

# 桃園市第 55 屆龜山區中小學科學展覽會

---

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：投出一片天

關鍵詞：ATLATL、角動量

編號：

# 投出一片天

## 摘要

利用生活中唾手可得的物品製造投擲器(ATLATL)，可讓投擲距離變得更遠，除了可以體驗老祖宗們的智慧結晶，也在投擲的過程中感受更多的樂趣，假日時彼此間的趣味賽也讓情感更加融洽。

## 壹、研究動機

最近校園中風靡著樂樂棒球，在運動的過程中充斥的歡樂的笑聲，每當在練習時，總是想著怎樣可以把球丟得更遠，能更快速的投中目標，然而在上自然與生活科技課時，剛好老師上到簡單機械的單元，老師介紹到槓桿原理、滑輪裝置等，有些可以省力、有些可以省時，老師還額外補充說明古代人會應用許多簡單機械的原理在生活中，使得生活可以更加便利，此時我們心中就萌生一種想法，如果可以在投擲方面運用簡單機械的原理，是否可以讓投擲更快速？

有了這種想法，趕緊上網查詢關於簡單機械與投擲方面的相關網頁，原來在遠古時代，老祖宗們為了狩獵，利用簡單機械原理演變出投擲器(ATLATL)，為了可以更快的射到獵物，後來這些投擲器(ATLATL)又慢慢演變成弓箭，看到這些資料讓我們興奮莫名，也向老師請教想試試做出投擲器(ATLATL)的想法是否可行，老師也鼓勵我們試試看，因此在老師的指導下，開啟了做出投擲器(ATLATL)的試驗過程。

## 貳、研究目的

- 一、認識投擲器(ATLATL)。
- 二、製作投擲器(ATLATL)。
- 三、哪種長度的投擲器(ATLATL)能投擲較遠距離。

### 參、研究設備及器材

器材名稱	用途
PVC 管	製作投擲器主體
兒童用安全箭 (77CM)	投擲
鐵鎚	敲打鐵釘
鋸子	切割 PVC 管
鐵釘	在 PVC 管上挖洞
墊片	當作「鉤」的材料之一
牙線	當作「鉤」的材料之一
美工刀、剪刀	切割 PVC 管
切割墊	以防刀具割傷桌面
手套	切割時穿戴，避免危險

### 肆、研究過程與方法

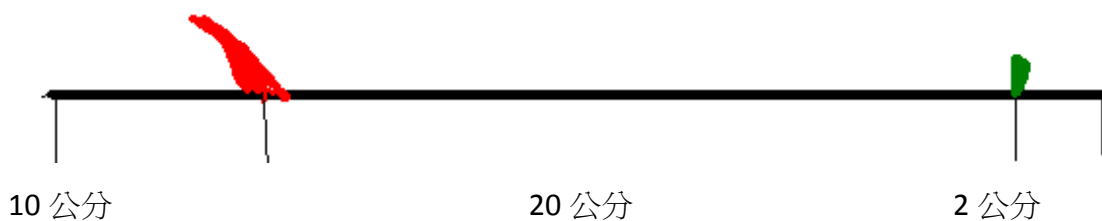
#### 一、認識什麼是投擲器(ATLATL)

先收集資料，了解什麼是投擲器(ATLATL)，並研究投擲器(ATLATL)的原理。

#### 二、製作投擲器(ATLATL)

##### (一)製作不同長度的投擲器(ATLATL)

製作投擲器時(ATLATL)，使用 PVC 管當作投擲器本體，除了主長度之外，前端須預留 2 公分當作手握把處，後端 10 公分製作一個鉤，可以讓箭卡在鉤上，以利投擲，以製作本實驗的投擲器(ATLATL)為例，32CM 是指總長 32 公分，由後端數來 10 公分處製作鉤，主長度 20 公分，前端數來 2 公分處即為手握之處。



圖一 ATLATL 構造示意圖

因考慮國小學童身高及力量控制，因此本次實驗製作 32CM、42CM、52CM、62CM 的投擲器(ATLATL)，並與空擲結果做比較。

## (二)鈎的製造

投擲器(ATLATL)上需有一個鈎，讓箭卡住，以利投擲。

試著以 1.PVC 管上削出尖端 2.使用墊片當作鈎 3.使用牙線當作鈎，最後選擇牙線當作鈎的材料。



圖二 四種不同長度的 ATLATL

三、使用不同長度的投擲器(ATLATL)進行投擲，投擲結果並與空擲作比較。

## 伍、研究結果

一、關於投擲器(ATLATL)：

(一)什麼是投擲器(ATLATL)

