

嘉義市第 28 屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：攻城掠地非『它』莫屬-徹底解析投石器

關 鍵 詞：投石器、施力臂、力矩（最多三個）

編 號：

製作說明：

1. 說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
2. 編號由主辦單位統一編列。
3. 封面編排由參展作者自行設計。

攻城掠地非『它』莫屬-徹底解析投石器

壹、研究動機

有一天下午，我在家裡看三國志漫畫版本，看到了魏國揮軍攻打蜀的劍閣，兩方猛力廝殺，魏軍人數是蜀的好幾倍，卻久攻不下劍閣，完全是拜那一台台的投石器所賜，投石器在最高點，隨著「殺」的一聲！發射那一顆顆的「古代原子彈」，那強大的威力，使敵人死的死，逃的逃。轟隆轟隆的聲音下，不知多了多少「石下冤魂」，腦袋滿天飛，血染大草原，行成了一幅人間地獄的景象，就連遠隔幾千年的我，也可以感受到那恐怖的氣氛。有一天，我們全家前往火鍋店，準備大快朵頤一番，正當吃的高興之時，我突然發現對面的網咖那「世紀帝國」的海報，當然也有本科展的主角——一台美輪美奐的投石器，正當我迷著的時候，我的手拿起開罐器和「可口可樂」的曲線瓶，想開來解渴，但卻因注意力分散，用力過猛，頓時，一個瓶子蓋飛向我的腦袋，不偏不倚的正中目標，我反射性的的叫了一聲，但是腦海裡卻又出現了一個瘋狂的怪點子，「利用開瓶器的原理（槓桿原理），來製作投石器，並將他加以改造，找出射程最遠的投石器，來公諸於世」。

貳、研究計畫

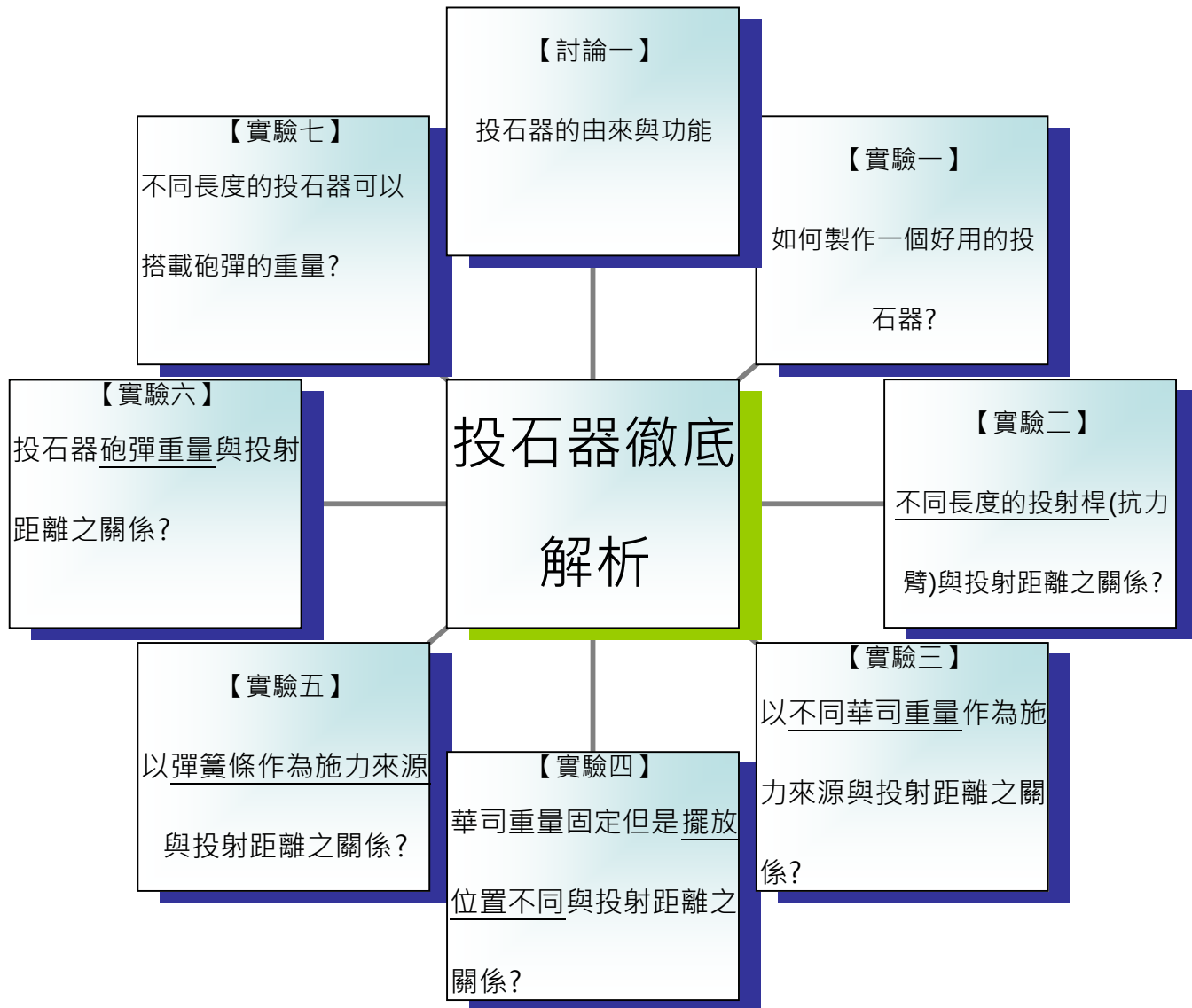
(一) 實驗進度表

我們將這一次實驗的進度表列出，這樣一來就可以提醒我們在什麼時候該達到什麼目標，讓我們亦步亦趨，確實完成工作目標。

工作項目	日期	99年1月2日- 99年1月15日	99年1月15日 99年2月26日	99年2月26日 99年3月16日	99年3月16日 99年4月13日	99年4月13日 99年4月25日
	討論研究主題					
收集投石器的資料						
整理全部資料						
準備實驗材料						
學習實驗技巧						
正式進行實驗						

