

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081510

攻城利器－投石器的探討

學校名稱：屏東縣潮州鎮光春國民小學

作者： 小六 白翁任 小六 洪關強 小六 戴瑜慧 小六 顏序芳	指導老師： 陳景輝、林美鐘
---------------------------------------------	------------------

關鍵詞：投石器、槓桿原理

攻城利器——投石器的探討

摘要：

投石器是古代的攻城利器，要打破堅固的城牆，沒有它可是困難重重。但是投石器可不是胡亂投，用亂石打鳥的方式來攻擊的，砲彈的落點是可以計算出來的。

投石器的結構主要區分為底座與投射桿兩個部份，投射桿又可區分為投射端(抗力點)、支點、重物端(施力點)三個部份。

影響投石器投射距離的因素有：抗力臂的長度、施力大小、砲彈重量。

- 1、 抗力臂長度愈長，投射距離愈遠。
- 2、 施力愈大，投射距離愈遠。
- 3、 砲彈重量愈重，投射距離愈近。

投石器要投得準，施力的構造必須要很穩定，每次的施力大小、方向都要一樣，所以施力的重物最好能集中成一組，較好控制力量大小。做為施力用的重物，必須要能夠擺動，利用由高處落下的重力以及到最低點時甩動的力量，把砲彈甩出去，如果重物與投射桿固定連接在一起，由於缺乏甩動的力量，是投不遠的。

關鍵字：投石器、槓桿原理

壹、研究動機：

電腦遊戲世紀帝國中，兩方戰鬥到最後的殲滅階段就要把敵人的城堡摧毀，消滅敵國的國王，才完成勝利，而國王到最後總是躲在堅固的城堡之中，這個時候如果有一台投石器，攻城將事半功倍，敵國國王馬上手到擒來。投石器真是攻城戰之中最厲害的武器了。

看到電影王者天下，最後的一段攻城戰，撒拉丁進攻耶路撒冷，撒拉丁攻城的第一步就是使用投石器攻擊，投石器的砲彈可破壞城牆結構，毀壞民房，投射的若是著火的砲彈或是油罐威力更是驚人，當然守城的貝里昂也不是省油的燈，除了堅守城池以外，也會適時的運用投石器反擊，有一個場景是貝里昂在城牆外固定距離的地方做上記號，當撒拉丁攻城的軍隊行進到記號處，貝里昂一聲令下，投石器就投射到做記號的地方。原來投石器可不是亂投的，它還可以計算出砲彈落下的距離，好給敵人致命的一擊。但是，它是怎樣算出來的呢？投石器要怎樣才能投射得又遠又準呢？我在想著呢！

我們在五下的自然當中，學到過巧妙的施力工具，利用槓桿原理，利用很小的力氣，就可以舉起很重的東西，同樣的，也可以利用比較大的力量，使一個較輕的物體移動的速度很快，投石器的構造就像是槓桿原理的運用。

貳、研究目的

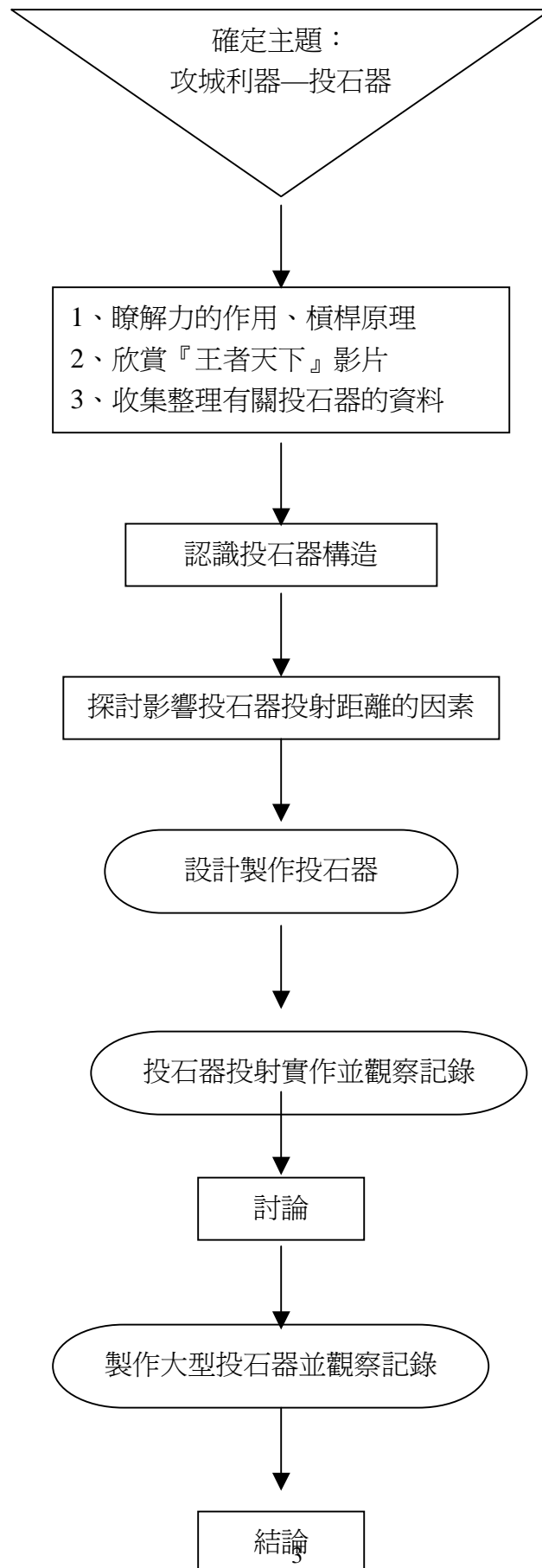
- 一、探討施力大小與投射距離的關係。
- 二、探討投石器投射桿(抗力臂)長度與投射距離的關係。
- 三、探討投石器的砲彈重與投射距離之關係。

