器中，使投擲臂長度不同(6.5cm、13cm、19.5cm、26cm、32.5cm)，依照實驗步驟，分別量測出乒乓球擲出的落地距離，將實驗結果整理如下：

表 5-3-1 不同投擲臂長度所拋出距離紀錄表(投擲桿角度=60度)

投擲臂長度	6.5cm	13cm	19.5cm	26cm	32.5cm
第1次投擲距離	55 cm	116 cm	160 cm	228 cm	264 cm
第2次投擲距離	58 cm	115 cm	160 cm	225 cm	263 cm
第3次投擲距離	57 cm	113 cm	158 cm	226 cm	265 cm
第4次投擲距離	58 cm	113 cm	158 cm	226 cm	265 cm
第5次投擲距離	56 cm	116 cm	159 cm	227 cm	267 cm
投擲距離合計	284 cm	573 cm	795 cm	1132 cm	1324 cm
平均投擲距離	56.8 cm	114.6 cm	159 cm	226.4 cm	264.8 cm

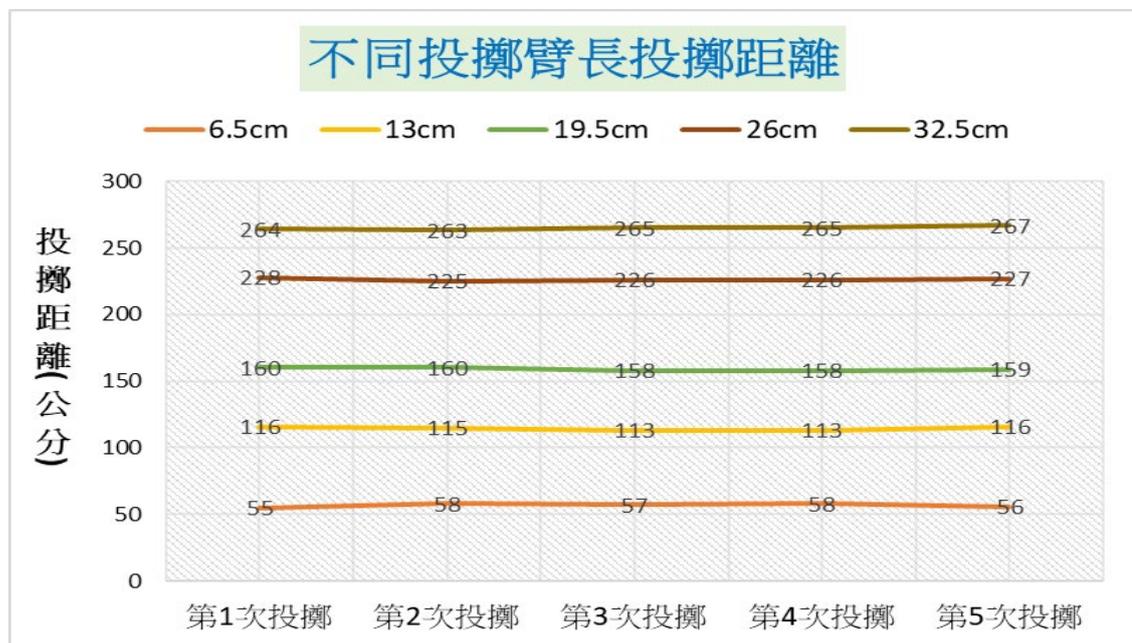


圖 5-3-1 不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(投擲桿角度=60度)

(二)結果說明：

1.固定相同投擲臂長度時，每次投擲的距離不一定相同。

2.改變不同投擲臂長度時，所投擲出的距離不同，投擲出距離依遠近排列依序為32.5cm>26cm>19.5cm>13cm>6.5cm。

四、改變彈力、投擲桿角度、投擲臂長度，在自製投石器中來進行相互交叉實驗，並比較其所拋出的黏黏球距離差異。

(一)實驗結果：

(1)依照實驗步驟，測量不同投擲桿角度(橡皮筋伸長量)與不同橡皮筋數量的拉力，將實驗結果整理如下：

表 5-4-1 投擲桿角度(橡皮筋伸長量)與拉力的關係紀錄表

橡皮筋數量	1 條橡皮筋	2 條橡皮筋	3 條橡皮筋
投擲桿角度(伸長量)			
30°(4.8cm)	100 g	500 g	650 g
45°(8.2cm)	200 g	650 g	850 g
60°(12.8cm)	300 g	750 g	1100 g
75°(15.9cm)	350 g	900 g	1450 g
90°(18.1cm)	450 g	1200 g	1850 g

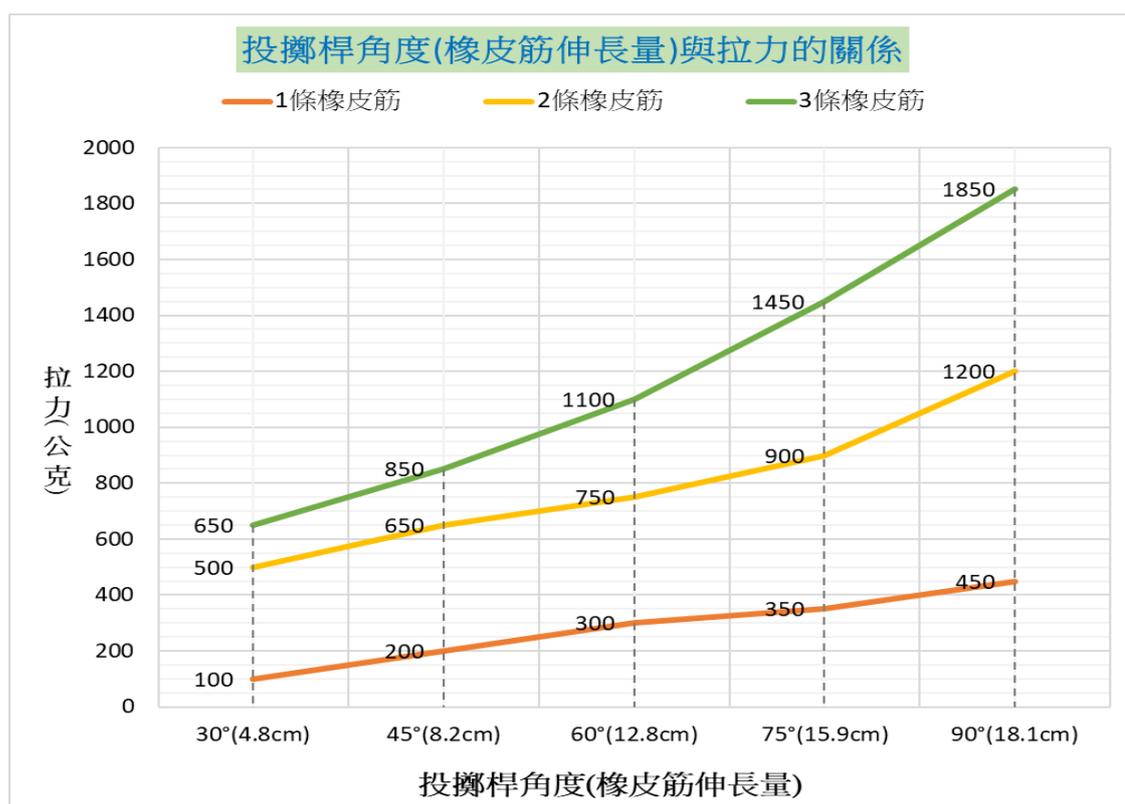


圖 5-4-1 投擲桿角度(橡皮筋伸長量)與拉力的關係折線圖

(2)改變彈力(1、2、3條橡皮筋)、投擲桿角度(30度、45度、60度、75度、90度)、投擲臂位置(6.5cm、13cm、19.5cm、26cm、32.5cm)，在自製投石器中來進行相互交叉實驗，依照實驗步驟，分別量測出黏黏球擲出的落地距離，得到平均數據，並將實驗結果整理如下：

表 5-4-2 一條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離紀錄表

1 條橡皮筋					
投擲臂 平均 距離 角度	0.5倍(6.5cm)	1倍(13cm)	1.5倍(19.5cm)	2倍(26cm)	2.5倍(32.5cm)
30度	22 cm	34 cm	60 cm	76 cm	92 cm
45度	29 cm	44 cm	82 cm	89 cm	119 cm
60度	34 cm	59 cm	93 cm	133 cm	161 cm
75度	37 cm	65 cm	95 cm	135 cm	214 cm
90度	51 cm	75 cm	105 cm	162 cm	232 cm

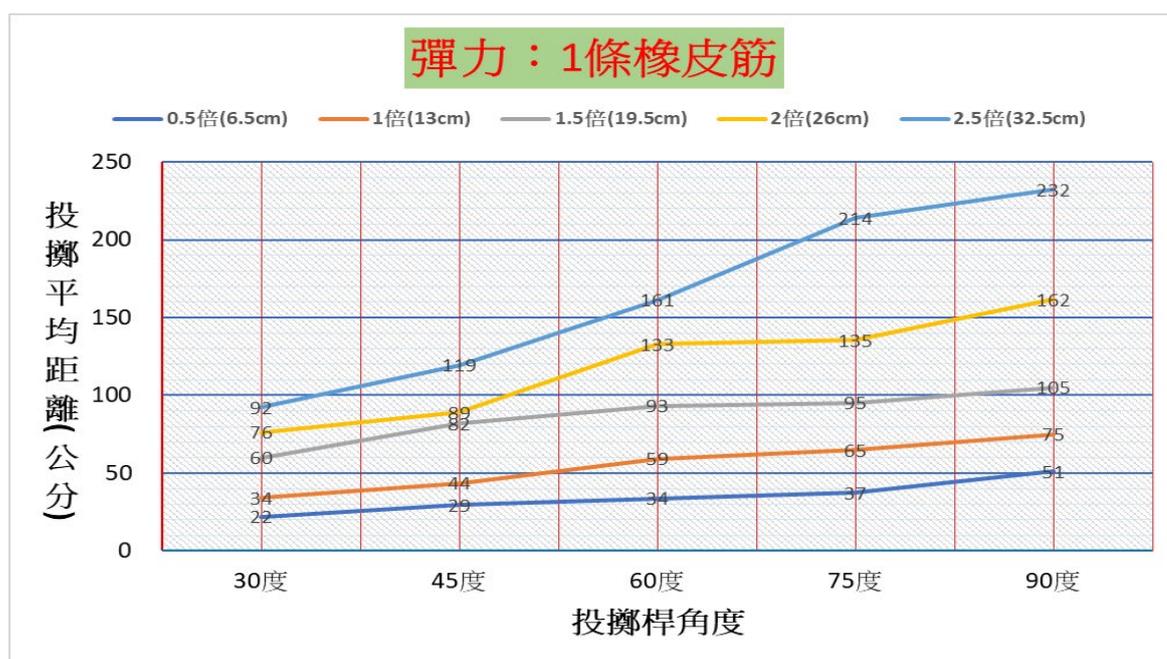


圖 5-4-2 一條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(一)