整理實驗數據					
完成書面資料					

(二)實驗概念圖



參、研究目的

- 一、 探討投石器投射桿長度與距離的關係。
- 二、 探討施力大小與投射距離的關係。
- 三、 探討施力的位置與投射距離的關係。
- 四、 探討施力的種類與投射距離的關係。
- 五、 探討砲彈重與投射距離的關係。

肆、研究設備及器材

器材	用途
竹籤	製作投射桿
竹筷子	製作投石器、投射桿
華司	利用華司的重量使砲彈發射出去
熱融槍與熱融膠	製作投石器
美工刀與剪刀	製作投石器
彈簧條	產生施力、製作投石器
塑膠小方塊	作為投射的砲彈
釣魚線	懸掛重物的線
免洗湯匙	投射桿上裝砲彈之裝置
砂紙	增加摩擦利用
捲尺	測量投射距離用
寶特瓶蓋	投射桿上裝砲彈之裝置
方形塑膠墊	作為投石器之底座

伍、研究過程與方法

【討論一】投石器的由來與功能

究竟要如何製作一個很厲害的投石器呢?這個問題困擾了我們許久。爲了能夠真正設計出最棒的投石器，我們上網找了許多資料，並且將找到的資料和同學經過多次反覆的討論整理後，終於對於投石器有進一步的了解，並勾勒出心目中的投石器模樣。以下是我們對於投石器的資料整理：

(一)、中國投石器的歷史：

投石器在春秋時代已經有使用，不過沒有清楚的文獻記載，已不可考，那時候名爲「炮」，再細分一點，分成炮車、單梢炮、雙梢炮、五梢炮、七梢炮、旋風炮、虎蹲炮、拄腹炮、獨角旋風炮、旋風車炮、臥車炮、車行炮、旋風五炮、合炮、火炮等，其功用也不同，有些適用來守城，有些則是在站場上大顯神威，有些則是專搞破壞。中國投石器的最早的詳細記載，是三國時代魏軍劉曄所發明，曹操用來對付袁紹的投石器。三國時代劉曄和孔明對於投石器都有很大的造詣，自然是「攻城掠地，無往不利」。

(二)、西洋的投石器：

外國對於投石器也有使用，如法國，英國等歷史悠久之國，大多有投石器的痕跡。投石器出現於西元前十三世紀，是由小型投石器開始發展，拿於手上，可拿2、3個，但那時還只是輕武裝的兵士，所以只負責輔助的工作。

在歐、亞古代攻城武器中，還有弩炮和投射器兩種，它們都是利用動物筋繩索的彈性來發射的；弩炮，原理上就是很大的弓，是通過絞盤使喚粗動物筋繩索拉緊，從而將箭發射出去的，弩炮射出的箭在一百米距離內非常準確，弩炮也能把25公斤重的石彈射至450米遠，最早的弩炮出自希臘，後來每個古羅馬軍團都配有五十門弩炮，炮手在軍中享有特殊地位；投射器是比弩炮威力更大的一種武器，能把78公斤重的石彈準確地投至300米遠，它是利用槓桿將筋索拉緊，從而把放在槓桿頂端的石彈投射出去的；在希臘化時代，即從亞歷山大時期到羅馬帝國時期，投射器曾被大量使用，直到西羅

馬時期還在使用。到公元三世紀，弩炮和投射器開始衰落，這是羅馬軍隊全面衰落的預兆。

在歐、亞古代戰場上，還可見到一種冷兵器 --- 投擲武器，以下介紹投石器和標槍投擲器兩種：武器的發展是和技術的發展分不開的，從五十萬年前的猿人揮舞第一件武器(狼牙棒，獸角匕首或半頷骨刀)開始，到石器時代隨著磨石技術的發展而出現投石器和大型簡單弓為止，經歷了數十萬年，而後者距今也已有一萬年了，投石器大約出現於公元前十世紀，它由兩條皮帶或亞麻帶和一個袋子連接而成，袋內裝有石彈，硬粘土彈或鉛彈，彈重20~30克左右，有時還重得多，投擲時，在頭頂之上用手旋轉投石器，選擇時機鬆脫其中一條皮帶，就可使石彈投擲出去，在一百多米距離內能打得很準；最出名的投石手要算巴利阿里群島的居民了，他們從童年起就參加投石訓練，他們的頭上一般能繞2個甚至3個投石器，最短的用於近距離快速投擲，最長的用於遠距離投擲。標槍投擲器是和投石器同期出現的，由木柄或獸角柄做成，靠在標槍的末端，可把標槍投到一百來米遠，要比用手直接投時遠二、三倍，後來羅馬軍隊借助一種能增加推力的皮帶，使投擲距離還要遠；但投擲武器在歐、亞古代不太受重視，僅裝備於輕武裝步兵，只是重武裝步兵方陣的輔助部隊。