參、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	製作投石器
橡皮筋	產生施力、製作投石器
螺絲帽	做為砲彈
迴紋針	懸掛重物之掛勾
免洗湯匙	投射桿之裝砲彈之裝置
砂紙	增加摩擦力
捲尺	測量投測距離
竹竿	製作大型投石器
童軍繩	製作大型投石器
花盆	放置製作大型投石器的砲彈—壘球
壘球	作為大型投石器的砲彈
保特瓶	做為大型投石器的施力來源

肆、研究過程或方法

一、研究流程圖



二、投石器的構造(以『王者天下』中之投石器為範例)

投石器構造主要可分成二個部份

(一)底座：用來固定投射桿，並做為整個投射作用的支點。

(二)投射桿：中間連接底座，做為支點。一端是裝載砲彈的投射端，做為抗力點，另一端擺放重物，做為投射砲彈之力量來源，是為施力點。

本次實驗所製作之投石器是以竹筷子做為底座，利用熱融膠將竹筷子黏結在一起，以竹籤做為投射桿，一端利用熱融膠黏住免洗湯匙，做為投射端，另外一端透過迴紋針與華司組連結在一起，做為施力點。

三、探討影響投石器投射距離的因素

經由觀察投石器的構造，我們認為影響投石器投射距離的因素有

(一)抗力臂的長度。

(二)施力的大小。

(三)砲彈的重量。

四、製作大型投石器

將原本用竹筷子做的投石器模型放大，製作大型投石器。製作大型投石器的材料有：竹竿、花盆、童軍繩、壘球。



製作大型投石器



投石器完成品

五、研究方法

(一)探討投射桿的抗力臂長度對投射距離的關係

假設：抗力臂長度愈長，投射距離愈遠。

- 1、利用竹籤製作不同長度抗力臂：利用相同材質的竹籤製作施力臂長度相同(10公分)，但是抗力臂長度(10、20、30、40公分)不同的投射桿，測量所投射出去砲彈的落地距離。

(二)探討施力大小與投射距離的關係

假設：施力愈大，投射距離愈遠。

- 1、以華司的重量為施力大小：以相同的投石器，在施力點分別掛上不同重量的重物(10、20、30、40個華司)，測量所投射出去砲彈的落地距離。
- 2、以不同數量的橡皮筋為施力大小：以相同的投石器，在施力點分別勾住不同數量的橡皮筋(1、2、3、4條橡皮筋)，測量所投射出去砲彈的落地距離。

(三)探討投石器的砲彈重量與投射距離之關係

假設：砲彈重量愈重，投射距離愈近。

投石器構造材料均相同，改變不同重量的砲彈(1、2、3、4個螺絲帽)，測量投射出去砲彈的落地距離。

伍、研究結果

實驗一：投射桿抗力臂長度與投射距離之關係—以【竹籤】做為抗力臂

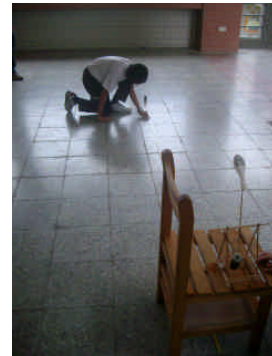
(一)操縱變因：改變竹籤抗力臂的長度，分別為 10、20、30、40 公分。

(二)控制變因：

- 1、施力大小 25 個華司+1 個底片盒
- 2、施力臂長度 10 公分
- 3、砲彈重量 1 個螺絲帽



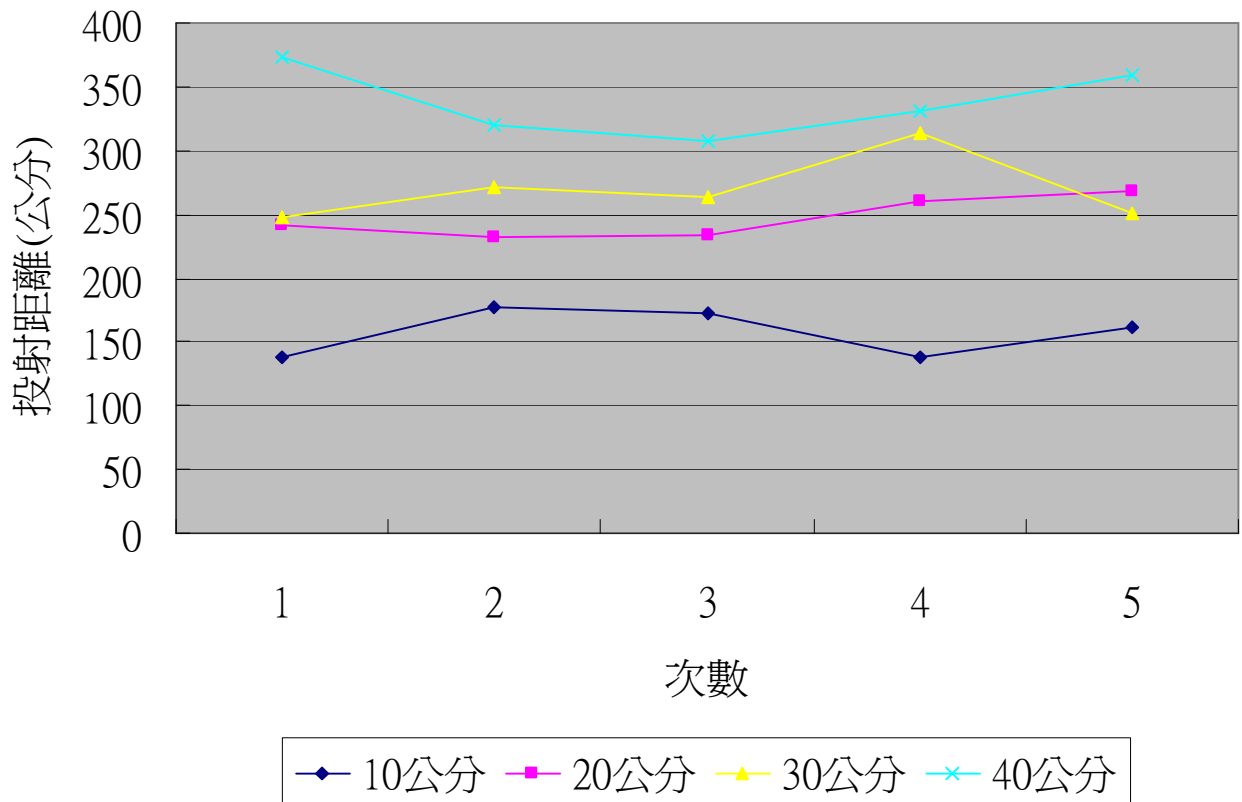
四種不同長度的投射桿



(三)實驗結果：

抗力臂長 次數	10	20	30	40
1	138	242	248	374
2	177	232	271	320
3	173	233	264	307
4	138	260	313	331
5	162	268	251	360
平均	157.6	247	269.4	338.4