投擲器(ATLATL)是一種利用槓桿原理來增加投擲的初速度的工具。其中一端有杓狀或鈎狀的支撐物來固定住投槍的尾端，使用者通常以一手抓住沒有杓狀或鈎狀物的那一端，以上臂和手腕作動作將標槍投出。投擲器(ATLATL)可以看作是手臂的延伸。這個延伸的長度可以使投擲者有更長的時間可以對標槍施力，讓標槍獲得更多動能增加標槍飛離投擲者時的速度。使用投擲器(ATLATL)很容易使投射物的初速超過 150km/h。

下圖為投擲器與箭組合示意圖。



圖三 ATLATL 與箭的組合示意圖

## (二)製作投擲器(ATLATL)

因要確定投擲器長度是否對於投擲距離產生影響，為了避免誤差，因此投擲器(ATLATL)上的箭採用市面上購買的到的 1 兒童安全弓箭所使用的箭(77CM)，一來考慮到安全性，二來可將箭列入控制變因。

下圖為 62cm ATLATL 與箭組合完成圖



圖四 62cm ATLATL 與箭組合完成圖

下圖為 52cm ATLATL 與箭組合完成圖



圖五 52cm ATLATL 與箭組合完成圖

下圖為 42cm ATLATL 與箭組合完成圖



圖六 42cm ATLATL 與箭組合完成圖

下圖為 32cm ATLATL 與箭組合完成圖



圖七 32cm ATLATL 與箭組合完成圖

因考慮國小學童身高及力量控制，因此本次實驗製作 32CM、42CM、52CM、62CM 的投擲器(ATLATL)，並與空擲結果做比較。

### (三)鉤的製造：

在投擲器(ATLATL)後方需要有一個鉤讓箭卡在鉤上，然而在選擇鉤的材料時，也著實讓我們傷腦筋，因為我們本實驗使用的是兒童弓箭，然而鉤的部分，有過以下幾種嘗試：

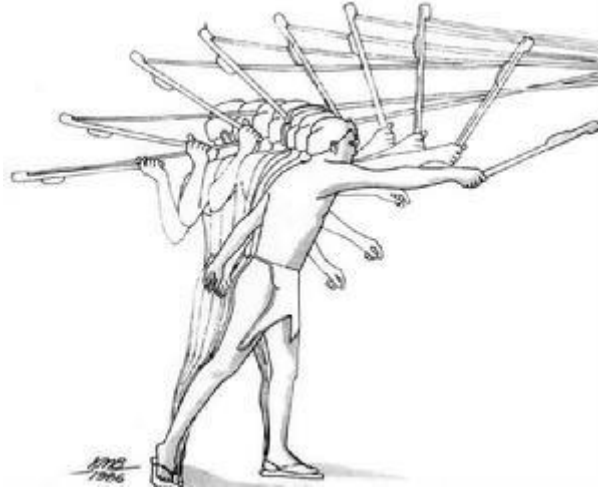
1. 在原本的 PVC 管後端，挖出一個凹槽之外並要削出一個尖端，可以扣住箭的尾端，但是發現投擲效果不好之外，對於學童而言，危險性較高，容易在削 PVC 管的過程受傷，因此不採用此種方法。
2. 在原本的 PVC 管後端，挖出一個凹槽，並在凹槽上方使用墊片，但是發現箭不容易扣在墊片上，所以投擲效果不好，因此也不採用此種方法。
3. 在原本的 PVC 管後端，挖出一個凹槽，並在凹槽上方使用牙線，製造有弓弦的效果，而且牙線具有彈性，也容易取得，投擲效果不錯，因此採用牙線作為鉤的材料。

## 二、進行投擲

### (一)安全教育

進行投擲前，先教導學生如何安全投擲。

1. 當進行投擲時，確保場地有 50 公尺長，且沒有易碎物品。
2. 確定前方無人時再進行投擲。
3. 投擲時的天氣，應為晴朗無風，以免影響投擲結果。



圖八 進行投擲示意圖

## (二)投擲

從高年級學童挑選四位學生，進行有效投擲(空擲)30次，所得結果如下：

### (1) 空擲(不使用任何器具，徒手將箭擲出)

表一 空擲紀錄表

學生 距離(CM)	A	B	C	D
總平均	867	930.8	870	1063

從高年級學童挑選四位學生，因學童尚未熟悉投擲器的使用，先進行一小時的投擲練習，爾後針對不同長度的投擲器進行有效投擲各 100 次，每 20 次結算一次平均，所得結果如下：

