

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

080812

吹箭致遠～影響吹箭遠近因素的探討

學校名稱：臺南市東區勝利國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳姿榕	林啟鴻
小六 吳佳芸	林尚玟
小六 陳思翰	
小五 林揚諺	
小五 李承曄	
小四 蔡明蓁	

關鍵詞：吹箭、氣壓、慣性

摘要

暑假中老師帶我們到高雄科工館參觀「探險家特展」，解說老師在非洲館時，隨口提到當時非洲探險家必備的隨身武器—吹箭，利用中空的竹子當箭管，中間以竹子的枝條當箭身，輕易的就能射到數公尺以外，這個神祕的裝置引起我們的興趣，想要了解可以利用哪些生活中的物品組裝成一支吹箭，效果是不是也能輕易的就吹到幾公尺以外的地方，有哪些因素影響吹箭飛行的效果，在我們熱烈討論之後決定以吹箭為我們的科展主題進行研究。

壹、研究動機

康軒版自然與生活科技六下第一單元談到力的作用，讓我們想要藉由吹箭多了解力的作用。在網路上找到科學遊戲教學-吹箭的製作的網頁，我們製作了吹箭，但是吹氣力量的大小不同，吹箭飛行的速度及遠近也不相同，說明施力的大小會影響物體的移動速度及距離。我們發現當吹箭被吹出後，吹箭有時會往前直飛，也會產生偏轉，大家對吹箭的不同飛行路徑感到好奇，並討論若是控制相同的施力方法及大小，有沒有其他的因素可以增加吹箭的飛行距離？於是我們決定探討如何減少吹箭的阻力，及增加吹箭的平衡作為科展的研究主題，藉由改變箭頭錐角大小、箭身長度的重量、發射仰角、發射氣壓及發射架裝置，得到較遠的發射結果。

貳、研究目的

- 一、製作吹箭
- 二、改變箭身測試吹箭效果
- 三、改變氣壓製造更大的發射動力
- 四、改變發射架裝置對吹箭距離的影響

參、研究設備及器材

吸管、波霸吸管、棉花棒、油土、影印紙、投影片、直尺、雞毛撻子、羽毛球、等臂天平、方格紙、寶特瓶、水管轉接頭、水管、水管閥、水火箭發射架、2cm厚木板、打氣筒、剪刀、美工刀、膠帶、雙面膠、熱熔膠、量角器。

肆、研究過程及方法、研究結果及討論

肆之一實驗發想：

一、實驗一：製作吹箭

實驗一-1：棉花棒與波霸吸管組合的吹箭

實驗一-2：棉花棒與塑膠水管組合的吹箭

實驗一-3：波霸吸管與塑膠水管組合的吹箭

實驗一-4：設計與製作發射架

二、實驗二：測試吹箭效果

實驗二-1：空白實驗

實驗二-2：增加箭頭重量

實驗二-3：改變發射仰角

實驗二-4：改變箭身長度

實驗二-5：改變箭頭角錐大小

實驗二-6：箭尾增加尾翼

實驗二-7：製作微量天平秤量羽毛重量

三、實驗三：改變發射架條件對吹箭距離的影響

實驗三-1：改變發射壓力

實驗三-2：改變吹箭外管的長度

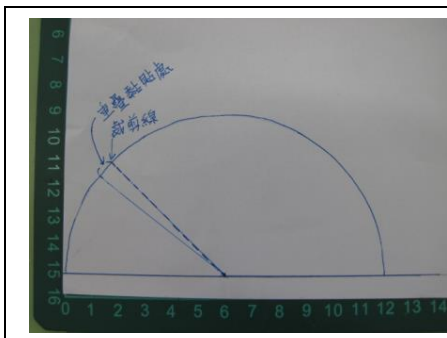
肆之二：實驗步驟及方法：

一、實驗一：製作吹箭

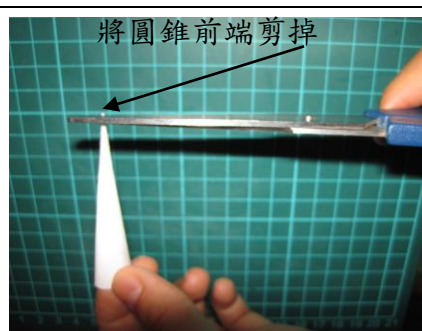
實驗一-1：棉花棒與波霸吸管組合的吹箭

實驗步驟：

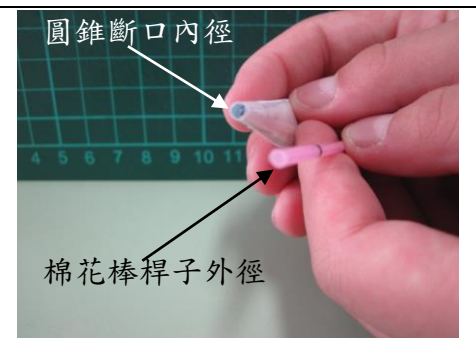
1. 將棉花棒一端量取至 6 公分處剪斷，距剪斷處 2 公分的位置黏貼甜筒狀紙錐（圖 1），錐頭尖端處剪斷（圖 2），使斷口處內徑與棉花棒的塑膠桿外徑相同（圖 3），箭尾大小須能緊密塞入波霸吸管且不會變形（圖 4），完成吹箭箭身。
2. 以波霸吸管作為吹箭外管，再將吹箭的箭頭推入波霸吸管直到箭尾末端完全貼齊波霸吸管末端（圖 5）。
3. 將箭頭朝前，直接用嘴巴在箭尾端吹氣，觀察箭頭飛行狀況（圖 6）。