投射桿抗力臂長度與投射距離之關係



(四)小討論：

- 1、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。
- 2、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。我們想說是不是因為免洗湯匙太光滑了，沒有足夠的摩擦力讓砲彈停留在湯匙中，為了增加摩擦力，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。

實驗二：施力大小與投射距離之關係—以【橡皮筋數量】做為施力來源

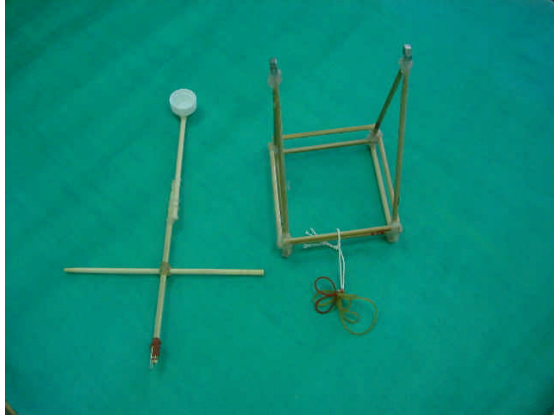
(一)操縱變因：橡皮筋的數量，分別為 1、2、3、4 條

(二)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、保特瓶蓋。

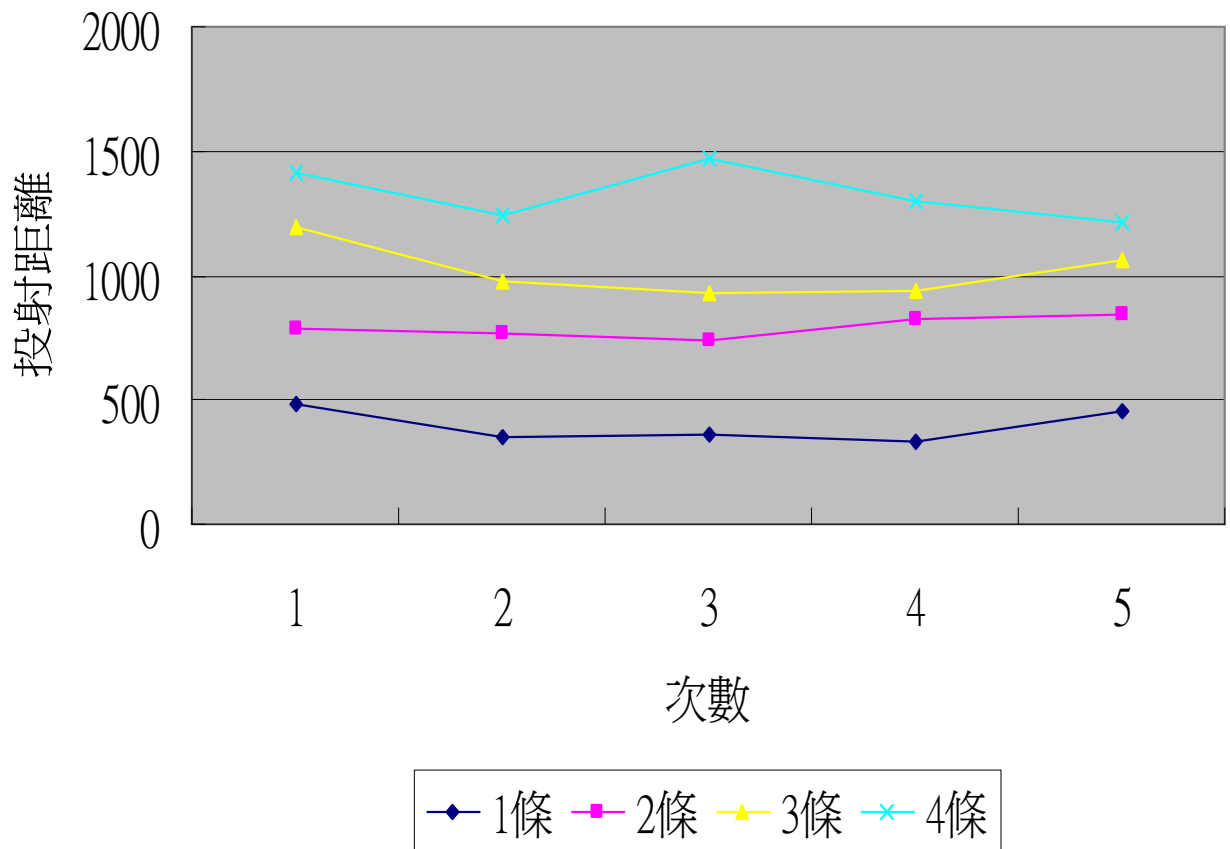
3、砲彈重量 1 個螺絲帽



(三)實驗結果：

橡皮筋數 次數	1	2	3	4
1	480	787	1195	1410
2	350	771	975	1237
3	358	735	932	1470
4	331	823	943	1300
5	454	844	1066	1210
平均	394.6	792	1022.2	1325.4