(三)、投石器之功用：

投石器在攻守城中往往扮演極重要的角色，因為大多數的兵器都是直射武器，只有投石器是拋射武器，可以越過障礙攻擊敵人，但這些炮本身缺乏防護，所以多半必須倚城而戰，否則連射都還沒射，就躺在地上看星星囉。投石器也有射程記載，像單稍砲，射程為78.25公尺。投石器不只是攻城用，像羅馬人的貴族，就把投石器拿來遊戲，有點類似籃球，不過，投的進嗎？

(四)、投石器的發展：

在北宋時代，針對固定砲架和固定砲桿所延伸的移動和調整射擊方位問題，也發展出了旋風砲和一些車型的投石器。旋風砲的支柱是單竿設計，可以旋轉調整射擊方位，而不必搬動砲架。這種投石器也受到北宋敵人西夏的注意；西夏人顯然寄望投石

器能賦予機動性，來增加其野戰的使用性。有趣的是，西夏許多操縱砲車的軍士是漢人，這和明末時滿洲人利用漢人來操作火炮的情形相似。

投石器到了南宋已經發展成對重式，原來的投石器需要許多人拉索，但改成對重式後，大部分拉的力量改由重物所取代，士兵可以先利用絞車將重物升起，裝上砲石後，只要釋放重物，就可以將砲石投出，這種方法除了大幅減少操作的人員，減少操作所需的空間外，對於投擲的準確度也大為提升，可以調整重物來控制射程，若是以人力拉擲則無法控制，而且人員必須訓練才能順利的投擲出砲石。南宋的守城戰中，宋軍能夠克敵致勝，這種對重式的襄陽砲居功厥偉。

由於砲車的發展日新月異，雙方同時用砲相互交戰的情形增加了，因此對於砲擊時可能受到的弓矢、砲石的攻擊均必須考慮防護設施，於砲石的防護也日益受到重視，據《宋史·兵志》所載，就有「護陣籬索」這種防禦設施。護陣籬索不但可以防火砲、火箭，還可以抵禦百鈞的砲石，用費又少，可以說是有效又經濟的設計。南宋時，投石器已成對重型投石器，利用繩子拉起，可以減輕拉的重量，以節省人力。

投石器的構造原理及威力，使許多人驚訝，進而進入電腦遊戲界，只要有關歐洲的歷史遊戲，大多有投石器的影子，如：AOC II（世紀帝國二）、危城之戰等。

【實驗一】如何製作一個好用的投石器？

一、投石器的構造

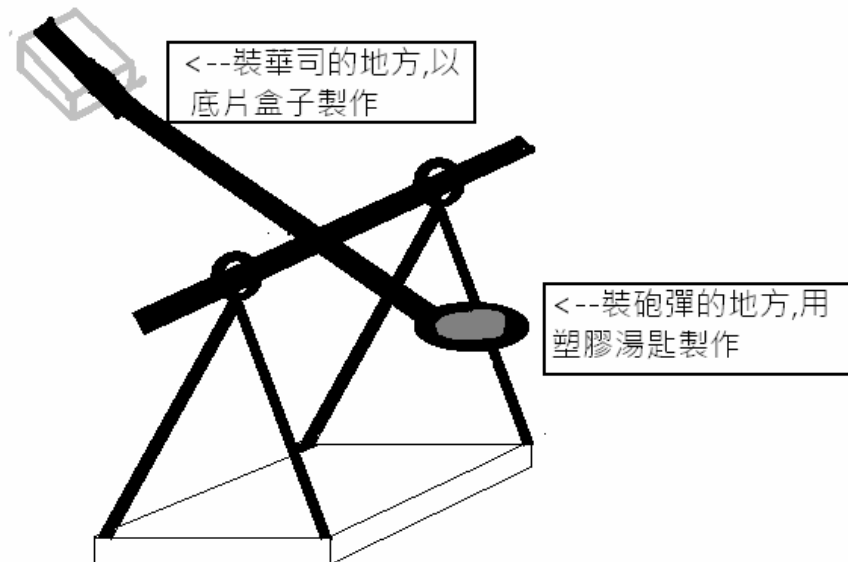
投石器構造主要可分成二個部分

- （一）底座：用來固定投射桿，並作為整個投射作用的支點。
- （二）投射桿：中間連接底座，作為支點。一端是裝載砲彈的投射端，作為抗力點，另一端擺放重物，作為投射砲彈之力量來源，是為施力點。

