

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國小-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 小 組

作品名稱：超上古兵器——投石器之研究

關 鍵 詞：發射桿、投石器、槓桿原理

編 號：080117

學校名稱：

臺北市中正區螢橋國民小學

作者姓名：

李家銘、林宗慶、宋柏輝、蔡鎧鴻

指導老師：

賴協志



超上古兵器---投石器之研究

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——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」，回到了我那溫暖的小窩，拿起那 NOKIA3310，打了幾十通電話，傳送這神聖的消息，找到了對研究投石器有興趣的好朋友，大夥兒經過一番討論之後，決定要參加這次科展，並要完成這古代的原子弹----超上古兵器—投石器！

貳、研究目的

- 一、瞭解不同材質的投石器子彈（生鏽的鋼絲絨球、粉筆、小石頭、2 立方公分的數學積木、小螺絲釘、啤酒瓶蓋、樹葉等），對發射距離的關係。
- 二、瞭解不同構造的投石器（城堡型、基本三角體型、金字塔型、倒 T 字型、 \angle 字型、高腳形等），對發射距離遠近的影響。
- 三、探討投石器施力臂長短（3cm、6cm、9cm、12cm、15cm 等）對發射距離的影響。
- 四、探討投石器發射座的厚度（湯匙的數量）對發射距離的影響。
- 五、探討投石器發射桿的粗細（筷子的數量）對發射距離的影響。
- 六、探討橡皮筋拉力（橡皮筋的數量）發射距離的影響。

參、文獻探討

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，它是利用杠桿將筋索拉緊，從而把放在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，投石器大約出現于公元前十世紀，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，選擇時機松脫其中一條皮帶，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，最短的用于近距離快速投擲，最長的用于遠距離投擲。

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，僅裝備于輕武裝步兵，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類。

投石器到了南宋已經發展成對重式(counterweight-powered engine)，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：AOCII（世紀帝國二）、危城之戰等。

五、運用槓桿原理的投石器

槓桿是一種簡單機械；一根結實的棍子（最好不會彎又非常輕），就能當作一根槓桿了。上圖中，方形代表重物、圓形代表支持點、箭頭代表用力點，這樣，你看出來了吧？(圖 1)中，在槓桿右邊向下用力，就可以把左方的重物抬起來了；在(圖 2)中，在槓桿右邊向上用力，也能把重物抬起來；在(圖 3)中，支點在左邊、重物在右邊，力點在中間，向上用力，也能把重物抬起來。

在(圖 1)中，支點在槓桿中間，物理學裡，把這類槓桿叫做第一種槓桿；(圖 2)是重點在中間，叫做第二種槓桿；(圖 3)是力點在中間，叫做第三種槓桿。

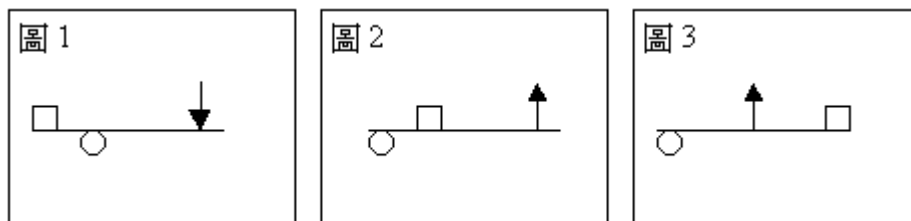
第一種槓桿例如：剪刀、釘鎚、拔釘器……這種槓桿可能省力可能費力，也可能既不省力也不費力。這要看力點和支點的距離(圖 1)：力點離支點愈遠則愈省力，愈近就愈費力；如果重點、力點距離支點一樣遠，就不省力也不費力，只是改變了用力的方向。