施力大小與投射距離之關係—以【橡皮筋數量】做為施力來源



(四)小討論：

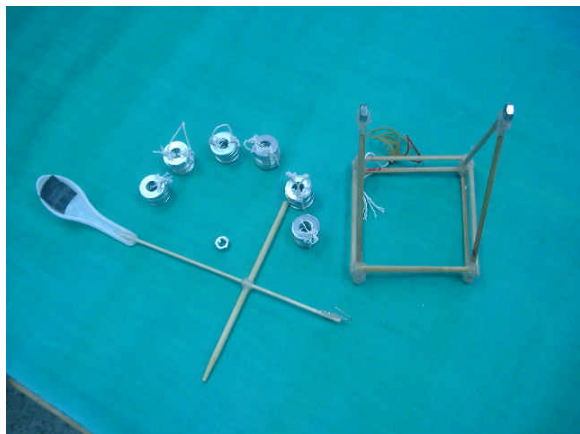
- 1、投射距離隨著橡皮筋數量的增加而增加。表示橡皮筋數量愈多，所施用的彈力愈大。
- 2、原本投射桿是以竹籤做成，但是橡皮筋的力量太強了，竹籤承受不了，所以本次實驗改用竹筷子做投射桿。又考慮到免洗湯匙常常會有砲彈滑出的現象，所以本次實驗改成利用保特瓶蓋為投射裝置。

實驗三：施力大小與投射距離之關係—以【華司之重量】做為施力來源

(一)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)

(二)控制變因：

- 1、施力臂長度 10 公分
- 2、抗力臂長度 20 公分，材質為竹籤、免洗湯匙。
- 3、砲彈重量 1 個螺絲帽



準備了六個華司串，每 10 個華司綁成一串



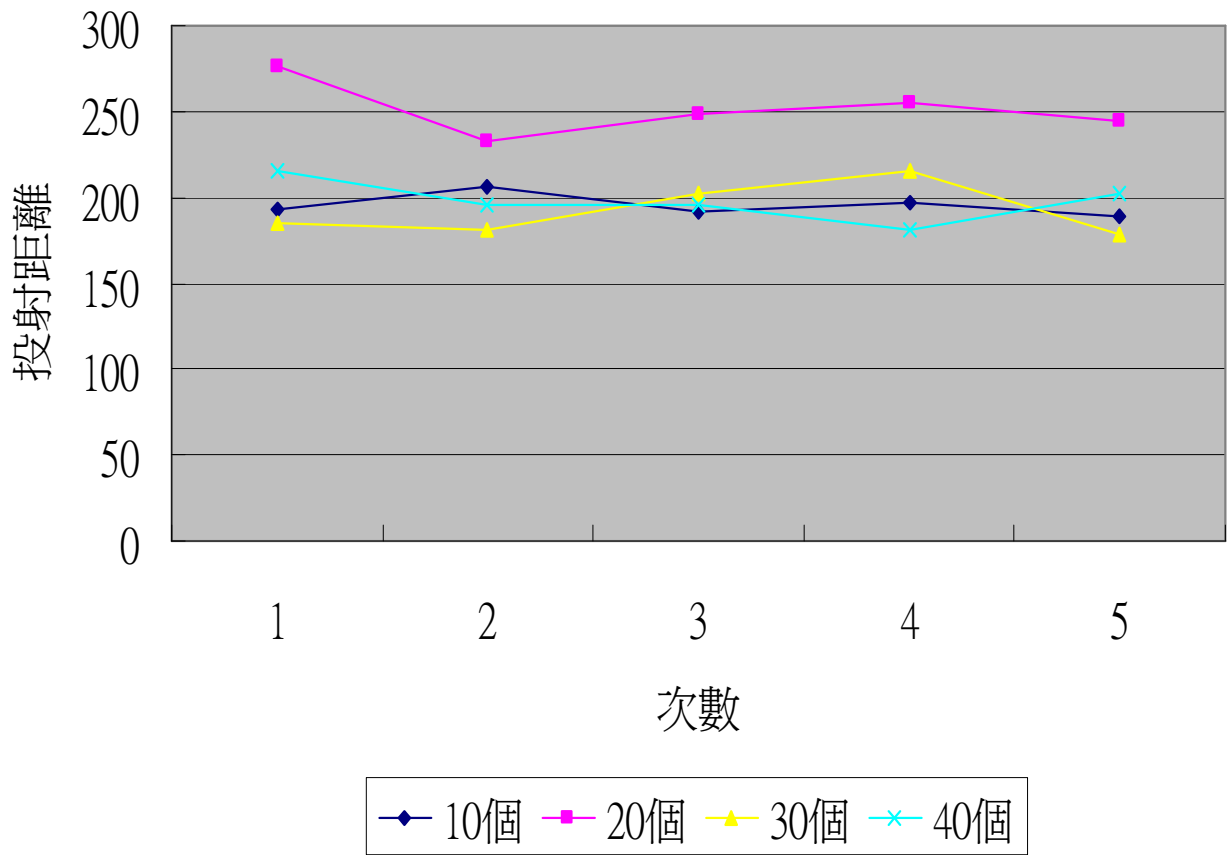
竹籤做的投射桿，掛上四個華司時呈彎曲狀

(三)實驗結果：

華司個數 次數	10	20	30	40
1	193	276	185	215
2	206	232	181	70*
3	191	248	202	196
4	197	255	216	195
5	189	245	178	181
6	X	X	X	202
平均	195.2	251.2	192.4	197.8

*70 公分與其他各項資料相差太多，故不列入計算。

施力大小與投射距離之關係—以【華司重量】做為施力來源



(四)小結論：

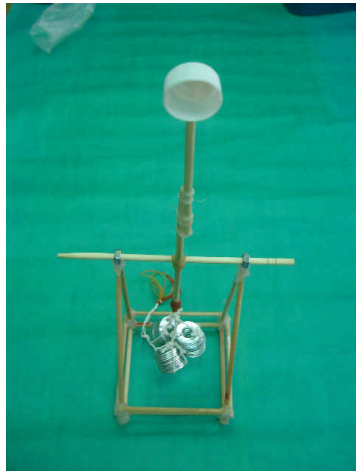
- 1、施力重量為 20 個華司的時候，投射距離最遠，明顯的與其他各組不同。
- 2、施力重量為 10、30、40 個華司的時候，投射距離互相交錯，無法呈現出多少個華司才能投射得比較遠。
- 3、投射距離並沒有按照原先所想的：施力愈大，投射距離愈遠。
- 4、抗力臂的材質為竹籤，較為柔軟，當施力愈大的時候，會呈現彎曲的狀態。本來以手按住湯匙末端，控制其發射與否，但是隨著施力的增加，砲彈開始出現發射不出去的現象，而是反彈掉到相反方向。當施力為 30 個華司時，做十二次的操作，才成功五次，當施力為 40 個華司時，連續七次失敗。
- 5、當華司數量為 30 或 40 個時，可觀察到砲彈的飛行路徑是從投射桿的最高點，直接向地面發射。
- 6、實驗結果與實驗二之結論明顯相違背，討論可能發生之原因，可能是因為投射桿材質不同之關係，所以有實驗三之更改設計 1 之實驗。