### (2)32CM 投擲器(ATLATL)

表二 使用 32cm ATLATL 紀錄表

學生 距離(CM)	A	B	C	D
均 1	1103	1421	1070	1198
均 2	1100	1450	1120	1181
均 3	1009	1245	1100	1280
均 4	1208	1229	1200	1234
均 5	1101	1378	1300	1273
總平均	1104.2	1344.6	1158	1233.2

(3)42CM 投擲器(ATLATL)

表三使用 42cm ATLATL 紀錄表

學生 距離(CM)	A	B	C	D
均 1	1421	1513	1403	1327
均 2	1301	1430	1374	1207
均 3	1200	1504	1423	1316
均 4	1334	1309	1388	1401
均 5	1397	1408	1457	1358
總平均	1330.6	1432.8	1409	1321.8

(4)52CM 投擲器(ATLATL)

表四 使用 52cm ATLATL 紀錄表

學生 距離(CM)	A	B	C	D
均 1	1346	1533	2120	1453
均 2	1350	1489	1260	1472
均 3	1287	1538	1760	1396
均 4	1631	1463	2000	1468
均 5	1700	1528	1520	1399
總平均	1462.8	1510.2	1732	1437.6

(5)62CM 投擲器(ATLATL)

表五 使用 62cm ATLATL 紀錄表

學生 距離(CM)	A	B	C	D
均 1	1471	1644	2020	1519
均 2	1391	1631	1871	1543
均 3	1452	1643	1876	1562
均 4	1397	1705	2007	1533
均 5	1461	1703	1888	1528
總平均	1434.4	1665.2	1932.4	1537



## 陸、討論

### 一、關於投擲器(ATLATL)

#### (一)概述

投擲器(atlatl)又稱投矛器，或拋矛(spear-thrower)用於提高矛的投擲距離、打擊力量和準確性的最簡單裝置，由拋投器與矛槍兩部分構成，最早的原型大概可以追溯到舊石器時代。投矛器實際上是介乎於投石器、標槍，重型羽箭之間的一種投擲類兵器。投矛器通常是一條扁平的骨頭或木板(長30-150厘米)，板上裝有矛桿托架和握把，握把上有指槽。出現在太古時期，在考古發掘時曾在上舊石器時代(公元前一萬二千年至一萬年)地層中發現投矛器。澳洲土著、巴西印第安人、美拉尼西亞人以及其他一些民族都曾將其作為狩獵武器使用。

投矛器多見於歐洲馬格德林文化遺址，一般是用鹿骨和木頭製成，是一種很富創造性的工具。這種工具一端有橫檔，在它光滑的面上放置矛，把矛粗的一端支撐在橫檔上，使用時用力一推把矛推向目標，投矛器延長了手臂這一槓桿，從而可以使矛投出時的初速度加大，提高它的殺傷力。澳大利亞的土著民族就常利用這種投矛器狩獵。北非阿替林文化、歐洲梭魯特文化等遺址均出土過制作精細的石鏃。

拋矛的矛槍與標槍最大不同處就是裝有羽毛尾翼與配重件，從而獲得更穩定的飛行軌跡與更遠的射程。它的拋投裝置多為骨頭或木頭，一般長半米左右，形式各有不同，但大體框架均由牽制機構、槍桿托架以及握把組成。牽制機構有的是皮繩，有的則是卡槽。這種拋投裝置與投石器相類似，都是為了最有效、更省力地提高殺傷力與射程的力學裝置。

投矛器簡單而實用，甚至體質纖弱的人，也可以藉之洞穿大型野獸的皮毛。令我們不得不佩服古人們雖原始卻極具目的性的智慧。雖然這種投擲武器在人類武器發展史中僅僅是滄海一粟，但不得不承認，在很多大型動物的滅絕過程中，拋矛都起到了推波助瀾的作用。直至今朝，拋矛仍被保留了下來，成為一種極富個性的休閒運動項目。