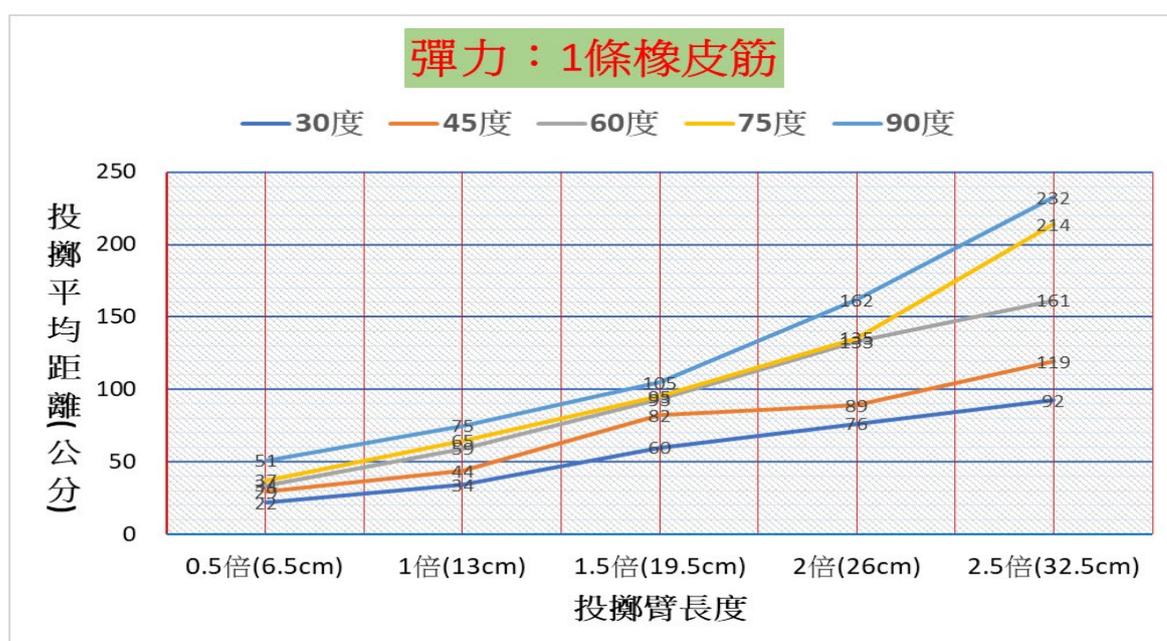


圖 5-4-3 一條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(二)

表 5-4-3 二條橡皮筋與不同投擲桿角度及投擲臂長度所拋出距離紀錄表

2 條橡皮筋					
投擲臂 平均 角度 距離	0.5倍(6.5cm)	1倍(13cm)	1.5倍(19.5cm)	2倍(26cm)	2.5倍(32.5cm)
30度	28 cm	47 cm	71 cm	88 cm	112 cm
45度	40 cm	60 cm	90 cm	112 cm	185 cm
60度	48 cm	72 cm	113 cm	169 cm	277 cm
75度	57 cm	86 cm	138 cm	185 cm	327 cm
90度	65 cm	101 cm	161 cm	294 cm	396 cm

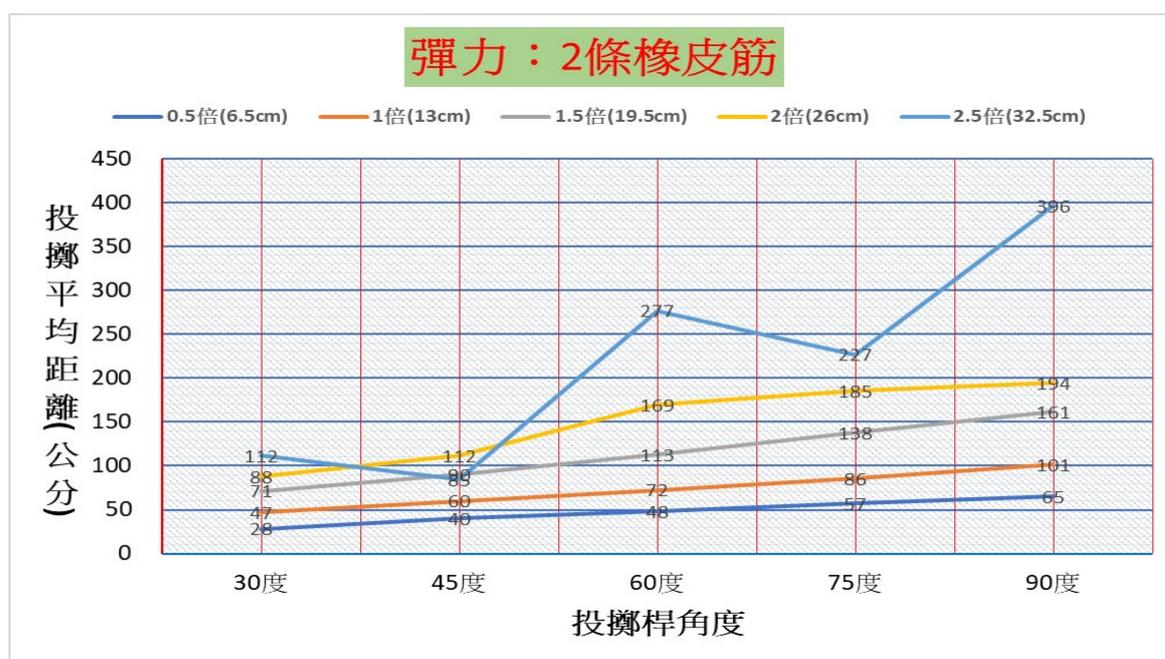


圖 5-4-4 二條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(一)

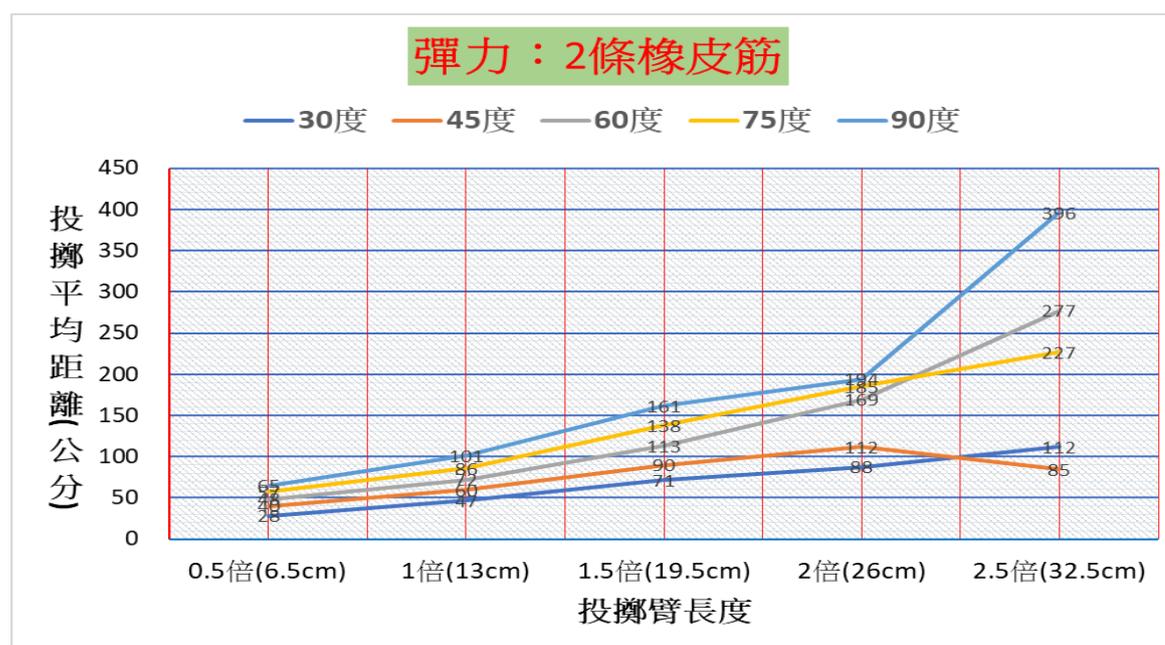


圖 5-4-5 二條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(二)

表 5-4-4 三條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離紀錄表

3 條橡皮筋					
投擲臂 平均 角度 距離	0.5倍(6.5cm)	1倍(13cm)	1.5倍(19.5cm)	2倍(26cm)	2.5倍(32.5cm)
30度	35 cm	58 cm	88 cm	103 cm	130 cm
45度	46 cm	75 cm	101 cm	169 cm	207 cm
60度	54 cm	82 cm	122 cm	198 cm	285 cm
75度	68 cm	116 cm	138 cm	211 cm	346 cm
90度	79 cm	122 cm	203 cm	231 cm	436 cm

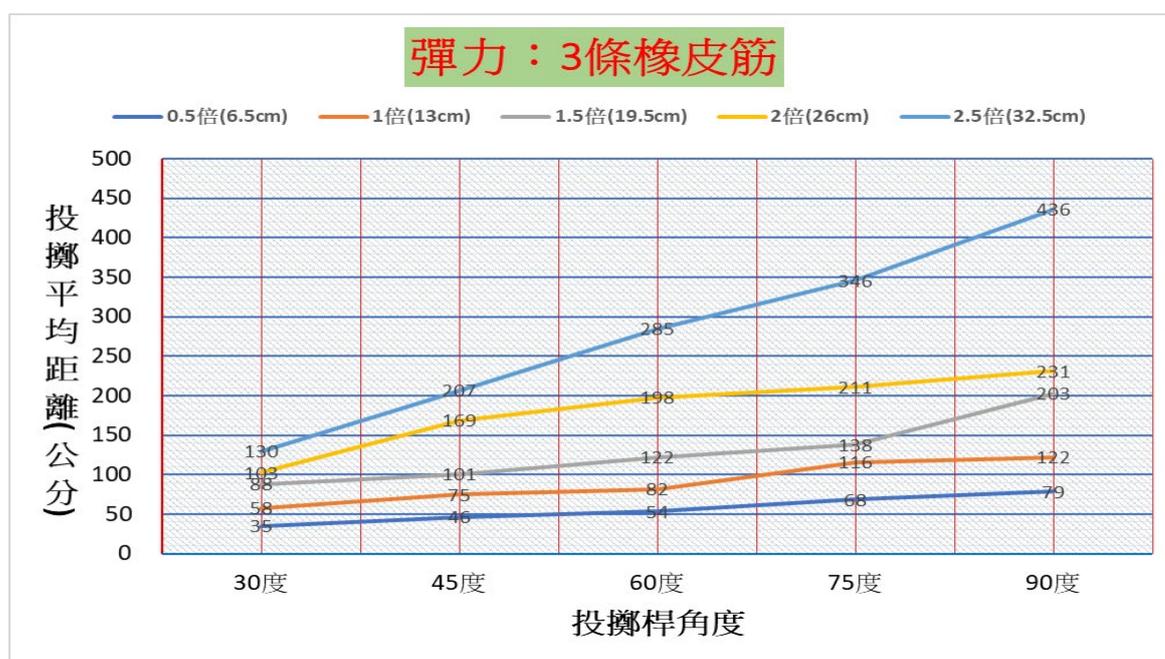


圖 5-4-6 三條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(一)