實驗三(增加設計 1)：施力大小與投射距離之關係—以【華司之重量】做為施力來源

(一)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)

(二)控制變因：

- 1、施力臂長度 10 公分
- 2、抗力臂長度 20 公分，**材質更改為竹筷、保特瓶蓋。**
- 3、砲彈重量 1 個螺絲帽

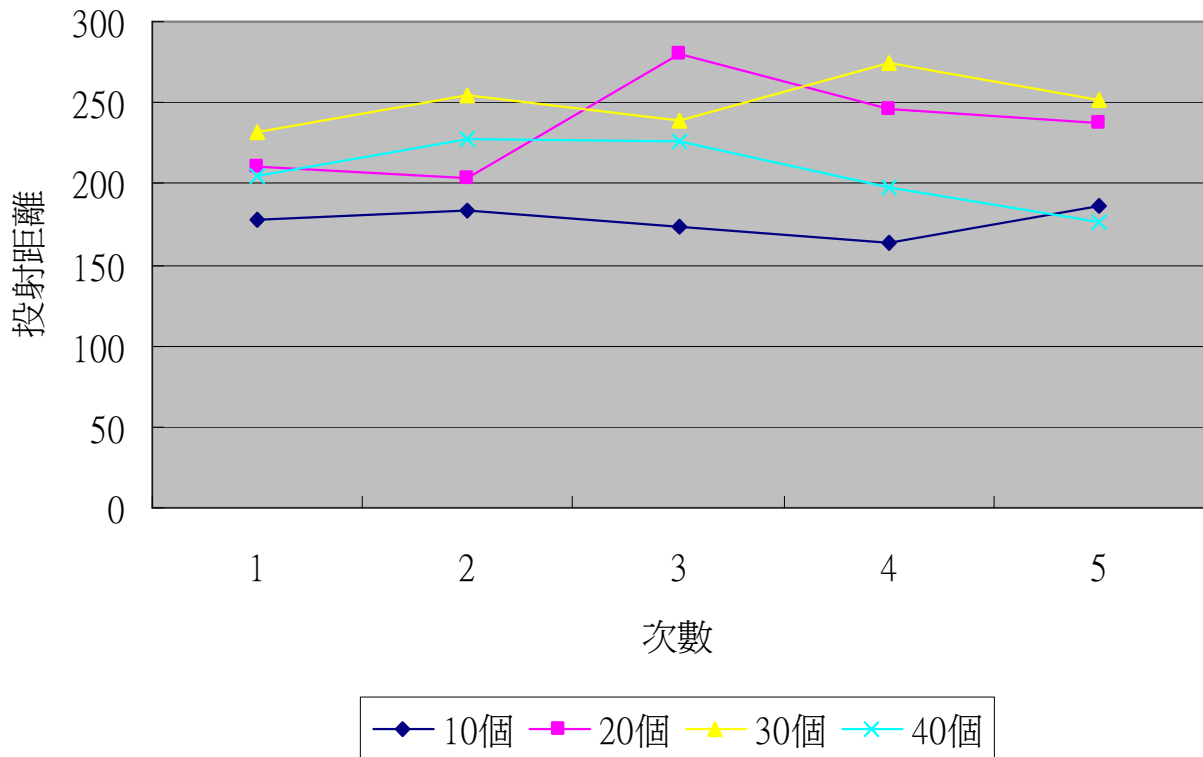


用竹筷和保特瓶蓋做的投射桿，掛上四串華司串也不會彎曲

(三)實驗結果：

華司個數 次數	10	20	30	40
1	178	211	232	205
2	183	204	254	228
3	174	280	239	226
4	164	246	274	198
5	186	238	252	177
平均	177	235.8	250.2	206.8

施力大小與投射距離之關係—以【華司之重量】做為施力來源



(四)小討論：

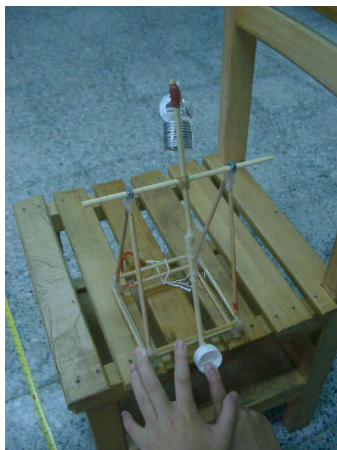
- 1、以平均投射距離來看，華司由 10 個增加到 30 個，投射距離也跟著增加，但是當華司數量為 40 個時，平均距離突然下降。
- 2、平均投射距離最遠者為 30 個華司，但是單次投射距離最遠的記錄 280 公分，卻是發生在 20 個華司的情形中。
- 3、在華司為 20 個情況中，投射最遠距離 280 公分，最近距離 204 公分，相差達 76 公分，已經超過了最近距離的 1/3，這樣的誤差似乎太大了一點。同樣的，在華司為 30 個的情況中，最遠與最近相差 42 公分；在華司為 40 個的情況中，最遠與最近相差 51 公分；只有在 10 個華司的情況中，最遠與最近相差 22 公分，是 4 組數據中最小的。因此，我們懷疑是不是因為華司串會互相干擾。所以產生了增加設計 2。