第二種槓桿例如：開瓶器、榨汁器、胡桃鉗……這種槓桿的力點一定比重點距離支點遠，所以永遠是省力的。

第三種槓桿例如：鑷子、烤肉夾子、筷子……這種槓桿的力點一定比重點距離支點近，所以永遠是費力的。

如果我們分別用花剪（刀刃比較短）和洋裁剪刀（刀刃比較長）來剪紙板，

花剪較省力但是費時；而洋裁剪則費力但是省時。



肆、研究設備器材

一、實驗器材的名詞定義

(一) 投石器：利用竹筷做成骨架、用橡皮筋接合，其上方加一條發射桿，利用橡皮筋固定後，一端綁上湯匙，作為發射座，另一端

則綁上橡皮筋，橡皮筋一端於發射桿，另一端則綁於骨

架上，此為投石器。

(二) 發射座：利用湯匙作成，為發射子彈的放置處，至於發射桿的一端，靠發射桿的牽動快速向前，將東西甩出。

(三) 發射桿：利用竹筷子作成，置於骨架的最上方，一端綁上發射座，另一端則綁上橡皮筋，利用固定的橡皮筋活動空間，和末端的橡皮筋拉力拉住，放開後受橡皮筋牽動快速向前，帶動上方的發射座將子彈甩出。

(四) 發射方法：用手將發射座那一端壓下，讓另一端橡皮筋擴張，將手放開，使發射桿猛烈向前晃動，進而射出子彈。

(五) 子彈：擺於發射座，靠發射座牽動而射出，簡單來說，就是發射出去的東西。

貳、實驗器材名稱及數量

(一) 竹筷子.....	7 包
(二) 橡皮筋.....	2 袋
(三) 湯匙.....	1 袋
(四) 生鏽的鋼絲絨球.....	1 顆
(五) 黃金榕樹葉.....	6 片
(六) 數學積木 (1 立方公分)	2 個
(七) 啤酒瓶蓋.....	1 個
(八) 小螺絲釘.....	1 個
(九) 粉筆.....	2 段
(十) 小石頭.....	1 顆
(十一) 大型捲尺.....	1 捲
(十二) 膠帶.....	1 捲

伍、研究過程或方法

一、實驗一：以不同材質為自變項，射程為依變項，測量發射距離遠近

(一) 實驗目的：

- 1.瞭解不同材質的投石器子彈（生鏽的鋼絲絨球、粉筆、小石頭、一立方公分的數學積木、小螺絲釘、啤酒瓶蓋、樹葉等），對發射距離的關係。

2.瞭解不同構造的投石器（城堡型、基本三角體型、金字塔型、倒 T 字型、
〈字型、高腳形等），對發射距離遠近的影響。

（二）實驗方法：

- 1.以相同的投石器，不同的材質（生鏽的鋼絲絨球、粉筆、小石頭、二立方公分的數學積木、小螺絲釘、啤酒瓶蓋、樹葉等）的子彈，找出射程最遠。
- 2.以相同的材質的子彈，不同的形狀的投石器（城堡型、基本三角體型、金字塔型、倒 T 字型、〈字型、高腳形等），找出射程最遠的。
- 3.將六片樹葉捲成一捲，用膠帶包起來，像檳榔一樣，此為樹葉捲。