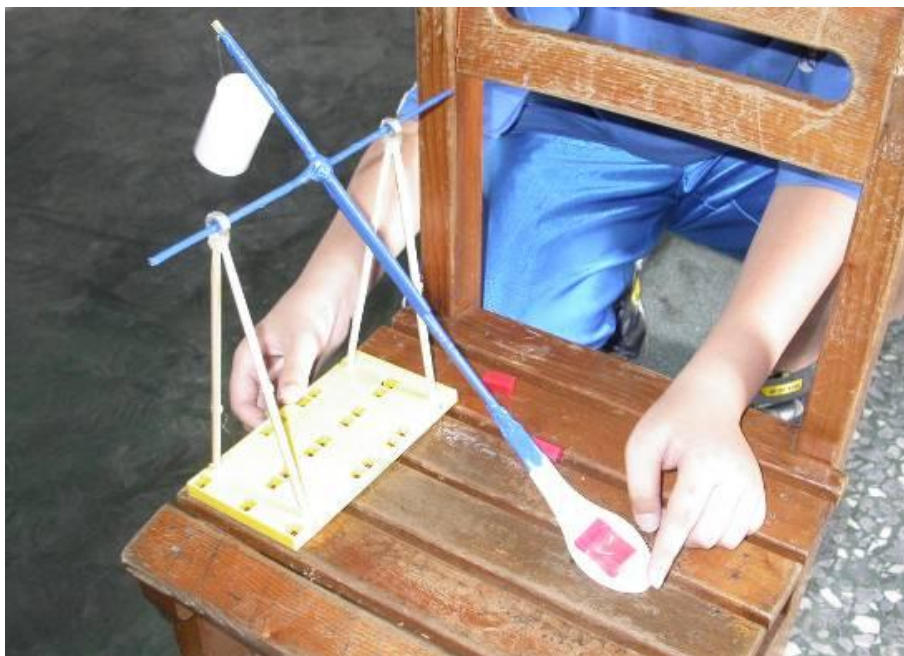
本次實驗是以竹筷作為支架方形塑膠作為底座，利用熱融膠將支架與方形塑膠墊黏結在一起，以竹籤作為投射桿，另一端利用藍色膠帶黏住免洗湯匙，作為投射端，另一端透過釣魚線與華司連結作為施力點。

原本設計投射桿是只有免洗湯匙，但是常常會發生砲彈滑出來而投射不出去的情

形。我們想說是不是免洗湯匙太光滑了，沒有足夠得摩擦力讓砲彈停留在湯匙中，爲了增加摩擦力，我們將砂紙貼在湯匙的底部以增加摩擦力，情形果然有所改善，砲彈比較不會那麼容易滑出去了。



投石器設計圖樣



投石器實際完成圖

【實驗二】不同長度的投射桿(抗力臂)與投射距離之關係?

實驗方法

※操縱變因: 改變竹籤抗力臂的長度，分別為 10、20、30、40 公分

※控制變因:

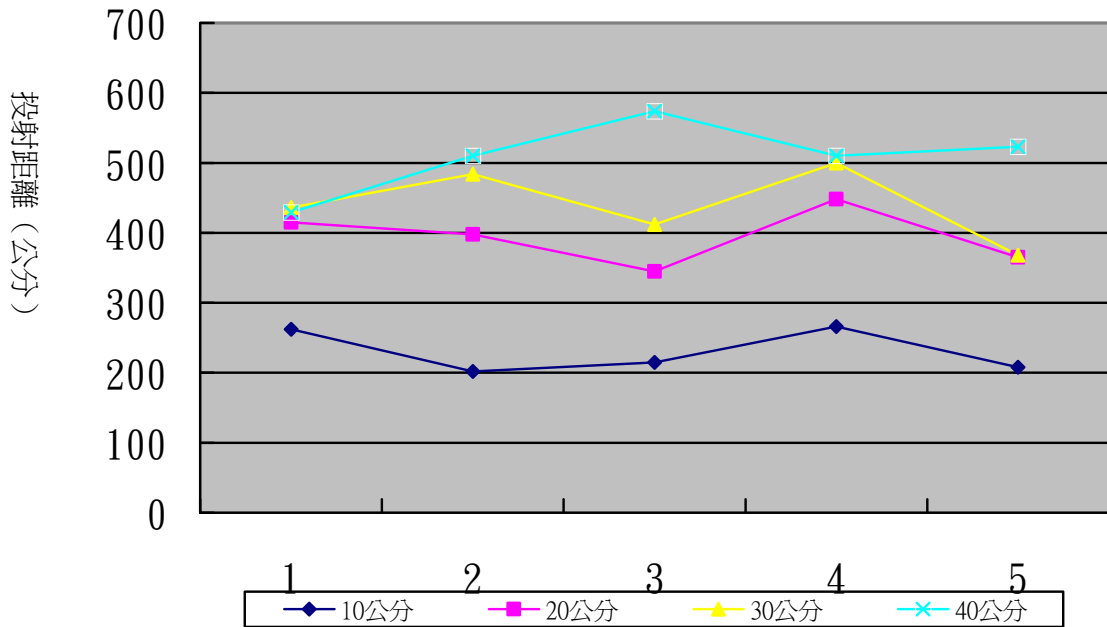
- 1、施力大小 25 個華司+一個底片盒
- 2、施力臂長度 10 公分
- 3、砲彈重量一個塑膠小方塊



實驗結果

抗力臂長 次序	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
第 1 次	262cm	415 cm	436 cm	429 cm
第 2 次	202 cm	398 cm	484 cm	510 cm
第 3 次	215 cm	345 cm	412 cm	574 cm
第 4 次	266 cm	448 cm	500 cm	510 cm
第 5 次	208 cm	365 cm	368 cm	523 cm
平均	230.6 cm	414.2 cm	440 cm	509.2 cm