實驗三(增加設計 2)：施力大小與投射距離之關係—以【華司之重量】做為施力來源

(一)操縱變因：華司的個數為 20 個(每 10 個華司綁成一串)，擺放位置為前後擺放、左右擺放，置放於底片盒中、固定於投射桿底端。

(二)控制變因：

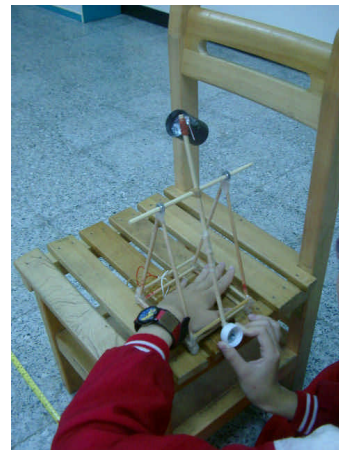
- 1、施力臂長度 10 公分
- 2、抗力臂長度 20 公分，材質為竹筷、保特瓶蓋。
- 3、砲彈重量 1 個螺絲帽



華司串前後擺放



華司串左右擺放

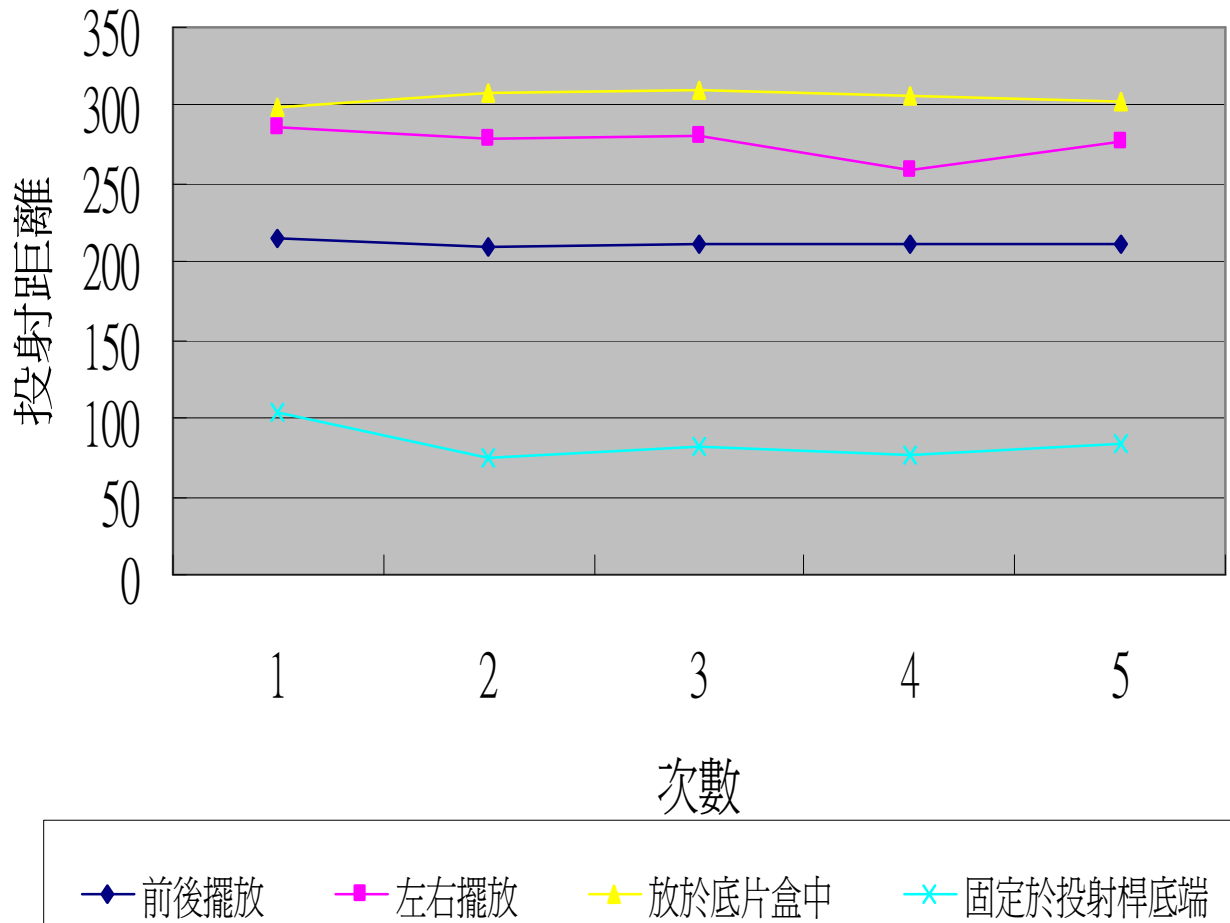


華司置放於底片盒中

(三)實驗結果：

華司個數 次數	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
1	216	286	299	104
2	210	279	308	75
3	211	281	310	82
4	212	258	307	77
5	212	277	303	84
平均	212.2	276.2	305.4	84.4

施力大小與投射距離之關係—以【華司重量】為施力來源



(四)小結論：

- 1、投射距離大小為：
華司固定置放於底片盒中 > 左右擺放 > 前後擺放 > 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短，又比華司固定放於底片盒中短，證明了分開的華司串會互相干擾，而且在前後擺放時的干擾最嚴重，華司落下的力量會互相抵消，從這裡也可以找到【實驗三及增加實驗 1】，為什麼華司的數量增加，但是投射距離卻沒有跟著增加的原因。
- 3、另外如果將華司完全固定於投射桿底端，而不能擺動或自由搖晃，則投射距離是最短的。