二、實驗二：以不同的施力臂距離長短（分別為 3 公分、6 公分、9 公分、12 公分、15 公分）為自變項，射程為依變項，測量發射距離遠近。

（一）實驗目的：探討投石器施力臂長短（3cm、6cm、9cm、12cm、15cm 等）對發射距離的影響。

（二）實驗方法：將施力臂與支點距離調成（3cm、6cm、9cm、12cm、15cm 等）

三、實驗三：以不同厚度的發射座（湯匙數分別為 1 個、2 個、3 個、4 個、5 個）為自變項，射程為依變項，測量發射距離遠近。

(一) 實驗目的：探討投石器發射座的厚度（湯匙的數量）對發射距離的影響。

(二) 實驗方法：增加發射座的厚度（湯匙數，有 1、2、3、4、5 個）。

四、實驗四：以不同厚度的發射桿（筷子數分別為 1 個、2 個、3 個、4 個、5 個）為自變項，射程為依變項，測量發射距離遠近。

(一) 實驗目的：探討投石器發射桿的粗細（筷子的數量）對發射距離的影響。

(二) 實驗方法：將發射桿加粗（筷子數，有 1 根、2 根、3 根、4 根、5 根）來試驗。

五、實驗五：以不同拉力的橡皮筋（橡皮筋數分別為 1 條、2 條、3 條、4 條、5 條）為自變項，射程為依變項，測量發射距離遠近。

(一) 實驗目的：探討橡皮筋拉力（橡皮筋的數量）發射距離的影響。

(二) 實驗方法：將投石器前面加強力量的橡皮筋數量增加至（1 條、2 條、3 條、4 條、5 條）

陸、研究結果

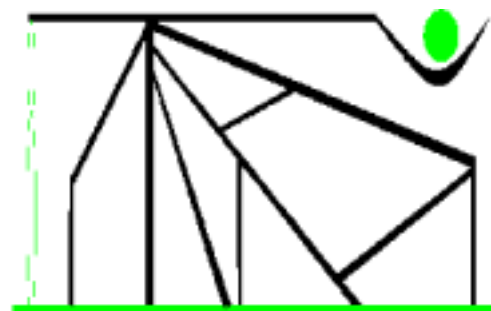
一、實驗一

(一) 以不同材質為自變項，射程為依變項，將實驗結果繪製成如下的表格：

1. 城堡型

材質	射程（公分）
----	--------

生鏽的鋼絲絨球 (10g)	270 cm
粉筆兩段 (4.5g)	505 cm
小石頭 (12.5g)	200 cm
2 立方公分的積木 (2.5g)	583 cm
小螺絲釘 (8.5g)	320 cm
啤酒瓶蓋 (9g)	280 cm
樹葉捲 (3g)	520 cm



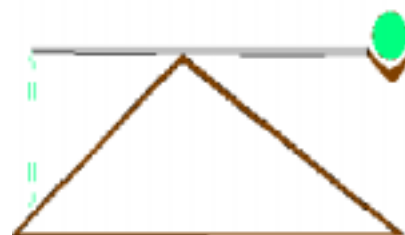
2.基本三角體型

材質	射程 (公分)
生鏽的鋼絲絨球 (10g)	105 cm
粉筆兩段 (4.5g)	252 cm
小石頭 (12.5g)	90 cm
2 立方公分的積木 (2.5g)	325 cm
小螺絲釘 (8.5g)	145 cm
啤酒瓶蓋 (9g)	115 cm
樹葉捲 (3g)	282 cm



3.金字塔型

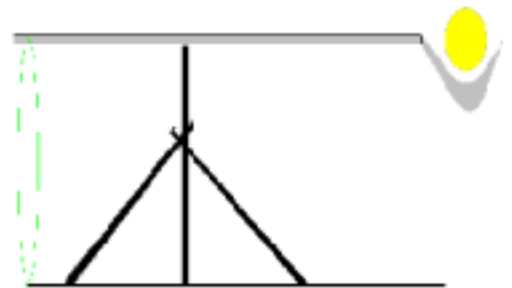
材質	射程 (公分)
生鏽的鋼絲絨球 (10g)	202
粉筆兩段 (4.5g)	370
小石頭 (12.5g)	160



2 立方公分的積木 (2.5g)	642
小螺絲釘 (8.5g)	220
啤酒瓶蓋 (9g)	212
樹葉捲 (3g)	440

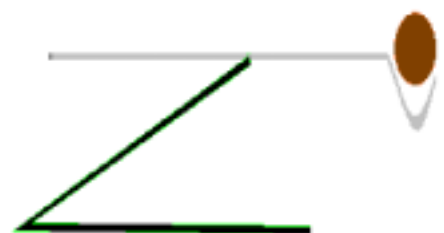
4.倒 T 字型

材質	射程 (公分)
生鏽的鋼絲絨球 (10g)	480
粉筆兩段 (4.5g)	610
小石頭 (12.5g)	390
2 立方公分的積木 (2.5g)	690
小螺絲釘 (8.5g)	605
啤酒瓶蓋 (9g)	530
樹葉捲 (3g)	670



5. < 字型

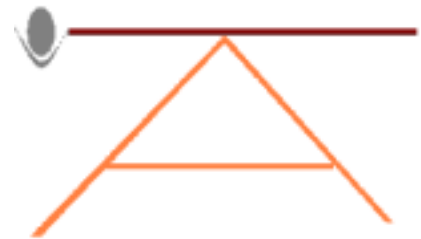
材質	射程 (公分)
生鏽的鋼絲絨球 (10g)	185
粉筆兩段 (4.5g)	135
小石頭 (12.5g)	63
2 立方公分的積木 (2.5g)	238