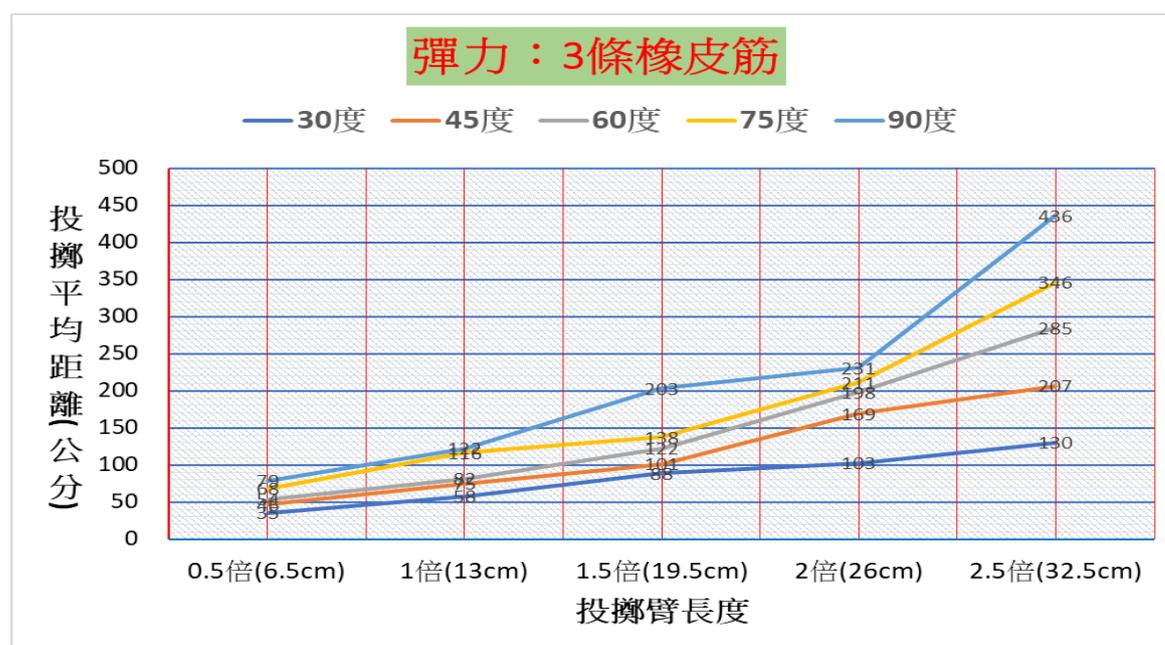


圖 5-4-7 三條橡皮筋與不同投擲桿角度及不同投擲臂長度所拋出距離折線圖(二)

(二)結果說明：

- 1.投擲桿角度(橡皮筋伸長量)越大，其拉力也就越大。
- 2.橡皮筋的數量越多，則拉力也越大，但其關係並非成正比。
- 3.依據實驗的結果得知：橡皮筋越多條(彈力越大)，所彈射的距離越遠；投擲桿的角度越大，所彈射的距離越遠；投擲臂長度越長，所彈射的距離越遠。
- 4.在相同條件下，大部分黏黏球所投擲的距離越相近，唯有在橡皮筋越多條、投擲桿的角度越大、投擲臂長度越長時，所呈現的距離相差較大。

五、在自製投石器中使用不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度等12種組合來進行布標靶投準測試。

(一)實驗結果：

我們利用實驗四-2 挑出 12 種不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度組合模組來進行布標靶(36cm×36cm)投準測試。若投出的黏黏球能夠準確落在布標靶的數字上，則紀錄其數字並且劃記為「○」，若沒有落在布標靶上，即劃記為「×」，每個組合模組投擲五次，將實驗結果整理如下表：

表 5-5-1 不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度等12種組合布標靶數字紀錄表

預設投擲距離	100公分				200公分				300公分			
	1	2	2	3	1	2	2	3	2	2	3	3
橡皮筋數	60度	37.5度	45度	68度	75度	49度	60度	63度	67.5度	60度	64度	90度
投擲桿角度	21cm	26cm	22.5cm	13cm	31cm	32.5cm	27.5cm	26cm	32.5cm	31.5cm	32.5cm	28cm
投擲臂長度	組合01	組合02	組合03	組合04	組合05	組合06	組合07	組合08	組合09	組合10	組合11	組合12
第1次投擲	5	4	5	5	5	2	3	3	2	5	5	2
第2次投擲	2	5	5	2	5	5	5	5	5	×	8	2
第3次投擲	2	5	5	5	4	5	6	5	5	2	7	5
第4次投擲	5	8	8	5	5	5	6	6	8	2	6	×
第5次投擲	5	4	3	3	7	2	5	8	2	5	6	3

表 5-5-2 不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度等12種組合布標靶投準紀錄表

預設投擲距離	100公分				200公分				300公分			
	1	2	2	3	1	2	2	3	2	2	3	3
橡皮筋數	60度	37.5度	45度	68度	75度	49度	60度	63度	67.5度	60度	64度	90度
投擲桿角度	21cm	26cm	22.5cm	13cm	31cm	32.5cm	27.5cm	26cm	32.5cm	31.5cm	32.5cm	28cm
投擲臂長度	組合01	組合02	組合03	組合04	組合05	組合06	組合07	組合08	組合09	組合10	組合11	組合12
第1次投擲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
第2次投擲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○
第3次投擲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
第4次投擲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
第5次投擲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(二)結果說明：

- 1.依據實驗的結果，發現總共投擲次數為60次，而命中布標靶的為58次，命中比例高達96.67%。而命中數字 5 (靶心)的有27次，命中比例也有45%，接近五成。
- 2.依據實驗的結果得知，在距離100公分和200公分時，命中布標靶的準確度是100%；而距離100公分時，命中數字 5 (靶心)的比例有55%；距離200公分時命中數字 5 (靶心)的比例也有50%；然而在距離300公分時，命中布標靶的比例只有86.67%；而命中數字 5 (靶心)的比例只有30%而已。

陸、討論

一、研究目的一：在自製投石器中使用具有不同彈力的物品所拋出的乒乓球，其落地的距離有什麼不同？

(一)具有不同彈力的物品很多，我們只採用五種日常生活中常見的物品來實驗。

(二)從表5-1-1中可以得知，不同彈力的物品其伸長量不同。彈簧和橡皮筋吊掛300g砝碼後仍持續伸長，彈力包裝繩吊掛100g砝碼後就不再伸長；彈力髮圈吊掛160g砝碼後就不再伸長；口罩彈力繩吊掛140g砝碼後就不再伸長。

(三)在表5-1-2中可以發現，雖然是同一種物品，但每次投擲的距離仍會有差異，其誤差可能來自於人為的操作或是實驗器材上不夠精緻。

(四)從圖5-1-2中可以得知，所投擲出距離依遠近排列依序為**彈力包裝繩** > **橡皮筋** > **彈力髮圈** > **彈簧** > **口罩彈力繩**，由此可知不同彈力的物品會影響到投擲的距離。

(五)從圖5-1-1的結果清楚知道，只有彈簧與橡皮筋可以算是線性彈性物體(伸長量與外力成正比)，且橡皮筋有較高的彈性係數。將線性彈性材料用於提供彈力，最大的優點是具備使用上較易精確控制輸出力量大小的特性。舉例來說，當口罩彈力繩伸長量為6.7公分時，我們根本無法判別此時其彈力為140克重或是300克重？數值顯然無專一性。這些很快發生彈性疲乏的彈性材料，自然不適合本實驗使用，因此經過大家討論之後，決定採用**橡皮筋**來當作實驗彈力。(見p7.實驗照片)

二、研究目的二：在自製投石器中改變拋出物(乒乓球)的投擲桿角度，其落地的距離有什麼不同？

- (一)從表5-2-1中可以得知，投擲桿角度不同時，橡皮筋伸長量也不同。
- (二)投擲桿角度與橡皮筋伸長後的總長度是固定的，與使用哪一種彈力物品無關。
- (三)投擲桿角度只設定五個角度，是因為投擲桿角度太小時，乒乓球無法彈出，所以我們設定從30度開始，但角度若超過90度，發現投擲桿彎曲太過嚴重，怕會影響實驗的結果。因此經過大家討論之後，決定從30度到90度為實驗的範圍，每15度為一個級距，設定30度、45度、60度、75度、90度五個角度當作實驗角度。從圖5-2-1中可以得知，所投擲出距離依遠近排列依序為90度>75度>60度>45度>30度，由此得知投擲桿的角度越大，所投出的距離也就越遠。
- (四)在表5-2-2中可以發現，雖然使用相同投擲桿角度投擲，但每次投擲的距離仍會有差異，其誤差可能來自於自製角度器並不精準或者是操作者量測角度時的偏差，以及其他人為操作上的失誤……等等。

三、研究目的三：在自製投石器中改變投擲臂長度，其落地的距離有什麼不同？

- (一)因受限於自製的投石器投擲桿長度已經固定，所以經過大家討論之後，決定以施力臂長度(13 cm)為基準，每0.5倍為一個級距，設定6.5cm、13cm、19.5cm、26cm、32.5cm五個長度當作實驗位置。從圖5-3-1中可以得知，所投擲出距離依遠近排列依序為32.5cm>26cm>19.5cm>13cm>6.5cm，由此得知投擲臂長度越長，所投出的距離也就越遠。
- (二)在表5-3-1中可以發現，雖然使用相同投擲臂長度，每次投擲的距離仍會有差異，其誤差可能來自於操作者黏貼飲料瓶蓋位置並不精確或者是操作者量測角度時的偏差，以及其他人為操作上的失誤……等等。

四、研究目的四：藉由彈力、投擲桿角度、投擲臂長度的不同，在自製投石器中來進行相互交叉實驗，希望找出可投擲固定距離的各種組合模組。

- (一)為因應布標靶投準的實驗，所以將拋出物由乒乓球改為黏黏球，同時因為黏黏球比乒乓球小一點，放置於飲料瓶蓋上容易掉落，所以改由半顆乒乓球放置座取代原來的飲料瓶蓋。(見p10.實驗照片)
- (二)投擲桿角度(橡皮筋伸長量)越大，其拉力也就越大。
- (三)橡皮筋的數量越多，則拉力也越大，但其關係並非成正比。

(四)在實驗中發現橡皮筋越多條，投擲桿會彎曲得更厲害，且實驗時較難控制角度，所以在彈力部分僅使用到三條橡皮筋為止。

(五)由表5-4-2、表5-4-3、表5-4-4三個表中可以發現，橡皮筋用越多條(彈力越大)所彈射的距離越遠；投擲桿的角度越大，所彈射的距離越遠；投擲臂越長，所彈射的距離越遠。而且在相同的條件下，大部分黏黏球所投擲的距離越相近，但在橡皮筋越多條、投擲桿的角度越大、投擲臂越長時，所呈現的距離誤差值較高。

(六)我們可以利用實驗結果所畫出的折線圖，在所設定的距離中找到所能對應的橡皮筋數量、投擲桿角度、投擲臂長度。(如下圖所示)