實驗三(增加設計 3)：施力大小與投射距離之關係—以【華司之重量】做為施力來源

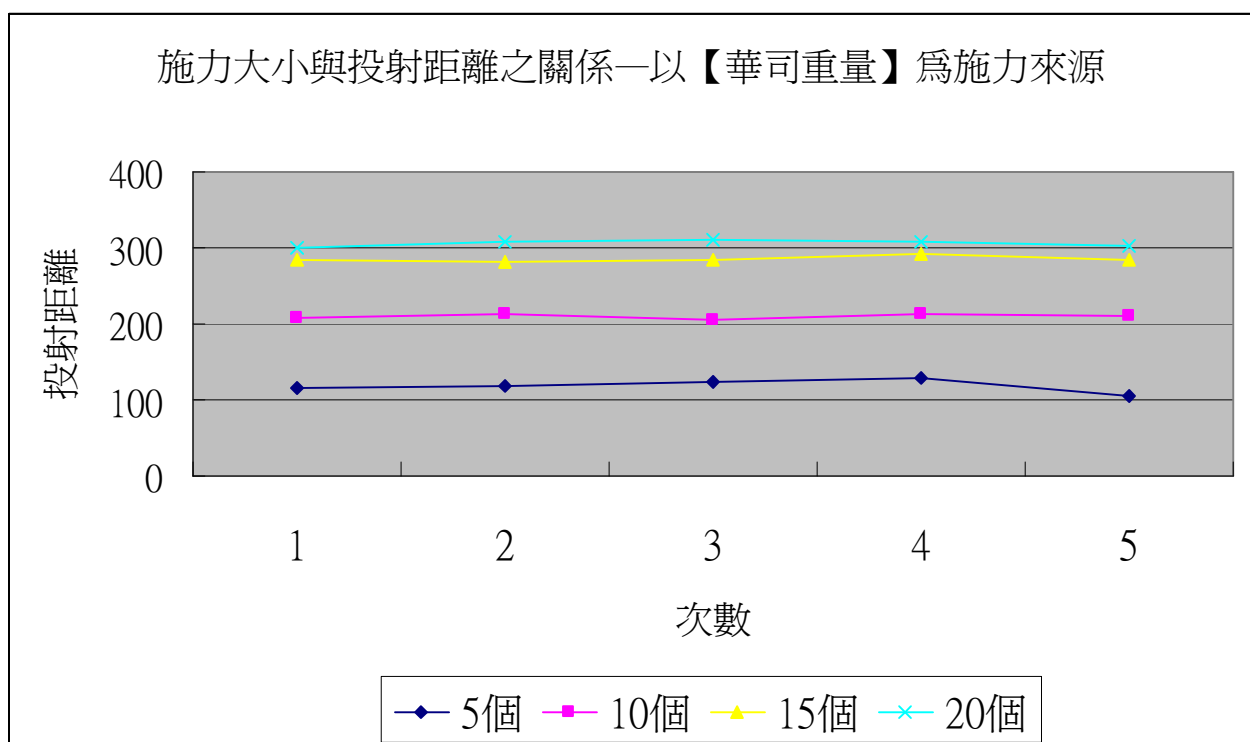
(一)操縱變因：華司每 5、10、15、20、25 個置放於底片盒中做為施力。

(二)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、保特瓶蓋。
- 3、砲彈重量 1 個螺絲帽

(三)實驗結果：

華司個數 次數	5	10	15	20
1	117	208	283	299
2	119	212	281	308
3	125	204	285	310
4	129	213	291	307
5	105	211	285	303
平均	119	209.6	285	305.4



(四)小討論：

- 1、華司的數量愈多，投射距離愈遠。
- 2、隨著華司數量的增加，平均投射距離差愈來愈小。

實驗四：投石器的砲彈重量與投射距離之關係

(一)操縱變因：砲彈重量，分別為 1、2、3、4 個螺絲帽

(二)控制變因：

1、施力大小 25 個華司

2、施力臂長度 10 公分

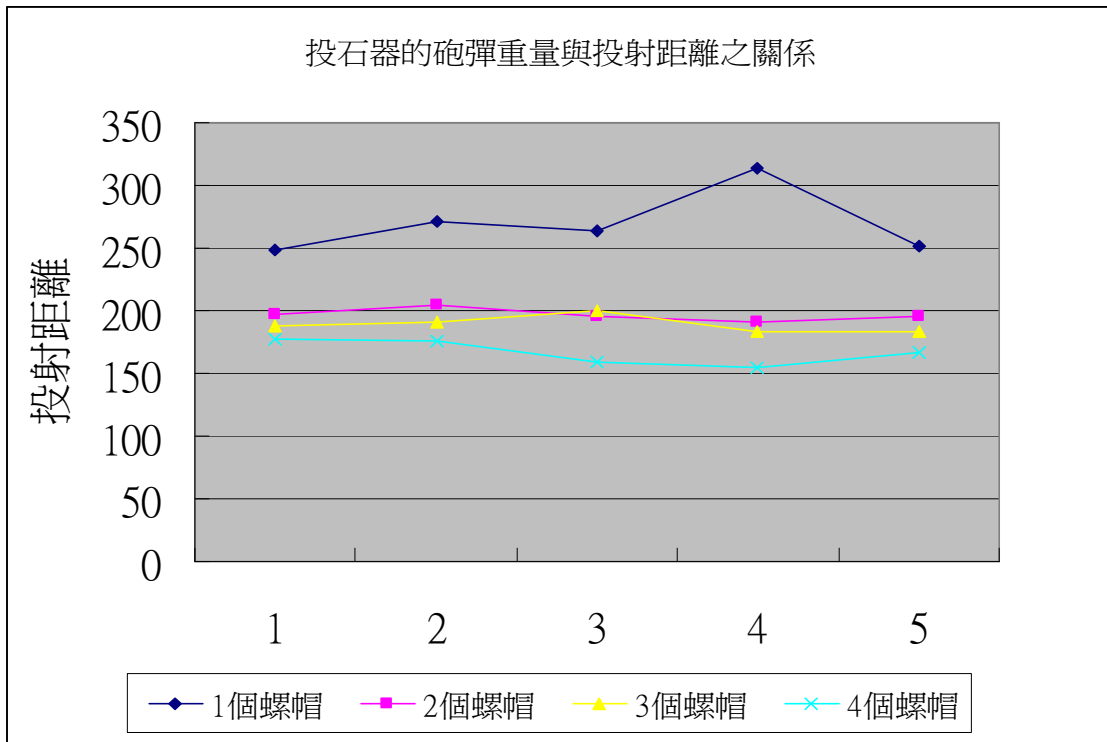
3、抗力臂長度 30 公分，材質為竹籤、免洗湯匙。



不同重量的砲彈

(三)實驗結果：

砲彈重量 次數	1	2	3	4
1	248	197	188	178
2	271	204	191	176
3	264	196	200	159
4	313	191	184	155
5	251	196	183	167
平均	269.4	196.8	189.2	167