小螺絲釘 (8.5g)	110
啤酒瓶蓋 (9g)	75
樹葉捲 (3g)	155 cm

6.高腳形

材質	射程 (公分)
生鏽的鋼絲絨球 (10g)	175 cm
粉筆兩段 (4.5g)	280 cm
小石頭 (12.5g)	100 cm
2 立方公分的積木 (2.5g)	556 cm
小螺絲釘 (8.5g)	205 cm
啤酒瓶蓋 (9g)	190 cm
樹葉捲 (3g)	350 cm



(二) 實驗結果

1.投石器實驗結果為：倒 T 字型 > 城堡型 > 高腳型 > 金字塔型 > 基本三角體
型 > < 字型。

2.子彈實驗結果為：2 立方公分的積木 > 樹葉捲 > 粉筆兩段 > 小螺絲釘 > 啤
酒瓶蓋 > 鋼絲絨球 > 小石頭。

二、實驗二

(一) 以不同的施力臂距離長短 (分別為 3 公分、6 公分、9 公分、12 公分、15

公分) 為自變項，射程為依變項，將實驗結果繪製成如下的表格：

1.城堡型

施力點至支點的距離	射程 (公分)
3cm	243 cm
6 cm	352 cm
9 cm	483 cm
12 cm	520 cm
15 cm	750 cm

2.基本三角體型

施力點至支點的距離	射程 (公分)
3 cm	56 cm
6 cm	106 cm
9 cm	230 cm
12 cm	510 cm
15 cm	768 cm

3.金字塔型

施力點至支點的距離	射程 (公分)
3 cm	295 cm
6 cm	517 cm
9 cm	665 cm
12 cm	-12 cm

15 cm	-17 cm
-------	--------

4.倒 T 字型

施力點至支點的距離	射程 (公分)
3 cm	110 cm
6 cm	315 cm
9 cm	463 cm
12 cm	520 cm
15 cm	-15 cm

5.< 字型

施力點至支點的距離	射程 (公分)
3 cm	152 cm
6 cm	321 cm
9 cm	411 cm
12 cm	435 cm
15 cm	-5 cm

6.高腳形

施力點至支點的距離	射程 (公分)
3 cm	140 cm
6 cm	290 cm
9 cm	490 cm
12 cm	520 cm

15 cm	-9 cm
-------	-------

(二) 實驗結果

- 1.發射距離長短依序為施力臂 $15\text{cm} > 12\text{cm} > 9\text{cm} > 6\text{cm} > 3\text{cm}$ 。
- 2.施力臂與支點之間越長，射程就越遠，但太長很容易卡到，所以常出現負數。

三、實驗三：

- (一) 以不同厚度的發射座（湯匙數分別為 1 個、2 個、3 個、4 個、5 個）為自變項，射程為依變項，將實驗結果繪製成如下的表格：

1.城堡型

厚度（湯匙數）	射程（公分）
1	406 cm
2	301 cm
3	225 cm
4	230 cm
5	110 cm

2.基本三角體型

厚度（湯匙數）	射程（公分）
1	352 cm
2	331 cm
3	208 cm

4	210 cm
5	155 cm

3.金字塔型

厚度（湯匙數）	射程（公分）
1	419 cm
2	381 cm
3	195 cm
4	211 cm
5	165 cm

4.倒T字型

厚度（湯匙數）	射程（公分）
1	513 cm
2	464 cm
3	310 cm
4	305 cm
5	265 cm

5.<字型

厚度（湯匙數）	射程（公分）
1	153 cm
2	94 cm
3	75 cm

4	85 cm
5	63 cm

6.高腳形

厚度（湯匙數）	射程（公分）
1	113 cm
2	94 cm
3	88 cm
4	93 cm
5	55 cm

（二）實驗結果

- 1.發射距離遠近依序為湯匙數 1 個 > 2 個 > 4 個 > 3 個 > 5 個。
- 2.發射座越薄（湯匙數越少），所發射的距離越遠，而 3 和 4 個湯匙數因厚度相差接近，所以發射距離相差很小。