投射桿抗力臂長度與投射距離之關係



討論

投射距離隨著抗力臂長度的增加而增加，抗力臂愈長，投射距離也愈長。所以我們可以發現 40 公分的投石器，能夠將砲彈投得最遠。而 10 公分的投石器所投的砲彈卻是最近的。因此如果想要製造出一個投得夠遠的投石器，勢必要抗力必做得夠長才行。不過在製作的過程當中我們也發現 當抗力臂太長時，在運送投石器或是裝載砲彈的時候很不方便，所以基本上抗力臂也不能夠太長。當我們告訴老師這個結論時，老師也提醒我們，裝載砲彈的重量和抗力臂的關係是值得觀察的部分，因此我們將在【實驗七】中來討論不同長度的投石器可以搭載砲彈的限制。

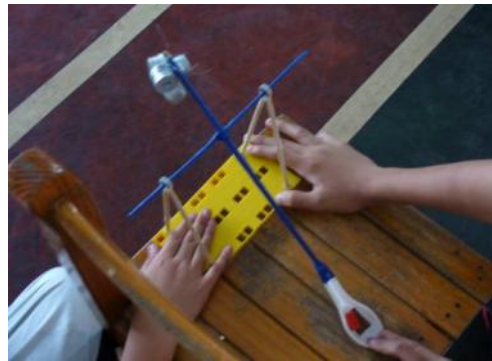
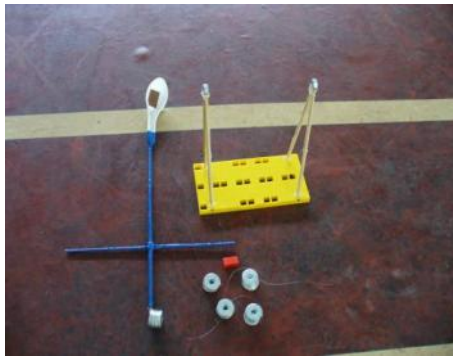
【實驗三】以不同華司重量作為施力來源與投射距離之關係？

實驗方法

※操縱變因：華司的個數，分別為 10、20、30、40 個（每 10 個華司綁成一串）。

※控制變因：

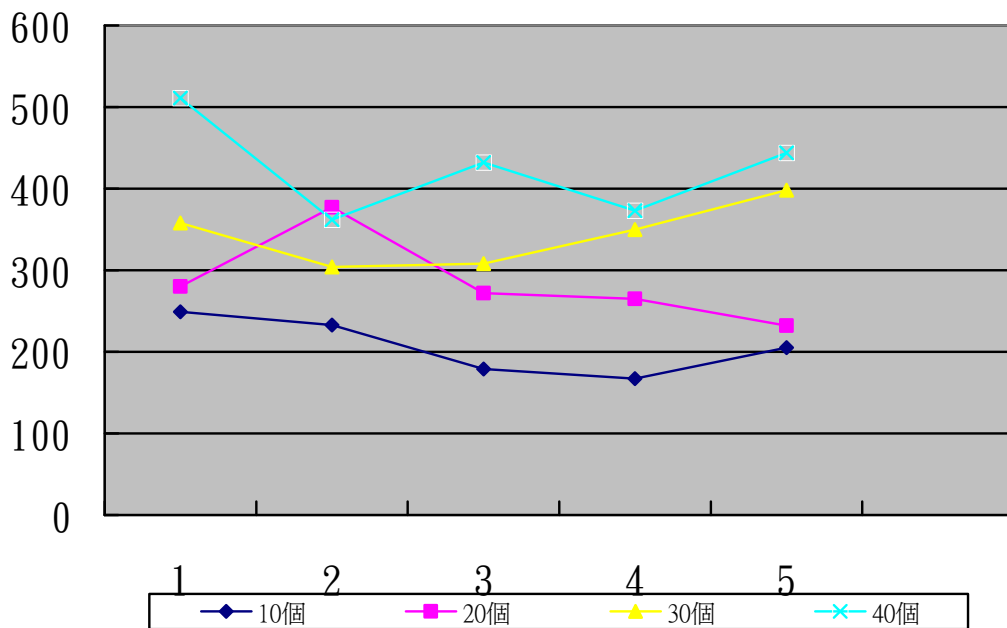
- 1、施力臂長度 10 公分。
- 2、抗力臂長度 20 公分，材質為竹筷、免洗湯匙。
- 3、砲彈重量 1 個塑膠小方塊。



實驗結果

華司個數 次序	10 個	20 個	30 個	40 個
第 1 次	249	280	358	511
第 2 次	233	377	304	362
第 3 次	179	272	308	432
第 4 次	167	265	350	373
第 5 次	205	232	398	444
平均	206.6	285.2	343.6	424.4

以不同華司重量作為施力來源與投射距離之關係



討論

施力重量為 40 個華司時，投射距離最遠。投射距離與原先所想一樣，也就是：在施力臂與抗力臂固定的情形下，砲彈數量也不改變，則施力越大投射距離也會越遠。原則上我們爲了能取得最遠的投射距離，我們希望能夠施予最大的力量，可是現實生活中我們卻無法對投石器施最大的力，一來因爲施予投石器太大的力很費功夫，二來根據我們實驗的結果我們發現：10 個華司所投出來的距離平均是 206.6 公分，40 個華司所投出來的距離是 424.4 公分，華司增加爲原來的 4 倍，可是距離卻只增加爲原來的兩倍。因此我們推測，當施力來到一定的重量時，投射的距離將不再增加。因爲礙於設備關係，我們只將實驗進行到 40 個華司，希望有機會能夠進行到更多的華司數量，以證明我們的假設。