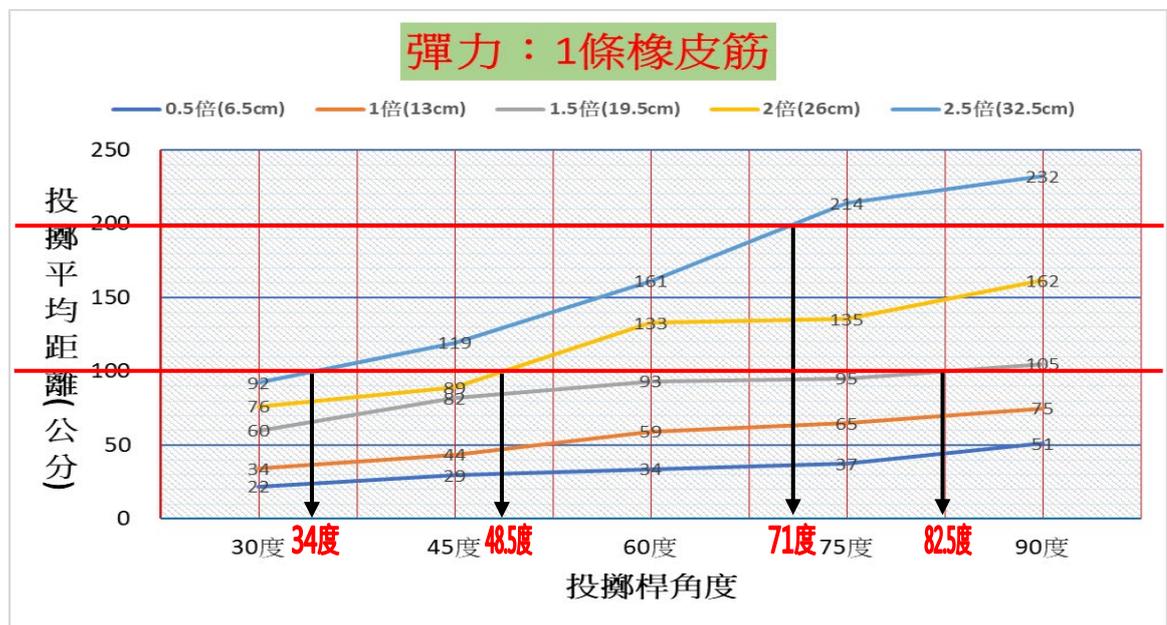


圖 6-4-1 相同距離對應的橡皮筋數量、投擲桿角度、投擲臂長度

投擲距離100公分所對應的是1條橡皮筋、19.5公分投擲臂長、82.5度投擲桿的角度；1條橡皮筋、26公分投擲臂長、48.5度投擲桿的角度；1條橡皮筋、32.5公分投擲臂長、34度投擲桿的角度等三種組合。投擲距離200公分所對應的是1條橡皮筋、32.5公分投擲臂長、71度投擲桿的角度一種組合。由上述方式，我們可以從圖5-4-2、圖5-4-3、圖5-4-4、圖5-4-5、圖5-4-6、圖5-4-7六個折線圖中任意組合成一個模組，但橡皮筋數量僅能選擇1或2或3條。

(七)由此可以得知，距離與橡皮筋數量、投擲桿角度、投擲臂長三者間有無數個的相對應組合模組，所以經過大家討論之後，我們設定投擲黏黏球落地距離為100公分、200公分、300公分三種距離，並從圖5-4-2、圖5-4-3、圖5-4-4、圖5-4-5、圖5-4-6、

圖5-4-7六個折線圖找出各種組合模組。接著再從這些組合模組中挑選出每種距離4個組合模組，共12個組合模組。(如下表所示)

表 6-4-1 12種組合模組

設定投擲距離	100cm				200cm				300cm			
橡皮筋數	1	2	2	3	1	2	2	3	2	2	3	3
投擲桿角度	60度	37.5度	45度	68度	75度	49度	60度	63度	67.5度	60度	64度	90度
投擲臂長	21cm	26cm	22.5cm	13cm	31cm	32.5cm	27.5cm	26cm	32.5cm	31.5cm	32.5cm	28cm
組合模組	組合01	組合02	組合03	組合04	組合05	組合06	組合07	組合08	組合09	組合10	組合11	組合12

五、研究目的五：在自製投石器中使用各種不同彈力、投擲桿角度、投擲臂長度的組合模組，是否可以精確命中目標？

(一)為了讓自製投石器投準能更具趣味性，所以我們使用市售孩童遊戲用的布標靶來當作投準標靶，所使用的布標靶大小是36cm×36cm，在進行投準實驗中，我們同時分別紀錄黏黏球落在布標靶上及落點的數字。

(二)因為在所選出的12種組合模組中，投擲桿角度和投擲臂長並不是實驗一～實驗四所設定的角度及長度，為符合實驗的需求，我們在原有的角度器黏貼上量角器；在投擲桿黏貼上紙尺。

(三)12種組合模組投準實驗後，我們在表5-5-1和表5-5-2中發現，總共投擲次數為60次，而命中布標靶的為58次，命中比例高達96.67%。而命中數字 5 (靶心)的有27次，命中比例也有45%，接近五成。

(四)依據實驗的結果得知，在距離100公分和200公分時，命中布標靶的準確度是100%；而距離100公分時，命中數字 5 (靶心)的比例有55%；距離200公分時命中數字 5 (靶心)的比例也有50%；然而在距離300公分時，命中布標靶的比例只有86.67%；而命中數字 5 (靶心)的比例只有30%而已。

(五)在操作過程中發現，當使用3條橡皮筋數量、投擲桿角度越接近90度時，整個投石器顯得有點晃動不穩固，且投擲桿有彎曲的現象，所以這可能是導致距離300公分的命中率較低的原因。

(六)自製投石器能精準命中目標是無庸置疑的，若能再改良自製投石器，使其能更加牢固，相信命中目標的準確度會更高。

柒、結論

- 一、在自製投石器中，使用不同彈力的物品確實會影響乒乓球投擲的距離。
- 二、在自製投石器中，投擲桿的角度不同，所投擲的距離也會有所不同；投擲桿的角度越大，投擲的距離越遠。
- 三、在自製投石器中，投擲臂長度不同，所投擲的距離也會有所不同；投擲臂長度越長，投擲的距離也就越遠。
- 四、在自製投石器中，確實能找出**投擲距離**與**橡皮筋數量**、**投擲桿角度**、**投擲臂長度**三者間有的相對應組合模組。
- 五、在自製投石器中，我們能利用相對應的組合模組精準命中目標是無庸置疑的。所以，自製的投石器若經過精密的"計"算，必能"彈"無虛發。
- 六、我們所自製投石器能隨心所欲的改變**投擲距離**、**橡皮筋數量**、**投擲桿角度**、**投擲臂長度**，儼然成為一個好玩的投準科學遊具。

參考資料及其他

一、參考資料：

- (一)LIS英雄挑戰（民 110 年 1 月20 日）。破解！「魔戒甘道夫」の中世紀最強投石器（槓桿原理）。取自 https://www.youtube.com/watch?v=6OM_yEzedq4
- (二)DIY系列玩具（民 110 年 1 月20 日）。改良版投石機來了。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=4psqJKyV9j0>
- (三)六下自然科教科書康軒版（民102）。第四單元簡單機械。新北市：康軒文教事業股份有限公司。
- (四)紀錄片之家文史迷（民 110 年 1 月20 日）。中世紀戰場的投石機在投彈實測中有怎樣效果？不容小覷的利器！取自 https://www.youtube.com/watch?v=4427Z_71RaU
- (五)掌中乾坤(民 110 年 1 月20 日)。古代兵器—用壓舌棒製作扭力彈簧投石器!!!//How to make an Onager。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=r8fMDAXpD6s>
- (六)康軒學習雜誌（民 110 年 1 月 17 日）。投石器的身世。取自 https://www.top945.com.tw/celebrity_Data.asp?ID=176

二、其它(參與科學展覽的心得和收穫)：

這次科學展覽的實驗活動，帶給我們很多的樂趣，因為我們幾個人本來就很喜歡自然實驗，所以能夠參與投石器的製作、實驗，並將自己的想法和同學們做分享、然後一起操作實驗、記錄與分析是件很興奮、很有榮譽感的事情。做科學實驗是我們感興趣的，從決定題材、主題開始，我們每天都懷著一顆期待的心參與著，雖然過程中偶爾會有爭吵或不順利，但我們還是一起努力克服了很多難關。

剛開始的第一節課，我們先認識了投石器，後來我們就開始動腦思考該如何做出一台投石器，在做實驗和討論的過程中，我們一邊做筆記，一邊組裝投石器，在測試彈力與準確投中目標物的過程中，投擲桿的角度從 30 度、45 度、60 度、75 度到 90 度，我們一個一個的測量，經過多天的實驗，在這個過程中，讓我印象最深刻的是一開始進行投石器投擲時，乒乓球都會滾或跳，無法「定」在同一個地點，讓我們順利確定落下的點與測量所拋出的距離。所以，我們試著尋找各種拋出物落地時的接觸物，並試著用不同的接觸物讓球落地後便停下來。之後，我們用了**棉被**和**黏黏球**來進行實驗，但是棉被比較不黏，只好換成老師穿的毛衣，後來用投石器拋擲黏黏球時，就能夠很順利的附著在毛衣上面，結果證明毛衣的材質較適合讓黏黏球順利附著，也讓我們再也不用在實驗過程中，互相爭吵著黏黏球的著地點到底在哪裡？或者是為了拋出的距離到底要如何測量而吵鬧不休、破壞了團隊合作的一片和氣和團結！

在實驗過程中，讓我們知道了「**凡事都要大膽假設、小心求證**」的科學精神，唯有多方測試，才能有好的結果。

而在參與投石器的實驗中，我們所遇到的困難、改進措施如下：

- (1)投出的乒乓球不好抓到落地點，所以我們試著用貼了魔鬼氈的球(黏黏球)和老師的毛衣來測試，後來落地時便能順利附著在毛衣上，也能順利測量出拋出的距離。
- (2)因投準實驗要更精準，所以我們在**自製角度器**上，黏上了最小刻度為 1 度的量角器。
- (3)支架會搖晃，所以我們在測試後，決定把支架座黏在桌子上，已順利解決搖晃的狀況。
- (4)有些投擲桿的角度比較低時，球會直接掉下去，所以我們的改進措施便是將投擲桿的角度設定在 30 度~90 度間，並加以取捨，最後以 30 度、45 度、60 度、75 度、90 度這五種角度進行實驗，球都能在投石器上順利進行發射。