#### (二)認識投擲器(ATLATL)

槓桿，是人類最古老的工具之一。用一根桿子，並作為支點一塊石頭，我們的祖先能舉起更重的物體。所述 atlatl 是根據槓桿原理相似，在這種情況下，以擴增投擲能力另一古設備。

ATLATL 是使用槓桿來實現更高的速度和距離投擲長飛鏢靈活的工具。它由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。

### (三)、原理運用

#### 1 槓桿原理

在力學中，典型的槓桿（lever）是置放連結在一個支撐點上的木棒，這一支木棒可以繞著支撐點旋轉。古希臘人將槓桿歸類為簡單機械並且嚴謹地研究出槓桿的操作原理。

某些槓桿能夠將輸入力放大，給出較大的輸出力，這功能稱為「槓桿作用」。槓桿的機械利益是輸出力與輸入力的比率。

$$\frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{x_2}{x_1}$$

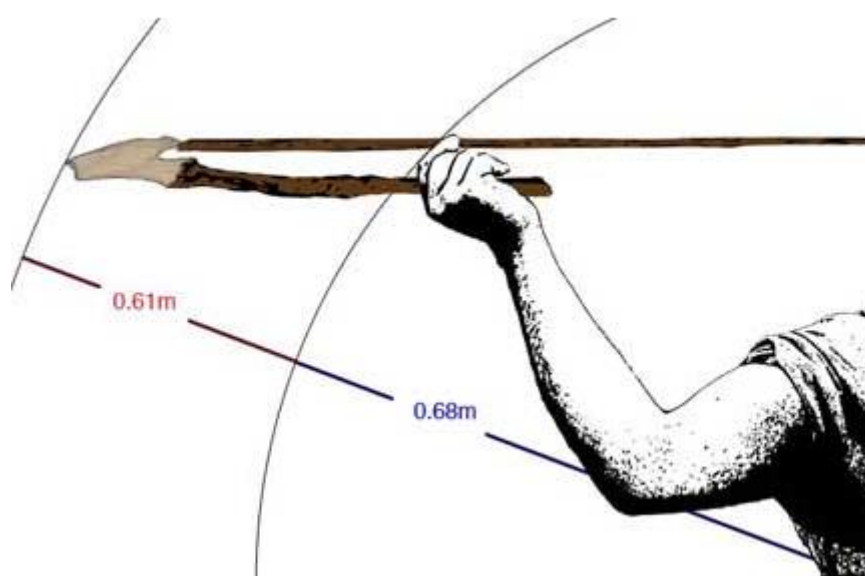
其中  $m$  = 質量、 $g$  = 引力常數、 $X$  = 到支點的距離

#### 2 角動量

角動量，就如動量一般，是一個可用來表徵物體運動特徵的物理量。對於一個繞定點轉動的物體而言，角動量為物體到原點的距離與其速度向量的外積，再乘上質量，而系統角動量為其中各質點角動量的總和。

若考慮剛體轉動，由於每個質點皆以相同的角速度  $\omega$  作圓運動，若質點和轉軸間的垂直距離為  $r_i$ ，則其速率  $v_i = r_i \omega$

距離拋出取決於速度，角度，和所述鏢的釋放的高度。



圖九 投擲半徑示意圖

$V = 0.68 \times 13 \pi$  弧度/秒 = 27.8 米/秒 = 100.0 公里每小時

如果一個人使用了一個 2 英尺 atlatl (0.61 米)