四、實驗四

（一）以不同厚度的發射桿（筷子數分別為 1 個、2 個、3 個、4 個、5 個）為

自變項，射程為依變項，將實驗結果繪製成如下的表格：

1.城堡型

發射桿厚度（筷子數）	射程（公分）

1	613 cm
2	561 cm
3	167 cm
4	230 cm
5	132 cm

2.基本三角體型

發射桿厚度（筷子數）	射程（公分）
1	694 cm
2	631 cm
3	431 cm
4	570 cm
5	375 cm

3.金字塔型

發射桿厚度（筷子數）	射程（公分）
1	637 cm
2	564 cm
3	324 cm
4	430 cm
5	261 cm

4.倒 T 字型

發射桿厚度（筷子數）	射程（公分）
1	739 cm
2	581 cm
3	333 cm
4	511 cm
5	311 cm

5. <字型

發射桿厚度（筷子數）	射程（公分）
1	341 cm
2	213 cm
3	136 cm
4	191 cm
5	118 cm

6.高腳形

發射桿厚度（筷子數）	射程（公分）
1	431 cm
2	367 cm
3	144 cm
4	228 cm
5	112 cm

(二) 實驗結果

- 1.發射距離長短依序爲：筷子數 1 根 > 2 根 > 4 根 > 3 根 > 5 根。
- 2.發射桿的粗細越細越遠。

五、實驗五

(一) 以不同拉力的橡皮筋（橡皮筋數分別爲 1 條、2 條、3 條、4 條、5 條）

爲自變項，射程爲依變項，將實驗結果繪製成如下的表格：

1.城堡型

橡皮筋數	射程（公分）
1	361 cm
2	451 cm
3	512 cm
4	531 cm
5	661 cm

2.基本三角體型

橡皮筋數	射程（公分）
1	331 cm
2	361 cm
3	411 cm
4	571 cm

5	629 cm
---	--------

3.金字塔型

橡皮筋數	射程（公分）
1	291 cm
2	394 cm
3	449 cm
4	511 cm
5	575 cm

4.倒T字型

橡皮筋數	射程（公分）
1	131 cm
2	253 cm
3	336 cm
4	421 cm
5	516 cm

5.<字型

橡皮筋數	射程（公分）
1	115 cm
2	136 cm
3	211 cm
4	249 cm

5	391 cm
---	--------

6.高腳形

橡皮筋數	射程（公分）
1	131 cm
2	211 cm
3	391 cm
4	514 cm
5	731 cm

（二）實驗結果

- 1.發射距離遠近依序為：橡皮筋 5 條 > 4 條 > 3 條 > 2 條 > 1 條
- 2.橡皮筋越多條，拉力越大，發射的距離越遠。

柒、討論

- 一、實驗一結果為倒 T 字型 > 城堡型 > 高腳型 > 金字塔型 > 基本三角體型 > < 字型，倒 T 字型和城堡型最高，發射桿最長，射程自然最遠。高腳型的機體滿穩的，所以第三遠，再來是跟高腳穩定度差不多的金字塔型，雖然穩定度差不多，但是機體較低，所以射程較短，至於基本三角體型，穩定度適中，沒什麼特殊的，因此淪落至第五名，< 字型的拉力較小，所以最後。

- 二、實驗一結果子彈實驗結果為 2 立方公分的積木 > 樹葉捲 > 粉筆兩段 > 小螺絲釘 > 啤酒瓶蓋 > 鋼絲絨球 > 小石頭，本實驗中實驗出來的結果就是輕的比較遠，所以有這種數據出來。
- 三、發射距離長短依序為施力臂 15cm > 12cm > 9cm > 6cm > 3cm，可以明顯的看出，施力臂與支點距離越長越好，射程就越遠，正好符合槓桿原理。
- 四、發射座的厚度實驗結果為湯匙數 1 個 > 2 個 > 4 個 > 3 個 > 5 個，因為發射座越薄，越有活動空間，彈力越好，就射的越遠。
- 五、投石器發射桿粗細（筷子數的多寡）對射程遠近的實驗結果依序為筷子數 1 根 > 2 根 > 4 根 > 3 根 > 5 根，因為越細對發射座的密合度越緊，越粗對發射座的密合度越鬆，所以發射桿越細，發射的距離越遠。
- 六、增強拉力的橡皮筋實驗結果為橡皮筋 5 條 > 4 條 > 3 條 > 2 條 > 1 條，因為橡皮筋數越多，拉力越大，所以射的距離越長；橡皮筋數越少，拉力越小，所以射的距離越短。

捌、結論與心得

一、結論

- (一) 目前已知的投石器中，以倒 T 字形射程最為優良。
- (二) 目前有的子彈中，為最輕的 2 立方數學積木射的最遠。
- (三) 目前已知子彈中，最穩的是粉筆 2 段和鋼絲絨球，加上粉筆 2 段又遠，