【實驗四】施力點施力方式不同與投射距離之關係？

實驗方法

※操縱變因：華司的各數為 20 個(每 10 個華司綁成一串)，擺放位置為前後、左右，置放於底片盒中及固定於投射桿底端四種方式。

※控制變因：

- 1、施力臂長度 10 公分。
- 2、抗力臂長度 20 公分，材質為竹筷、寶特瓶蓋。
- 3、砲彈重量 1 個塑膠小方塊



華司串前後擺放



華司串左右擺放

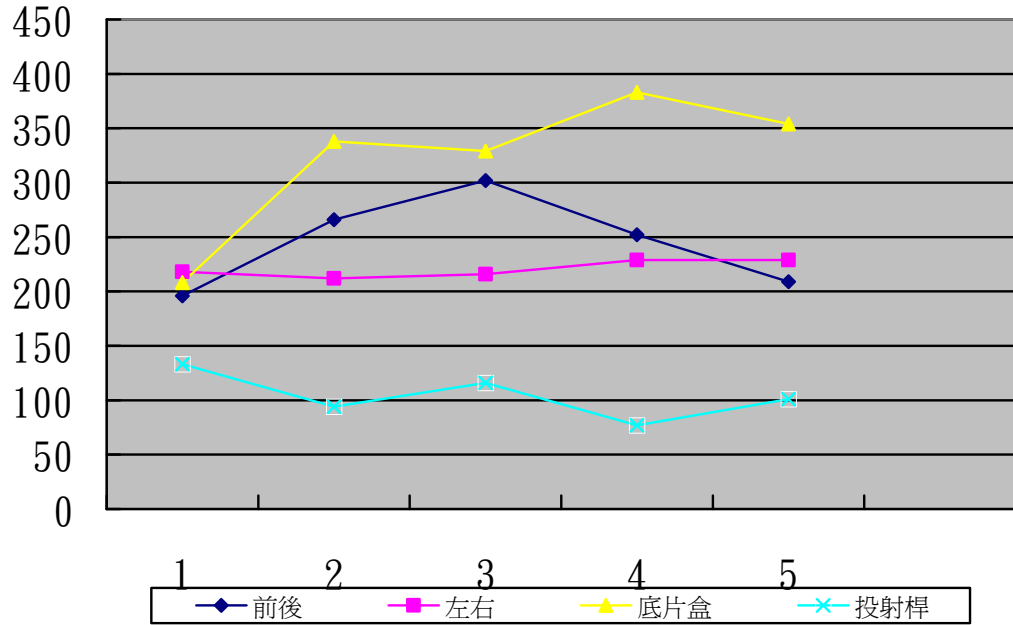


華司串放於底片盒中

實驗結果

華司擺放位置 次序	20個華司前後擺放	20個華司左右擺放	20個華司置放於底片盒中	20個華司固定於投射桿底端
第1次	196cm	218cm	208cm	133cm
第2次	266cm	212cm	338cm	94cm
第3次	302cm	216cm	329cm	116cm
第4次	252cm	229cm	383cm	77cm
第5次	209cm	229cm	354cm	101cm
平均	245cm	220.8cm	302.4cm	104.2cm

施力點施力方式不同與投射距離之關係



討論

根據之前我們所找的資料與實驗的結果，我們發現在投石器的力臂長度不變之下，施力臂所做的功對於砲彈距離有很大的影響。因此在這個實驗中，我們針對如何施作功於施力臂上做了不同的設計，並得到以下的結論：

- 1、投射距離大小為：華司固定放於底片盒中 > 前後擺放 > 左右擺放 > 固定於投射桿底端。
- 2、華司串前後擺放的時候，投射距離比左右擺放長，但比華司固定放於底片盒中短。
- 3、另外如果將華司完全固定於投射桿底端，而不能擺動獲自由搖晃，則投射距離是最短的。

【實驗五】以彈簧條作為施力來源與投射距離之關係?

實驗方法

※操縱變因:彈簧條的數量，分別為 1、2、3、4 條

※控制變因:

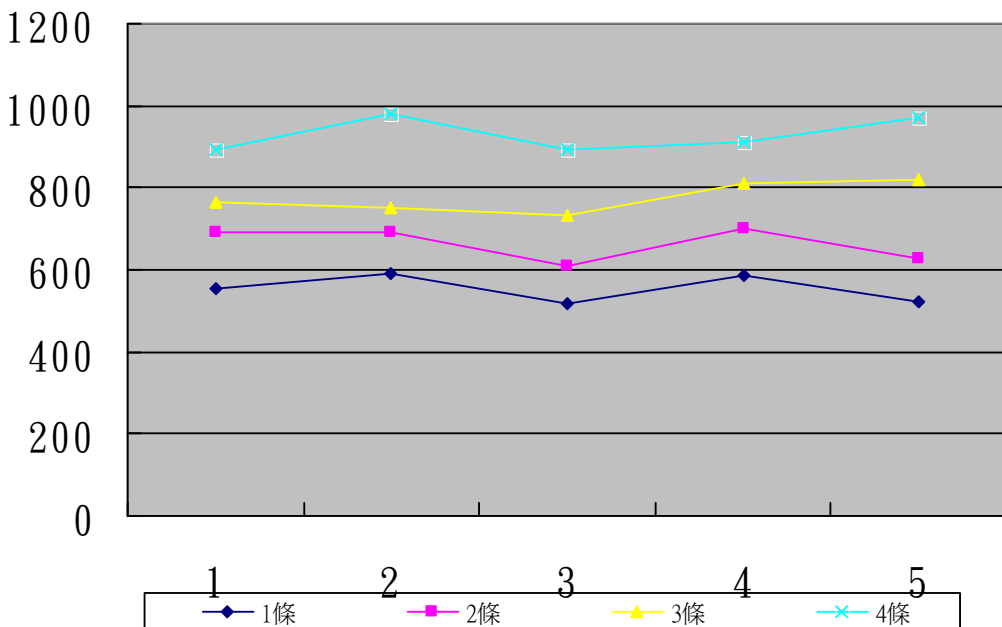
- 1、施力臂長度 10 公分
- 2、抗力臂長度 20 公分，材質為竹筷、寶特瓶蓋。
- 3、砲彈重量一個塑膠方塊