【評語】 080113

本作品以竹筷等材料自製投石器，並探究影響投擲乒乓球射程的變因。

雖然實驗很完整，也考慮了各種變因，唯缺乏創意。投石器為古老的器械，是很普遍的實作科普活動，也是久遠以來的科展主題。因此需要參考以往作品，凸顯出具創意的研究結果。

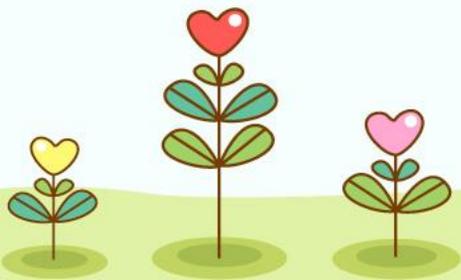
作品簡報



投石"計"器 "彈"無虛發

組別：國小組

科別：物理科

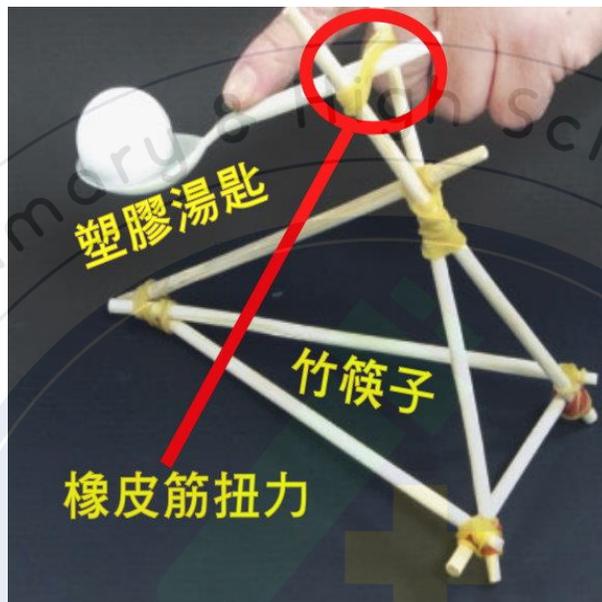


研究動機

經由實作探究

⇒ 設計並自製一套能靈活調整彈力強度、角度、投擲臂長等實驗參數的投石器。

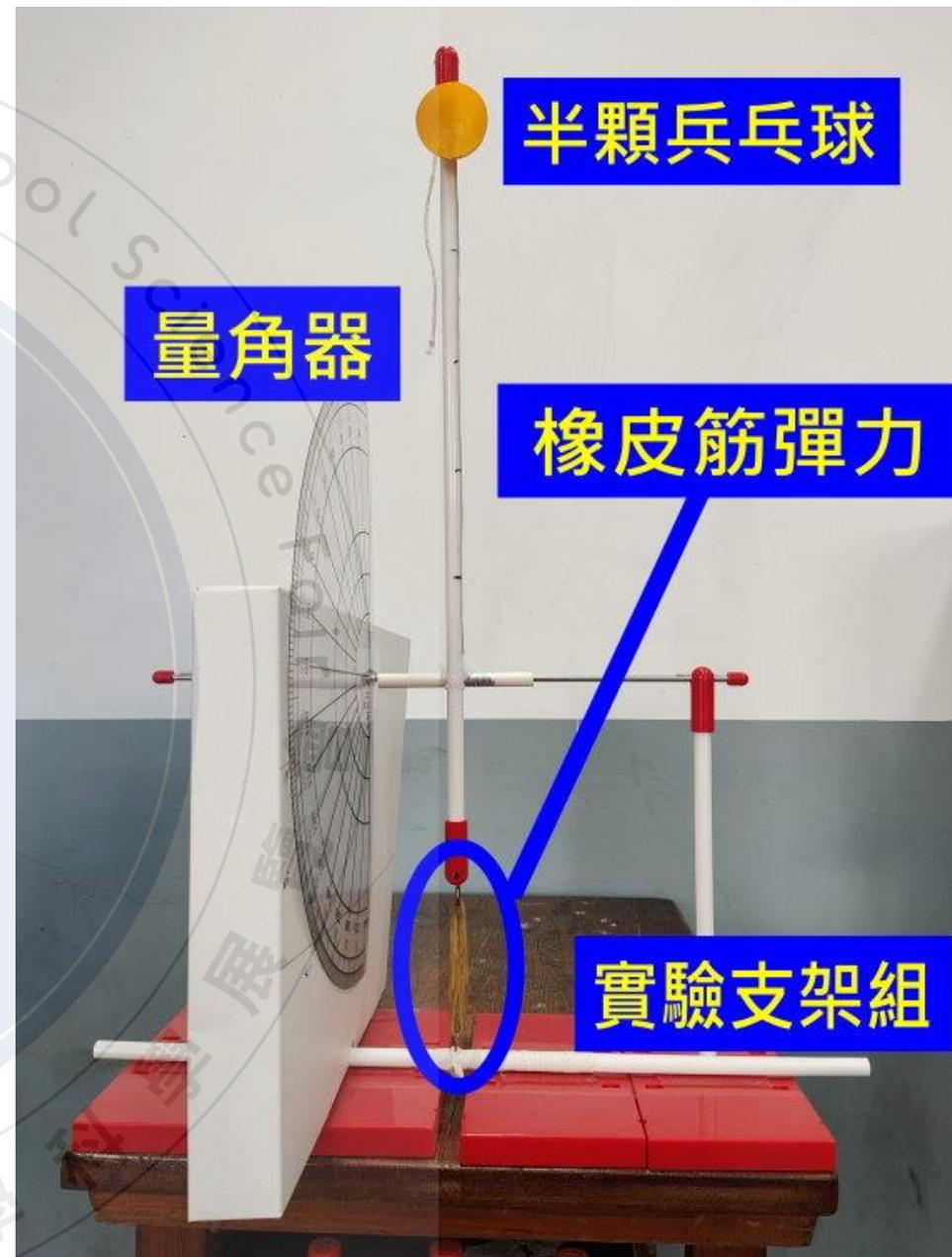
⇒ 並透過精密計算，找出各實驗參數的最佳條件，以能準確的命中目標，達到彈無虛發的神奇境界。