所以大部分的實驗都已粉筆 2 段最爲子彈。

(四) 當施力臂與支點之距離越長，射程就越遠。

(五) 當施力臂與支點之距離過長或過短，容易卡到骨架，造成負數或射不出去的大元兇。

(六) 加發射座的厚度會使射程減少，但太厚的話也會有突發狀況。

(七) 加粗發射桿，和發射座的密合度變鬆了，會使射程減少，而且很容易卡到，影響發射的遠近。

(八) 將增強力量的橡皮筋數量增多，相對的拉力也增強，所以射的距離也越遠；橡皮筋數量減少，相對的拉力也減小，所以射的距離也越短。

二、心得：

平常，我常在家裡自己組一些東西，模型更是我的最愛，除了電腦遊戲以外，他就是我唯一會犧牲零用錢買的東西，每當我組著組著的時候，我腦海裡常在想：「要是能自己組一架東西，那該有多好啊」，尤其是看那一本本的三國志漫畫版的時候，那一台台的投石器，更是令我如癡如醉，但又不知如何著手。直到火鍋店的遭遇後，我便全部明瞭了。

經過了火鍋店的經歷後，有一天，我在家裡看三國志，當時我的腦袋特別的清楚，我便決定要參加這次科展，於是到學校找對投石器研究志同道合的朋友，但令我驚訝的是，這個實驗受到的迴響之大，令我一下就找好了隊員，這，令我更下決心要做好這個實驗。

第一次，我們去漫畫王做，成功的做出了基本三角體型和金字塔型，在古亭二校的試射也非常成功，這對初生之犢的我們，就像吃了一顆定心丸，令我們士氣大增，決定要拿下一個大特優。

每天早上和午間，我們都空出時間來做科展、寫著科展筆記，在別人眼中看起來很煩的事，對我們來說，竟是如此的美妙，看那一台台的自己的心血，看著看著，心情也會變好，因為畢竟是自己做的東西啊！

隨著時間一滴一秒的過去，我們又研發出來了高腳型、城堡型、倒 T 字型，但是，最大的發展，是く字型的出現，它獨特的發射方法，令許多人驚訝，也難怪，這是一種脫離俗套的投石器嘛！

當我們知道將要代表學校出去參加北市科展比賽之時，真是高興極了，辛勞的汗水終於有了收穫，於是我們又擬定了一份新的作戰計劃，決定要好好努力，為校爭光。

新的作戰計劃，果真比校內的難多了，但皇天不負苦心人，我們憑著一股不屈不撓的精神，終於做出成品來了，雖然遇到了許多的困難，但，學習的路還很長，不能因為一點小挫折就放棄，我們憑著這句話，完成了許多不可能的任務，在當中的過程，精采到可以寫一本比哈利波特還著名的小說。

投石器真的是很好玩的一種運用槓桿原理的機械，但願它能在我們的手下發揚光大，所以讓我們一起來完成這古代的原子弹—超上古兵器---投石器。

玖、參考資料及其他

一、參考資料

- (一) 三國志的世界 <http://welcome.to/3kingdoms>
- (二) 三國風雲 <http://www7.waei.net/wgs/dynasty/default-2/default-3.htm>。
- (三) 三國志專區<http://home.pchome.com.tw/computer/su401/>
- (四) 六上自然科教科書康軒版（民 90）。第四單元生活中的工具。台北：
康軒。
- (五) 守城術<http://www.contest.edu.tw/87/endshow/1/66/defence-g02.html>。
- (六) 弩炮、投射器和投擲武器<http://www.lucifer.hoolan.org/swods/books/wat.htm>。
- (七) 國外的投石器
<http://www.eurotravel.idv.tw/photo/f/Les%20Baux/Les%20Baux1.html>
- (八) 槓桿原理
http://content.edu.tw/primary/nature/ph_hs/phnature/addon/physical/power1.htm
- (九) 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。

二、其他

- (一) 我們在學校製作投石器、寫科展筆記、共同討論、一起實驗及修正研
發的情形（如附件的圖片）

(二) 我們的科展筆記，真的好感謝老師的用心指導，讓我們的科展能順利完成。