(四)小討論：

- 1、隨著砲彈重量的增加，投射距離愈來愈短。

實驗五：大型投石器實作

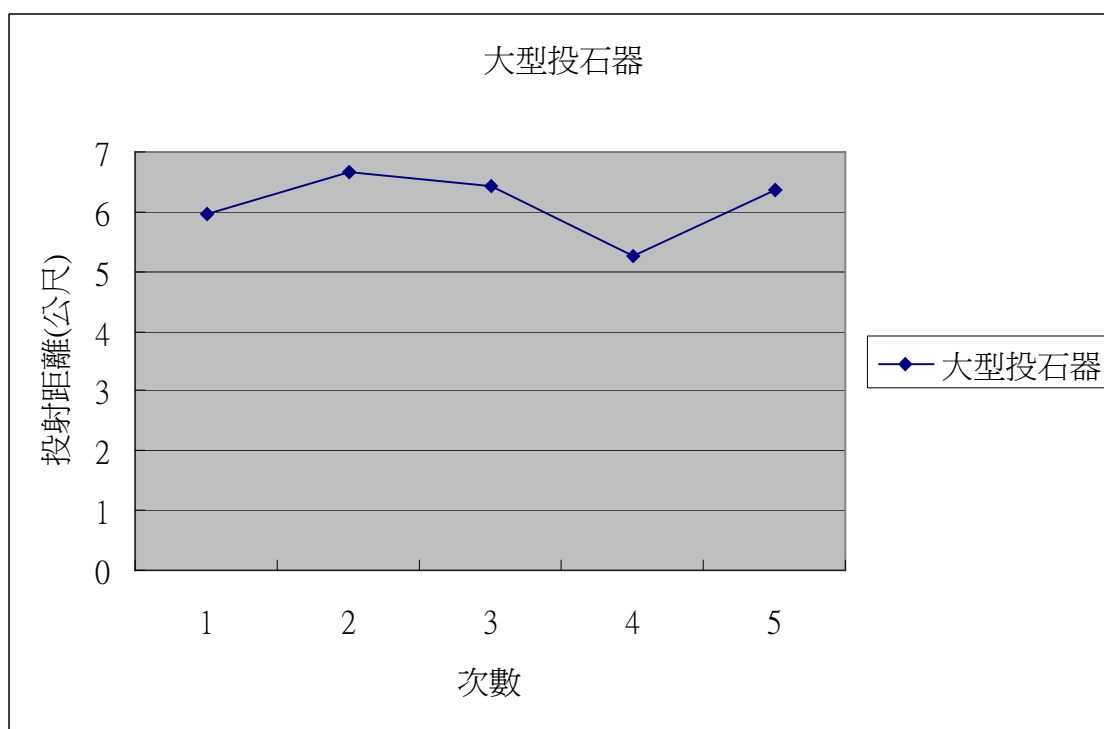
(一)抗力臂長度：180 公分

(二)施力用重物：600ml 的保特瓶 16 個，裝滿水，總重 9.6 公斤

(三)砲彈材料：壘球

(四)實作結果

次數	1	2	3	4	5	平均
距離(公尺)	5.95	6.65	6.44	5.25	6.37	6.132



(四)小討論：

平均投射距離只有 6.132 公尺，跟原本預期的超過十公尺，甚至二十公尺落差滿大，探討其中原因，發現我們的大型投石器有很多技術上的困難需要克服。

- (1) 利用童軍繩綁竹竿，竹竿交接的地方不容易固定，尤其是兩側立起來做為支點的部份，需要有人在旁支持，否則容易傾倒，整個投石器底座為較不穩定狀態。
- (2) 做為支點的竹竿太細了，如果用太大的力量，會承受不住而彎曲。
- (3) 做為投射桿的竹子無法承受太大的力量，一樣會呈現彎曲的狀態，或是旋轉，使得投射出去的壘球無法按照原預定路線前進。
- (4) 支點與底座交接的地方是竹竿與竹竿直接相連，轉動的情形較不理想，摩擦力較大，如能在這個地方安裝較光滑的溝槽，可能有助於投射距離。

陸、討論

一、投射桿的抗力臂長度與投射距離的關係

(一)投射桿的抗力臂長度愈長，砲彈投射出去的飛行距離也愈遠。

(二)使用免洗湯匙做為投射砲彈的投射端，由於表面光滑，而且末端又是低角度的邊緣，砲彈容易從湯匙末端滑出去，可加砂紙改善，或是使用其他的物品作為投射端，例如保特瓶瓶蓋就是一個方法。

二、施力大小與投射距離的關係

(一)橡皮筋數量愈多，拉力愈大，投射距離愈遠。

(二)以華司串的重量做為施力來源，由於兩個以上的華司串會互相干擾，抵消彼此的力，所以投射距離變化呈現混亂狀態，有時很遠，有時卻很近，華司串愈多，重量愈重，可是投射距離卻不是最遠。

(三)以底片盒裝華司，並掛置於投射桿底端，則華司數量愈多，投射距離愈遠。

(四)施力用的重物固定於施力端而不擺動的時候，砲彈投射不遠。

三、投石器的砲彈重量與投射距離之關係

砲彈的重量愈重，投射距離愈近。

柒、結論

一、投射桿的抗力臂長度愈長，投射出去的距離也會愈遠。

二、施用的力量愈大，投射出去的距離愈遠。

三、砲彈重量愈重，投射距離愈近。

捌、參考資料及其他

一、蕭次融、施建輝、羅芳晁，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、南一版自然與生活科技第六冊教師手冊。

四、守城術 <http://vm.nthu.edu.tw/history/shows/show01/sung.siege/defence-g01.html>

評 語

081510 攻城利器-投石器的探討

1. 表達、實際操作均佳。
2. 實驗內容可再補強。參展報告亦可再補強。