竹筷子製投石器



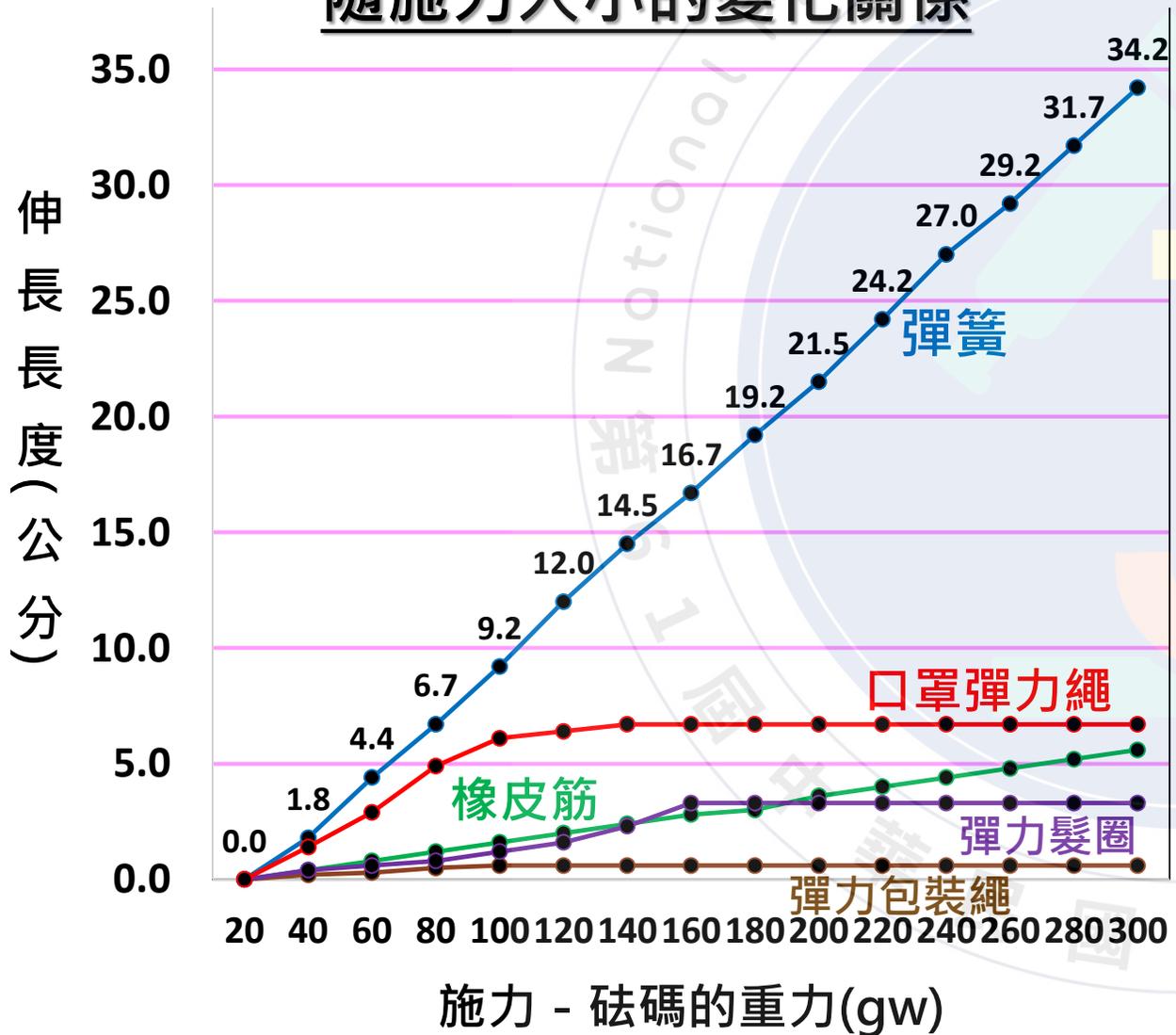
冰棒棍製投石器



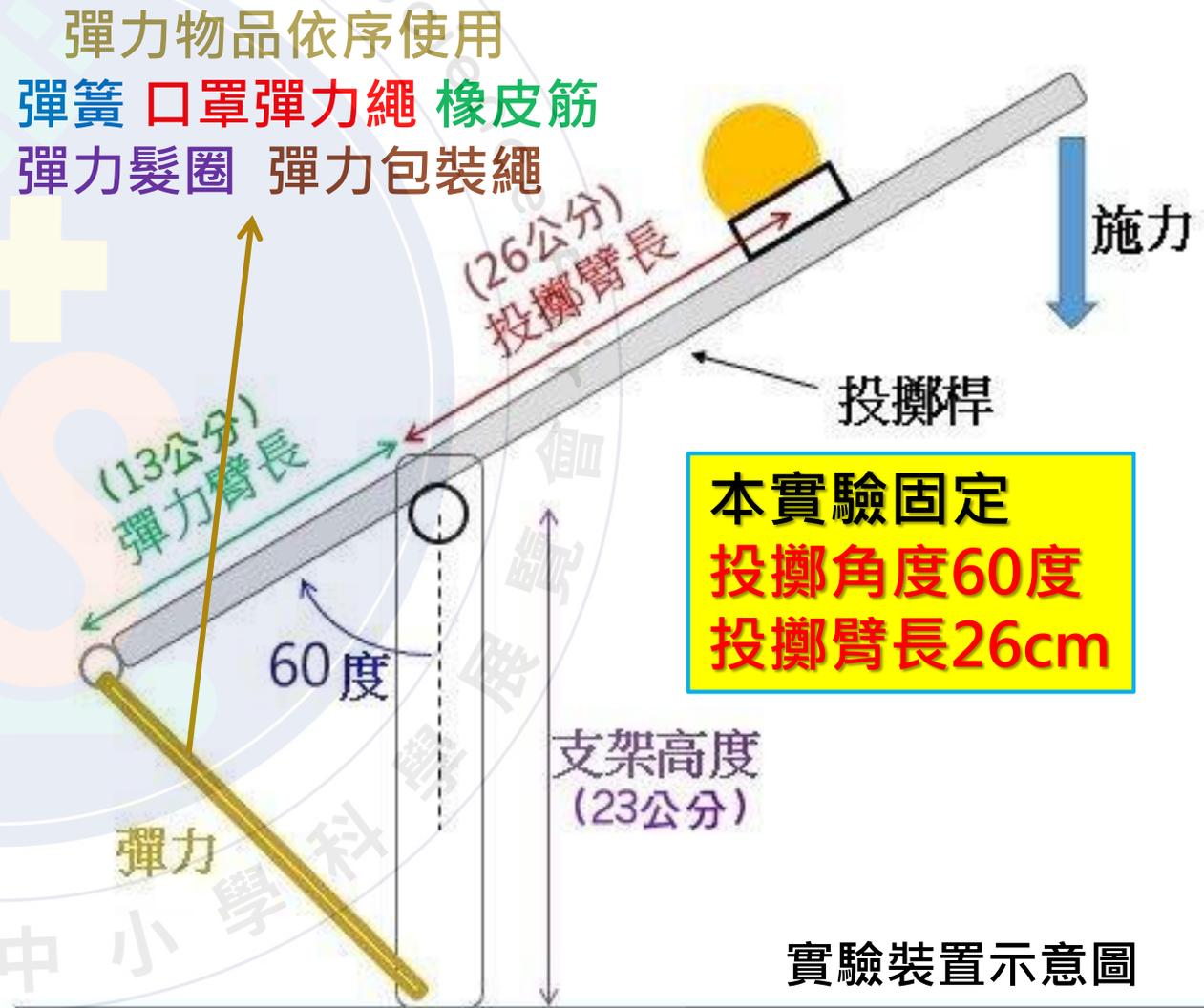
自製投石器系統

彈力大小對投擲距離的影響

不同彈力物品的伸長量
隨施力大小的變化關係

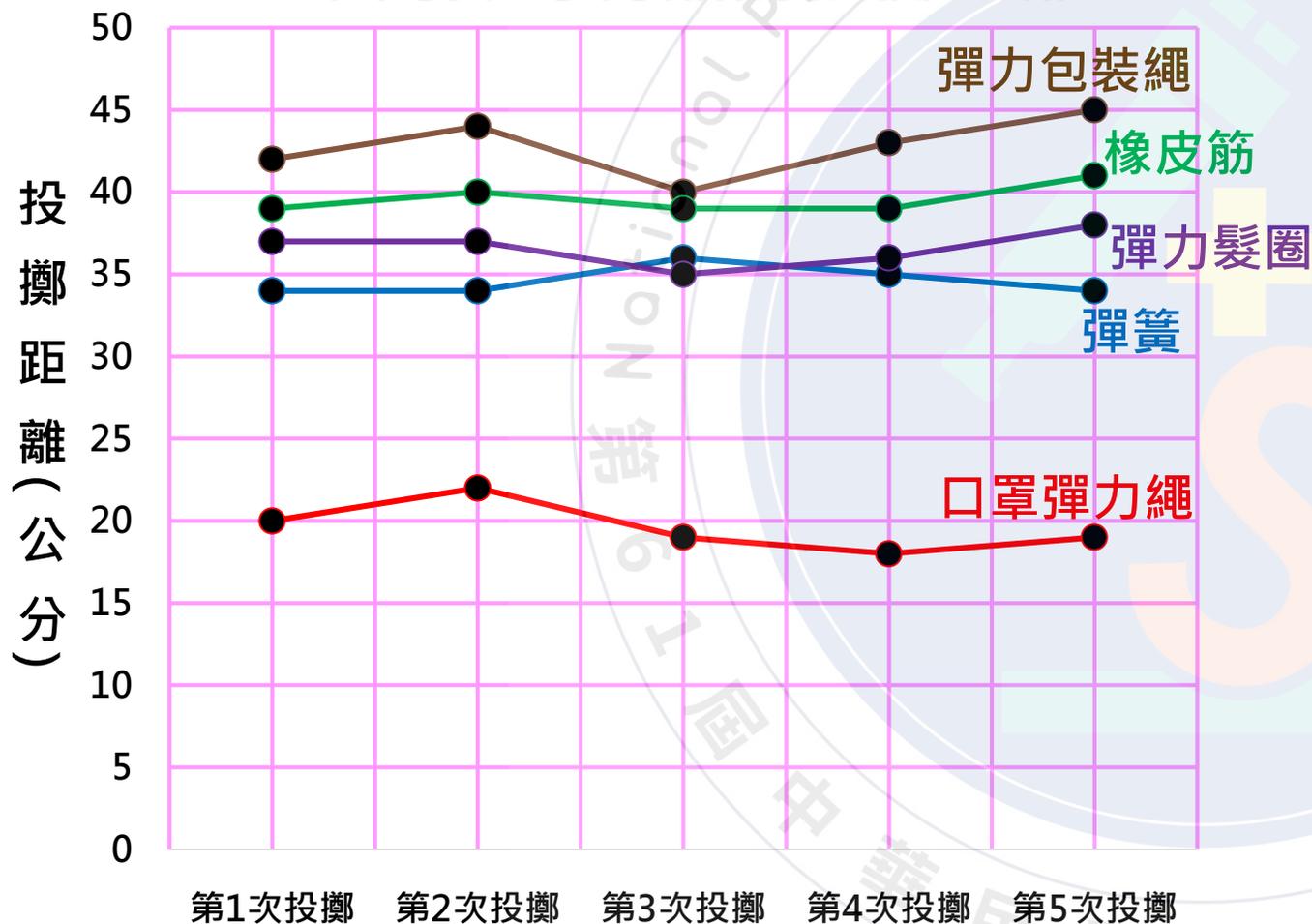


不同彈力物品的投擲距離



不同彈力物對投擲距離的影響

不同彈力物品的投擲距離



(投擲角度60度；投擲臂長26cm)

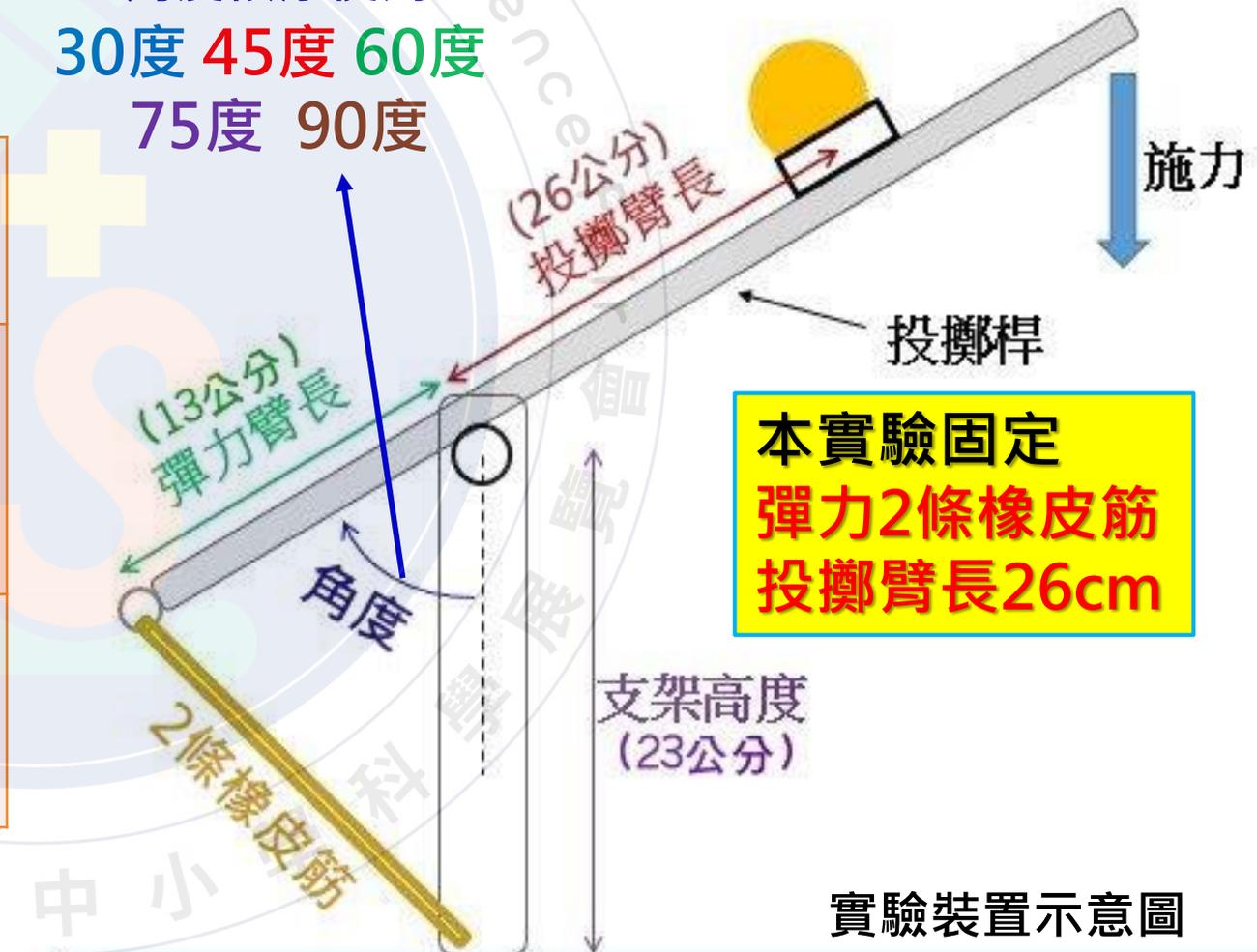
1. 選用五種生活中常見的彈力物品進行實驗。
2. 不同彈力材料具有不同的彈性係數，故伸長量亦不同。
3. 不同彈力物品投擲出的距離亦不同。
4. 同一物品每次投擲距離仍會有差異，此誤差可能來自於人為操作或是實驗器材不夠精緻。
5. 其中只有彈簧與橡皮筋可以算是線性彈性物體(伸長量與外力成正比)，且橡皮筋有較高的彈性係數，故採用橡皮筋當作後續實驗之彈力。

投擲角度對投擲距離的影響

不同投擲桿角度時
橡皮筋的伸長量紀錄表

投擲桿 角 度	0 度	30 度	45 度	60 度	75 度	90 度
橡皮筋 總長度 (cm)	7.0	11.8	15.2	19.8	22.9	25.1
橡皮筋 伸長量 (cm)	0.0	4.8	8.2	12.8	15.9	18.1