實驗結果

彈簧條數 次序	1 條	2 條	3 條	4 條
第 1 次	554cm	691cm	765cm	893cm
第 2 次	593cm	691cm	750cm	980cm
第 3 次	517cm	609cm	732cm	892cm
第 4 次	584cm	702cm	810cm	910cm
第 5 次	520cm	629cm	820cm	969cm
平均	553.6	664.4	775.4	928.8

以彈簧條作為施力來源與投射距離之關係



討論

實驗的結果顯示：投射距離會隨著彈簧條數量的增加而增加。這就表示彈簧條數量愈多，所施用的彈力愈大(也就是所做的功愈大)，讓砲彈射出的距離也就愈遠。在這個實驗中，原本投射桿是以竹籤做成的，但是彈簧條的力量太強了，竹籤承受不了，所以改用竹筷子做投射桿。另外又考慮到免洗湯匙常常會有砲彈滑出的現象，所以這次實驗改成利用寶特瓶蓋為投射裝置。

【實驗六】投石器砲彈重量與投射距離之關係？

實驗方法

※操縱變因:砲彈重量分別 1 、2 、3 、4 個塑膠小方塊

※控制變因:

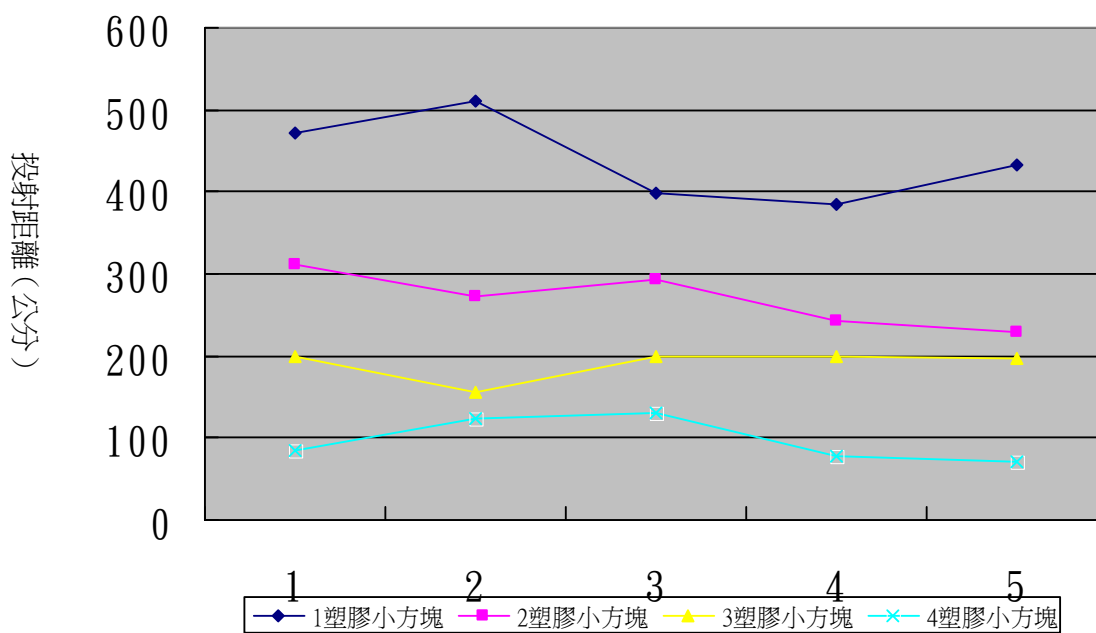
- 1、施力大小 25 個華司
- 2、施力臂長度 10 公分
- 3、抗力臂長度 30 公分材料為竹籤、免洗湯匙。



實驗結果

砲彈個數 次序	1 個	2 個	3 個	4 個
第 1 次	472cm	312cm	200cm	84cm
第 2 次	510cm	272cm	155cm	124cm
第 3 次	398cm	294cm	200cm	130cm
第 4 次	384cm	243cm	199cm	78cm
第 5 次	432cm	230cm	196cm	71cm
平均	439.2	270.2	190	97.4

投射桿抗力臂長度與投射距離之關係



討論

隨著砲彈重量的增加，投射距離也愈來愈短。這表示砲彈的重量將會消耗掉施力臂所做的功，因此砲彈的距離將會縮短。值得注意的是若砲彈的重量增加到超過施力臂所做的功時，投石器將無法把砲彈送出，因此控制砲彈重量十分重要，不能因為想要將砲彈送出，而不斷在投石器上添加砲彈。