$V = 1.29 \times 13 \pi$  弧度/秒 = 52.7 米/秒 = 190.0 公里每小時

使用 ATLATL 約增加鏢 90km/hr 的線性速度。

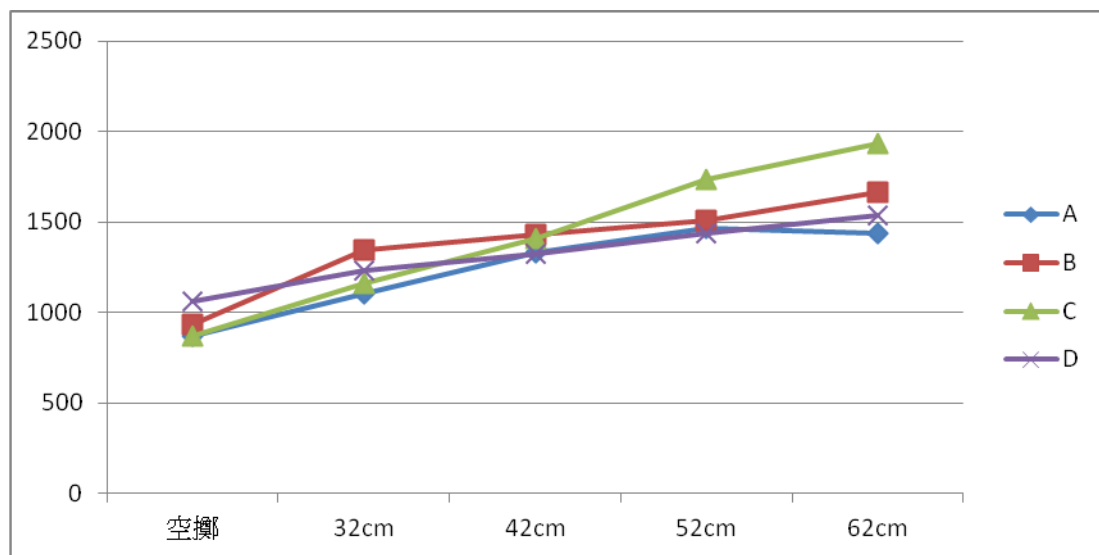
## 二、探討不同長度投擲器的投擲效果

將空擲與各種不同長度的投擲器(ATLATL)所得結果相互比較，如表六

表六 空擲與使用不同長度 ATLATL 投擲距離比較表

學生 距離總平均	A	B	C	D
空擲	867	930.8	870	1063
32CM	1104.2	1344.6	1158	1233.2
42CM	1330.6	1432.8	1409.2	1321.8
52CM	1462.8	1510.2	1732	1437.6
62CM	1434.4	1665.2	1932.4	1537

將上表數據做成折線圖，以利比較



圖十 空擲與使用不同長度 ATLATL 投擲距離折線圖

由上列圖表可知，使用 ATLATL 可以增加投擲的效果。

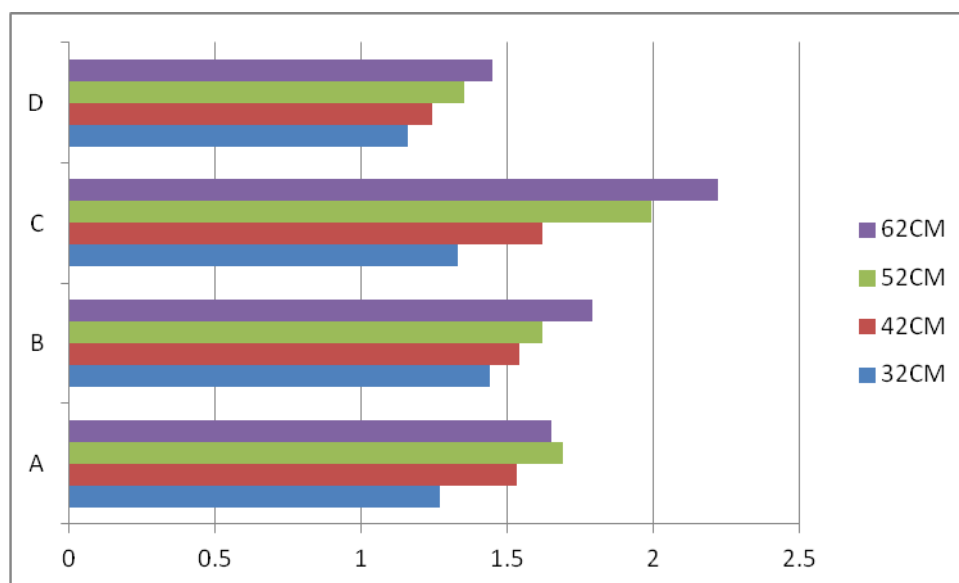
### 三、使用何種投擲器效果較佳

由上可知，使用 **ATLATL** 可以增加投擲效果，因此將各長度的投擲結果相對於空擲時的比率，將其結算，所得結果如表七：

表七 使用不同長度 **ATLATL** 相對於空擲的倍率表

學生 相對於空 擲的倍率	A	B	C	D
32CM	1.27	1.44	1.33	1.16
42CM	1.53	1.54	1.62	1.24
52CM	1.69	1.62	1.99	1.35
62CM	1.65	1.79	2.22	1.45