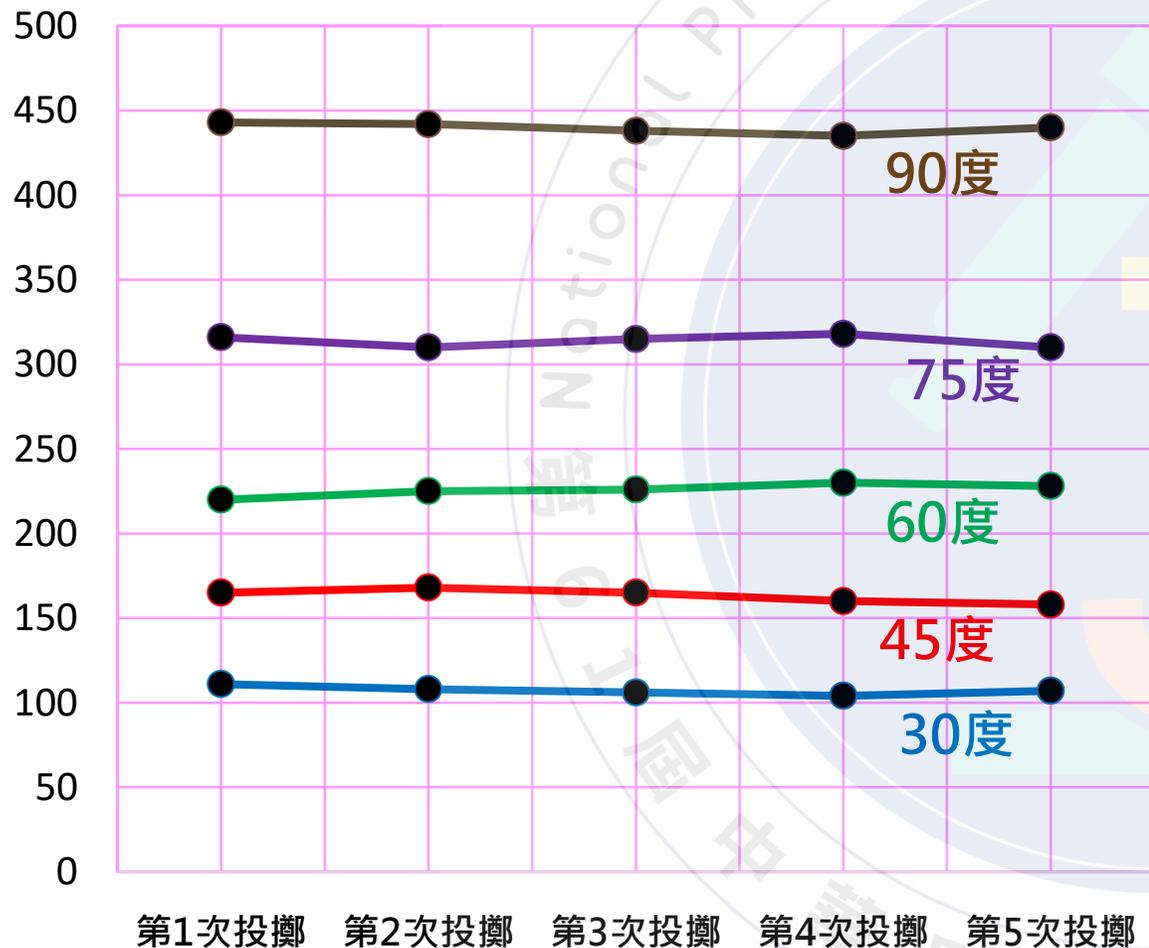
角度依序使用
30度 45度 60度
75度 90度



實驗裝置示意圖

投擲角度對投擲距離的影響

投擲角度(伸長量)與投擲距離

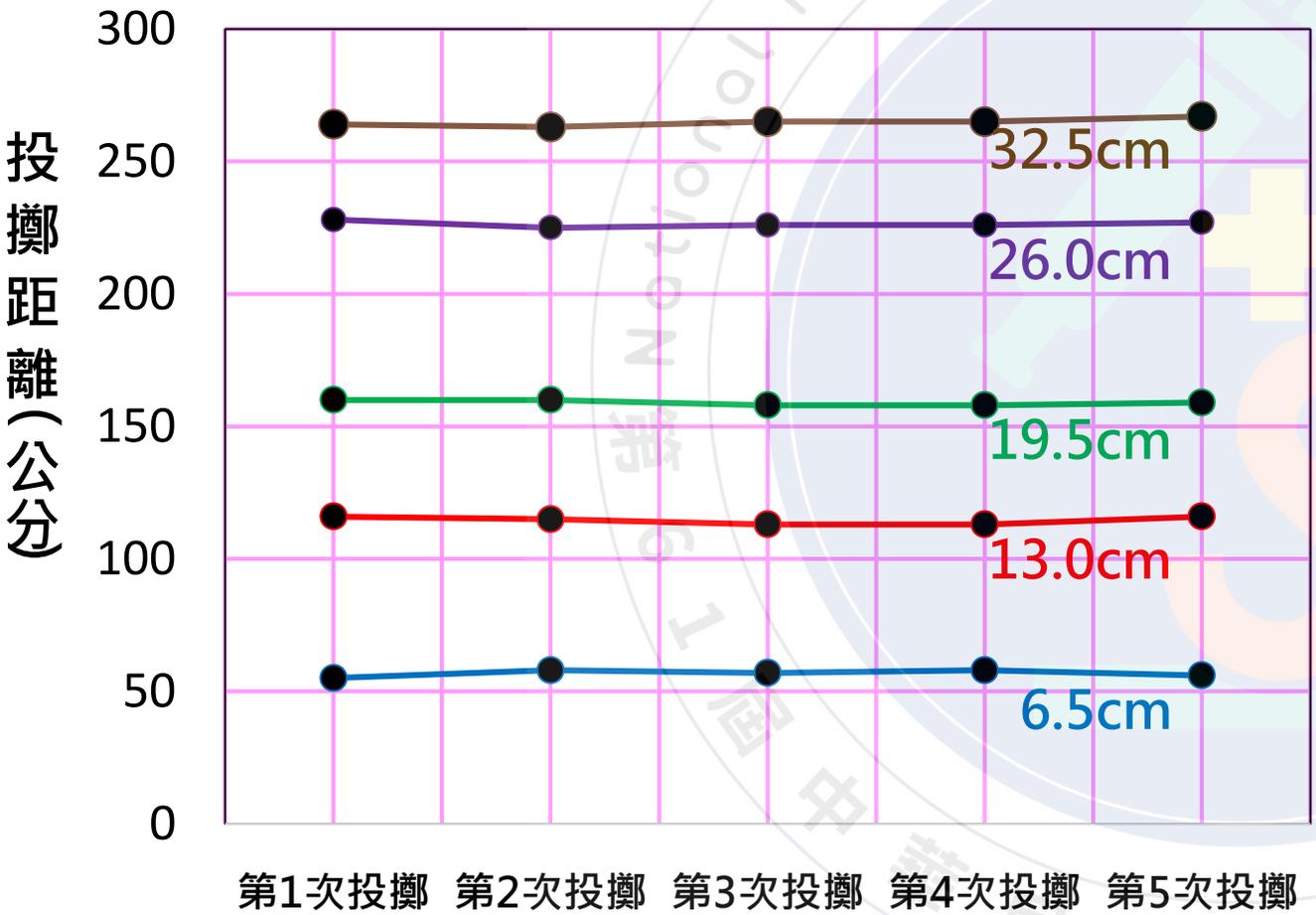


(彈力為2條橡皮筋；投擲臂長26cm)

1. 投擲桿角度不同，橡皮筋伸長量也不同。
2. 投擲桿角度與橡皮筋伸長後的總長度是固定的，與使用哪一種彈力物無關。
3. 投擲角度過小時，球無法彈出，因此投擲角度從 30度起，以15度為間距，共設定5種不同的角度。
4. 投擲角度越大，投擲出的距離就越遠；也就是橡皮筋伸長量越長，投擲的距離也就越遠。
5. 相同投擲角度每次投擲的距離仍會有差異，其誤差可能來自於自製角度器不精準或者是操作者量測角度時的偏差，以及其他人為操作上的失誤.....等等。

投擲臂長對投擲距離的影響

投擲臂長與投擲距離的變化關係



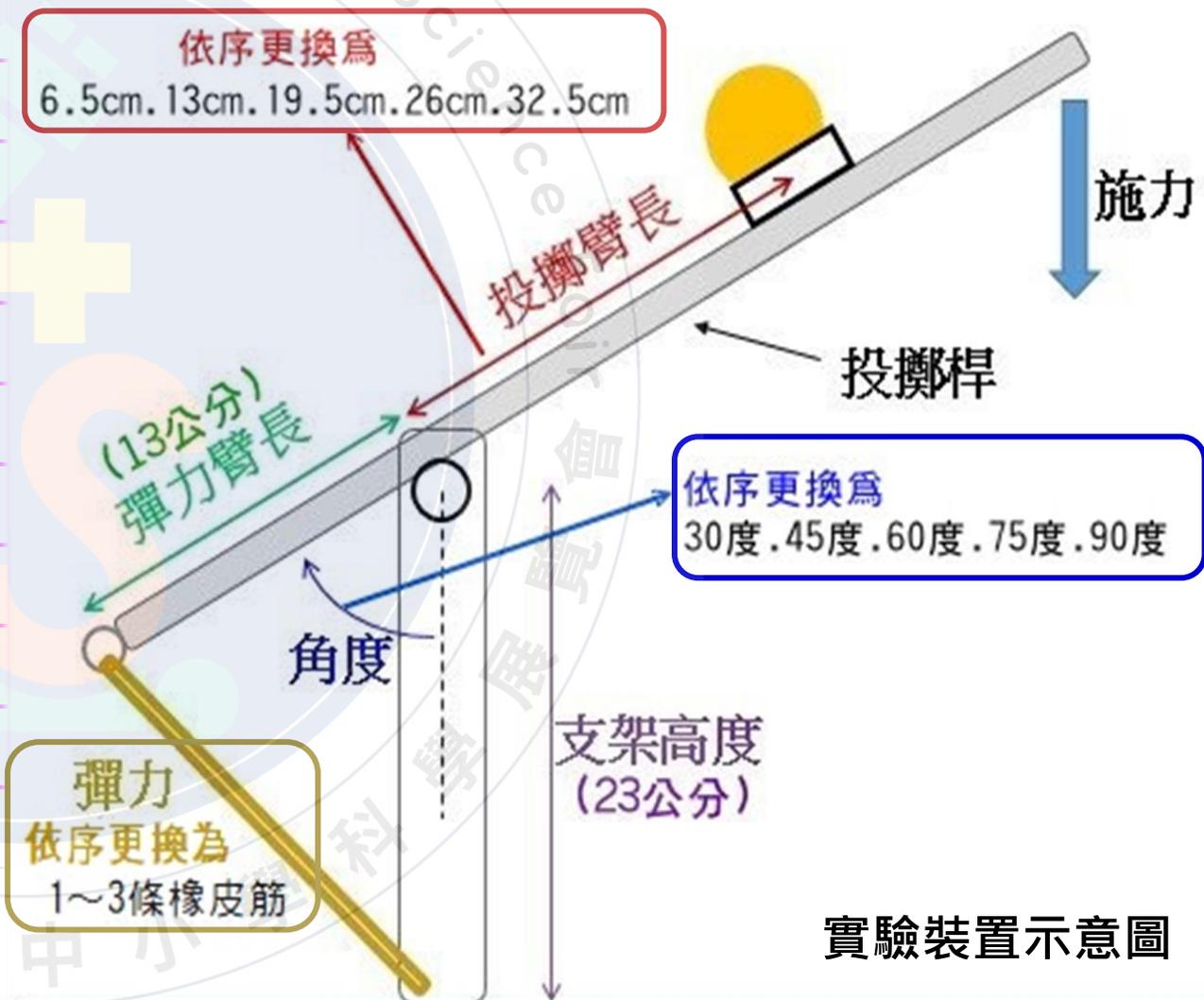
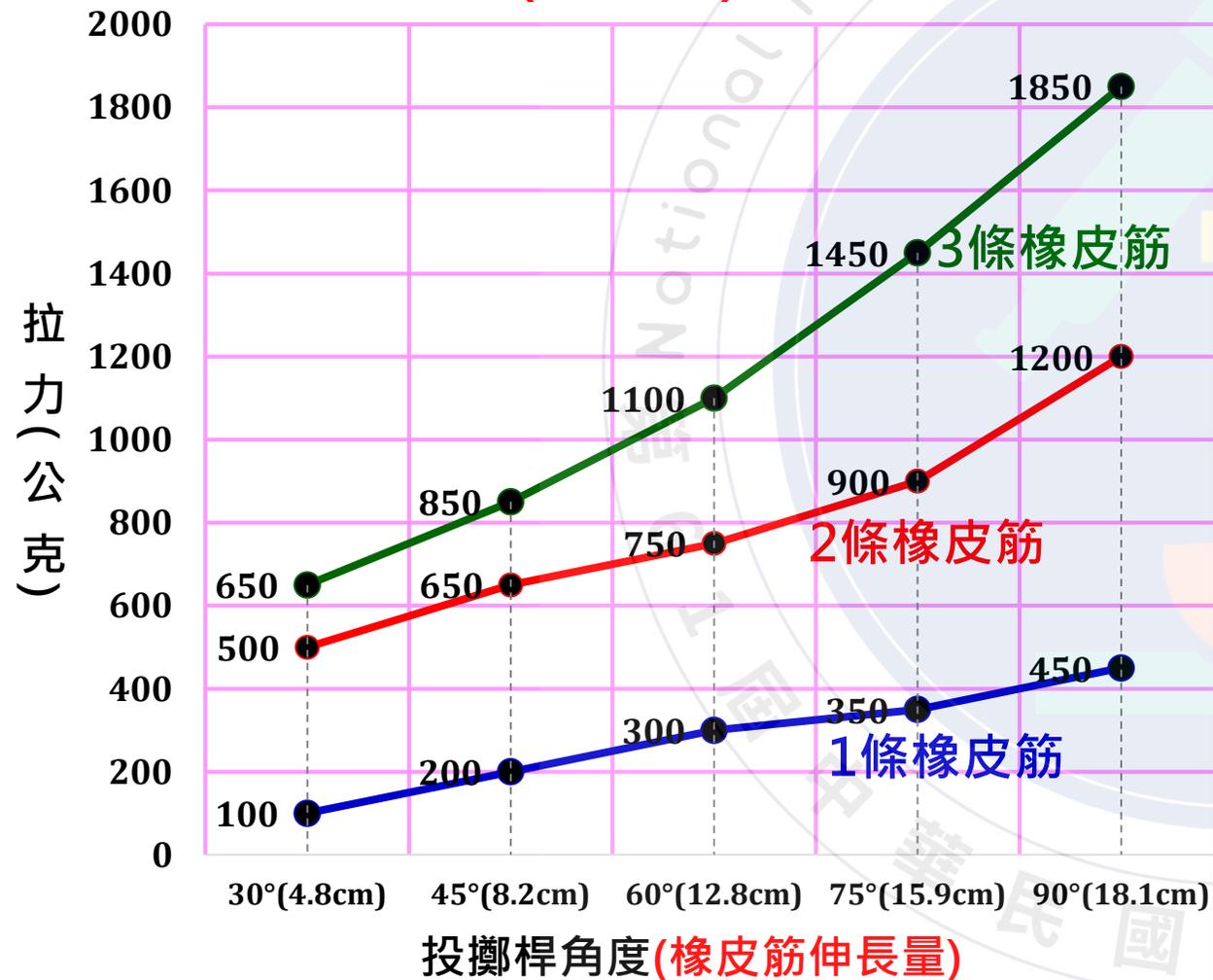
(彈力為2條橡皮筋；投擲角度60度)