【實驗七】不同長度的投石器可以搭載砲彈的重量

實驗方法

※操縱變因：改變竹籤抗力臂的長度，分別為 10、20、30、40 公分

砲彈重量：30 公克、60 公克、90 公克、120 公克、150 公克

※控制變因：

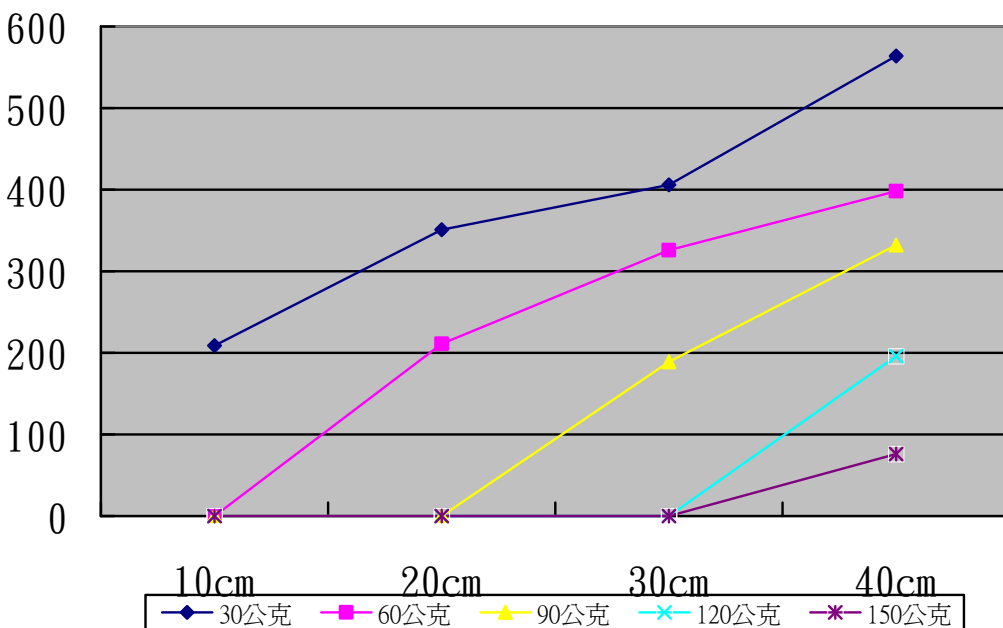
1、施力大小 25 個華司+一個底片盒(40 公克)

2、施力臂長度 10 公分

實驗結果

施力臂 砲彈重量	10cm	20cm	30cm	40cm
30 公克	209 cm	351cm	406 cm	564 cm
60 公克	X	211cm	326cm	398cm
90 公克	X	X	189cm	332cm
120 公克	X	X	X	196cm
150 公克	X	X	X	98cm

不同長度的投石器可以搭載砲彈的重量



討論

在這次的實驗中我們發現【施力大小×施力臂】必須大於【抗力大小×抗力臂】，否則砲彈將無法彈射出去。例如在實驗中，10 公分的施力臂只能將 30 公克的砲彈發射出去，其餘的砲彈因為太重了所以無法發射出去。隨著砲彈重量的逐漸增加，最後只剩下 40 公分的施力臂能將 150 公克的砲彈發射出，而且還無法發射很遠的距離。值得注意的是在實驗中，30 公分的施力臂在第四次放置 120 公克的砲彈時，兩邊的力量相差無幾，因此砲彈也無法彈射出去。因此為了避免此一狀況發生，最好能將砲彈的重量控制好，避免因為砲彈重量過重而發生射擊不出去的窘境。

陸、研究結果與討論

一、投射的抗力臂長度與投射距離的關係

- 1、投射桿的抗力臂長度愈長，砲彈投射出去的距離也愈遠。
- 2、使用免洗湯匙作為投射砲彈的投射端，由於表片光滑，而且末端又是低角度的邊緣，砲彈容易從湯匙末端滑出去，可以加砂紙改善，或是使用其他的物品作為投射端，例

如寶特瓶蓋就是一個方法。

二、施力大小與投射距離的關係

- 1、彈簧數量愈多，拉力愈大，投射距離愈遠。
- 2、以華司串的重量作為施力來源，雖然重量愈重頭涉距離也愈遠，但投射距離變化呈現混亂狀態。
- 3、以底片盒裝華司，並掛於投射桿底端，則華司數量愈多，投射距離愈遠。
- 4、施力的重物固定於施力端完全不能擺動的時候，砲彈投射距離不遠。

三、投石器的砲彈重量與投射距離之關係

- 1、砲彈重量愈重，投射距離就愈近。
- 2、投射桿的抗力臂長度愈長，投射出去的距離也愈遠。
- 3、施用的力量愈大，投射出去的距離也愈遠。
- 4、砲彈重量愈重，投射距離也愈近。

柒、參考資料及其他

- 一、蕭次融、施建輝、羅芳晷、謝迺岳、吳原旭、房漢彬合著，動手玩科學 2，遠哲科學教育基金會 91 年 9 月出版，P74-79。
- 二、珍妮絲·派特·范克勞馥著，林怡芬譯，不可思議的科學實驗室－物理篇，世茂出版社 87 年 10 月出版，P62-64。
- 三、橫山光輝（民83）。三國志漫畫版第六十冊 189~240 頁。台北：小禾文化出版社。
- 四、康軒版自然與生活科技第八冊教師手冊。