將上表作成長條圖，可看出相對於空擲的投擲倍率



圖十一 使用不同長度 **ATLATL** 相對於空擲的倍率長條圖

由上列圖表得知，四位學童當中有三位學童(B、C、D)使用越長的投擲器投擲所得效果越好，亦即投擲距離越長，而其中有一位學童(A)使用 32CM、42CM 投擲器時，使用越長投擲器投擲效果越好，但使用 52CM、62CM 投擲器時，反而 52CM 投擲距離較長，探究其原因，是因為學童 A 身材較為嬌小，62CM 投擲器對學童 A 而言太長了，手握住之處對 A 而言反而不容易掌握，導致投擲效果

變差，由此可知，每種長度的投擲器都有適合不同身高的學童。

## 柒、結論

在本次製作投擲器的過程中，讓我們體驗到許多樂趣，以下有幾點可以與大家分享：

- 一、 剛開始嘗試用 ATLATL 投擲，可能會失望的結果，這是正常的，因為就如同射擊弓箭一樣，剛開始拉開弓弦把箭射出去的射程會比空擲的效果還要差，是因為還不了解這個器具怎麼使用，所以要先熟稔這個器具怎麼使用才能進行投擲，以下幾點可供大家參考：
  1. 先呈站立姿勢，雙腳併攏，然後將左腳向前(以右撇子而言)，身體輕微轉向目標，提高左臂，並指向目標。弓箭保持水平，眼睛看向目標並在投擲完成前不可將視線離開目標。
  2. 準備旋轉身體並同時帶動手臂與肩膀投出弓箭，並保持手臂手腕旋轉後的方向，直指前方投擲方向，保持箭的投擲方向。
  3. 當手腕超過頭部位置後，用力扣下手腕，將弓箭迅速投出，在這個過程中提供槓桿作用加速度。
  4. 收尾，弓箭已離開投擲器(ATLATL)，身體向前傾斜並持續向協前擺動右臂與投擲器(ATLATL)，並收力，注意過程中頭部不可以轉動，並從頭到尾朝向目標注視，這樣將有助於投擲方向的正確性。
- 二、 從本實驗中得知使用 ATLATL 可以有效增加投擲距離，使用的 ATLATL 配合個人的身高、手臂長度及喜好即可。
- 三、 文獻中指出使用 ATLATL 可增加 2~3 倍的距離，在本實驗中增加了 1.27~2.22 倍的距離，將來可以使用不同材質來做試驗，做為進一步探索改良的方向。

此次實驗的過程讓我們體驗到投擲的樂趣，希望下次大家可以嘗試多方面取材，或是在大自然中找尋可製造 ATLATL 的素材，讓我們來體驗老祖宗的智慧吧！

## 捌、參考文獻

- 小暮陽三(1998)。圖解生活物理世界。台北：世茂。
- 山田弘(2014)。圖解物理學。台北：易博士。
- 陌語(2006)。冷兵器。崧博右灰。
- Gardiner, E. Norman (1907). "Throwing the Javelin". *The Journal of Hellenic Studies* 27: 249–273.

Hunter, W. (1992) "**Reconstructing a Generic Basket Maker Atlatl**", *Bulletin of Primitive Technology*, No. 4.

Garrod, D. (1955) **Palaeolithic spear throwers**. *Proc. Prehist. Soc.* 21, pp.21-35.

Perkins, W. (1993) "**Atlatl Weights, Function and Classification**", *Bulletin of Primitive Technology*, No. 5.

David I. Cain (2012) 。 **Sticks with Stones: Controlled Experimentation in the use of the Weighted Atlatl** 。 碩士論文

資源室數學中心(2015) 。 使用 ATLATL 拋出飛鏢 。

<http://mathcentral.uregina.ca/RR/database/RR.09.07/cotcher/atlatl/howtothrow.php> (摘錄日期：2015/01/13)

完善的石器時代(2015) 。 ATLAT 飛鏢系統與物理力學 。

<http://www.atlatl.com/mechanics.php> (摘錄日期：2015/02/08)

投石器(2015) 。 什麼是 ATLATL 。 <http://www.tasigh.org/ingenium/atlatl.html> (摘錄日期：2015/01/19)

數學資源室(2015) 。 ATLATL Lessons 。

<http://mathcentral.uregina.ca/RR/database/RR.09.07/cotcher/atlatl/index.html> (摘錄日期：2015/02/10)