- 1. 受限於自製投石器投擲桿長度已經固定，故以彈力臂長度(13 cm)為基準，每0.5倍為一個級距，共設定5種投擲臂長度。
- 2. 投擲臂長度越長，投出的距離也就越遠。
- 3. 相同投擲臂每次投擲的距離仍會有差異，其誤差可能來自於操作者黏貼飲料瓶蓋位置並不精確或者是操作者量測角度時的偏差，以及其他人為操作上的失誤.....等等。

研究方法與結果

不同彈力.投擲角度.投擲臂長相互交叉實驗 → 投擲固定距離的組合模組

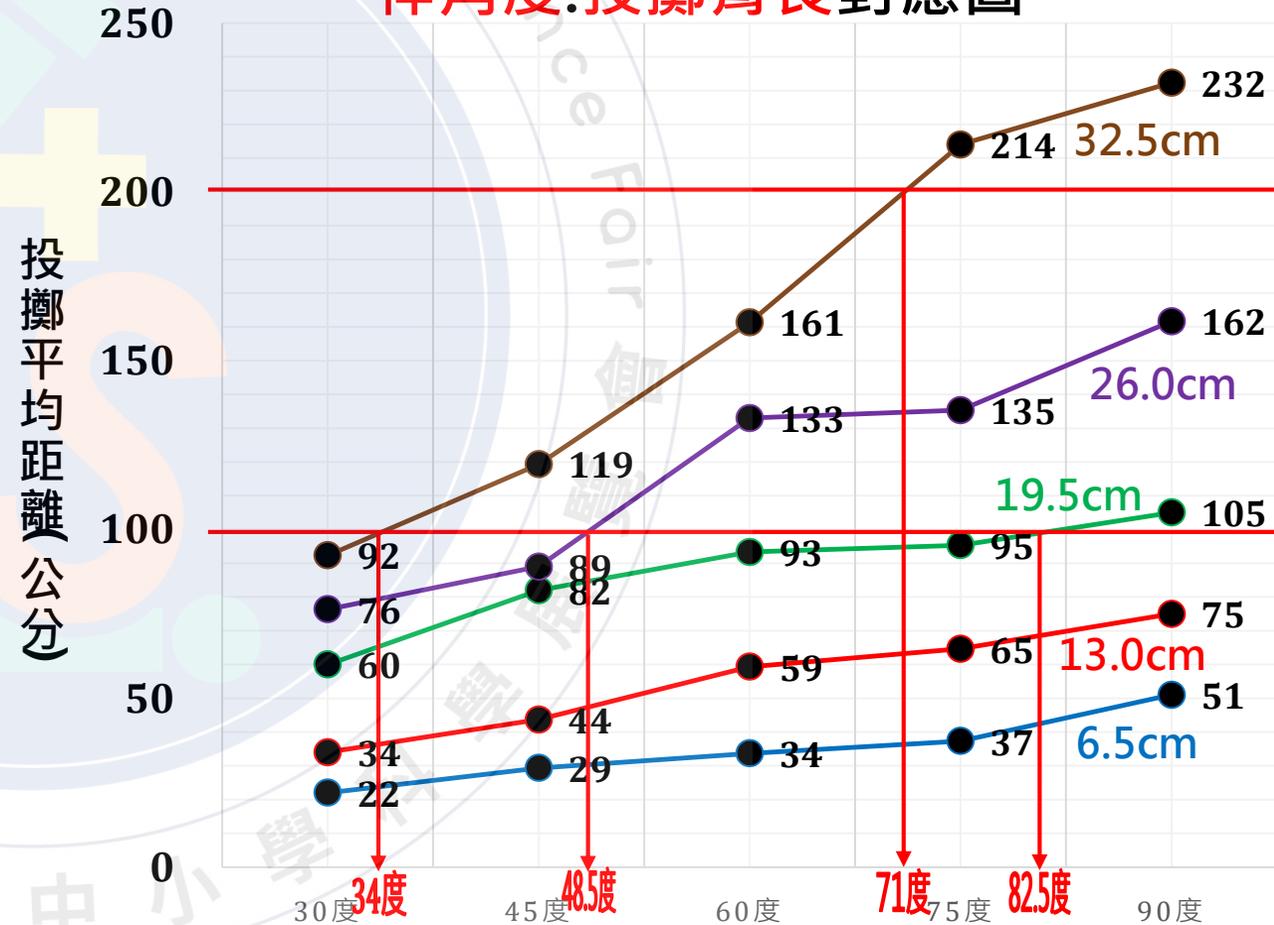
投擲角度(伸長量)與拉力的關係



不同彈力.投擲角度.投擲臂長相互交叉實驗 → 投擲固定距離的組合模組

- 1.因應布標靶投準的實驗，改以黏黏球取代乒乓球，並以球的放置座取代原來的飲料瓶蓋。
- 2.投擲角度(即橡皮筋伸長量)越大，其拉力越大。
- 3.橡皮筋的數量越多，則拉力越大，但呈現非成正比關係。
- 4.橡皮筋越多條，投擲桿彎曲更厲害，因此彈力部分僅使用到3條橡皮筋為止。
- 5.橡皮筋越多條、投擲角度越大、投擲臂越長時，所呈現的距離誤差值越高。
- 6.實驗結果，在設定的距離中找到所能對應的橡皮筋數量、投擲桿角度、投擲臂長。
- 7.距離與橡皮筋數量、投擲桿角度、投擲臂長三者間可以有無數組相對應的組合模組。

相同距離橡皮筋數量.投擲桿角度.投擲臂長對應圖



施力：1條橡皮筋

投擲桿角度

研究方法與結果

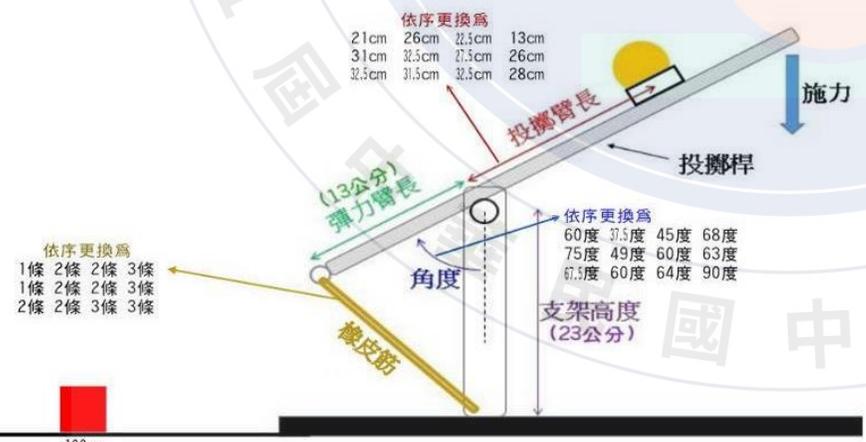
不同組合模組 → 精準命中目標

自製投石器不同組合模組投準

投距	擲離	100cm				200cm				300cm			
橡筋	皮數	1	2	2	3	1	2	2	3	2	2	3	3
投桿	擲角 度	60.0 度	37.5 度	45.0 度	68.0 度	75.0 度	49.0 度	60.0 度	63.0 度	67.5 度	60.0 度	64.0 度	90.0 度
投臂	擲長 cm	21.0 cm	26.0 cm	22.5 cm	13.0 cm	31.0 cm	32.5 cm	27.5 cm	26.0 cm	32.5 cm	31.5 cm	32.5 cm	28.0 cm
組模	組合	組 合 01	組 合 02	組 合 03	組 合 04	組 合 05	組 合 06	組 合 07	組 合 08	組 合 09	組 合 10	組 合 11	組 合 12

1. 以孩童遊戲用36cm x 36cm的布標靶組作為投準的標靶。
2. 在12種組合模組投準實驗後，命中布標靶的為58次，比例高達96.67%。而命中數字5(靶心)的有27次，比例也有45%。
3. 在距離100cm和200cm時，命中布標靶準確率是100%；而距離100cm時，命中數字5(靶心)有55%；距離200cm時，命中率也有50%；然而距離300cm時，布標靶命中率只有86.67%；而命中數字5(靶心)的命中率只有30%而已。
4. 橡皮筋數量越多、投擲角度越大時，投石器會有晃動、投擲桿彎曲的現象，故準確率降低。
5. 自製的投石器能精準命中目標是無庸置疑的！若能再加以改良，命中目標的準確率會更高。

實驗裝置示意圖



結論

- 1.不同彈力物品確實會影響乒乓球的投擲距離。
- 2.投擲角度越大，投擲的距離也就越遠。
- 3.投擲臂長越長，投擲的距離也就越遠。
- 4.確實能找出**投擲距離與橡皮筋數量、投擲角度、投擲臂長**三者間有的相對應組合模組。
- 5.利用相對應組合模組精準命中目標是無庸置疑的。所以自製投石器若經過精密的**"計"**算，必能**"彈"**無虛發。
- 6.我們所自製的投石器能隨心所欲的改變**投擲距離、橡皮筋數量、投擲角度、投擲臂長**，儼然成為一個好玩的**投準科學遊具**。

參考資料

LIS英雄挑戰(民 110 年 1 月 20 日)。破解！「魔戒甘道夫」的中世紀最強投石器(槓桿原理)。取自

https://www.youtube.com/watch?v=6OM_yEzedq4

DIY系列玩具(民 110 年 1 月 20 日)。改良版投石機來了。取自<https://www.youtube.com/watch?v=4psqJKyV9j0>

六下自然科教科書康軒版(民102)。第四單元簡單機械。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

紀錄片之家文史迷(民 110 年 1 月 20 日)。中世紀戰場的投石機在投彈實測中有怎樣效果？不容小覷的利器！取自

https://www.youtube.com/watch?v=4427Z_71RaU

掌中乾坤(民 110 年 1 月 20 日)。古代兵器—用壓舌棒製作扭力彈簧投石器!!!//How to make an Onager。取自

<https://www.youtube.com/watch?v=r8fMDAXpD6s>

康軒學習雜誌(民 110 年 1 月 17 日)。投石器的身世。取自

https://www.top945.com.tw/celebrity_Data.asp?ID=176