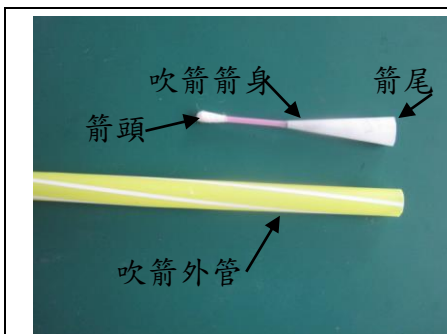
(圖 1)



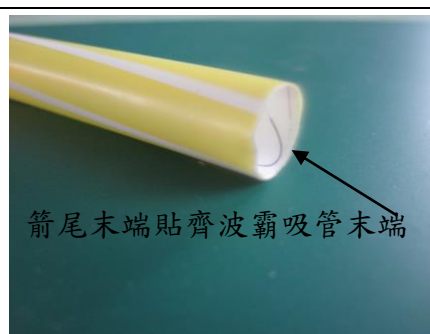
(圖 2)



(圖 3)



(圖 4)



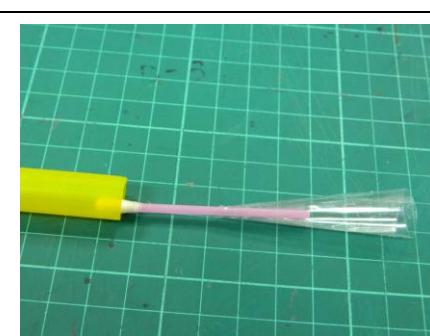
(圖 5)



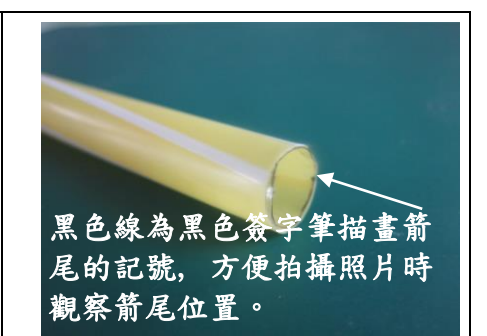
(圖 6)



(圖 7)



(圖 8)



(圖 9)

- 討論：1. 為避免尖銳的箭頭刺傷別人，以棉花棒為箭頭，除了箭頭不易傷人，棉花棒的塑膠桿具有連接圓錐的功用。
2. 箭身吹離箭管後，觀察其飛行狀況，發現箭頭會飄、吹出去後的方向都不一致且飛行時箭尾朝下，表示箭尾較重，需增加箭頭重量改變飛行狀況。
 3. 將箭頭棉花外側黏一圈油土，發現箭尾較往上提，表示箭頭重量變得較重，慢慢調整油土重量，發現飛行的方向較不會任意偏離，箭尾也較先前往上提。
 4. 可能是嘴巴吹氣的關係，紙錐使用幾次之後就容易潮濕變形，經過討論之後我們將圓錐的材質改為投影片，為了避免重量與先前的紙張相差太多，選擇較薄(厚度 0.1mm)的投影片。(圖 7~圖 9)，發現效果比紙製圓錐更好。
 5. 以厚度 0.2mm 的投影片取代先前厚度 0.1mm 較薄的投影片製作圓錐。發現增加投影片厚度後捲折錐角頂端時會出現白色摺痕，因此作罷。
 6. 飛行的距離仍然很短，大約為 200~300 公分之間與我們預期的「數公尺以外」差距頗大，同學回想當初在科工館看到的吹箭外管為大於 100 公分的中空竹管，於是我們開始朝向加長管長作為延長飛行距離的解決方法。

(表 1)

實驗一-2：棉花棒與塑膠水管組合的吹箭

實驗步驟：

1. 為了增加吹箭外管長度，取實驗室現成的塑膠水管(管徑 18mm，管長 40 公分)作吹箭的外管。
2. 將棉花棒作為箭頭的箭身塞入水管內，吹氣，觀察吹箭飛行狀況。

- 討論：1. 原先箭身尾部甜筒狀圓錐外緣口徑太小，無法與塑膠水管內徑完全密合，致使部分吹氣的氣流從圓錐周圍漏氣，而且箭身一離開箭管的瞬間就偏離箭管的正前方，經加大圓錐外徑終於使箭身穩定從管口前方飛出去。
2. 箭身向前飛時呈現不穩定的晃動(左右飄移或是上下飄移都有)，表示箭身過輕，雖然在箭頭棉花外側黏一圈油土使箭頭重量增加，箭頭重量增加使吹箭飛行狀況稍微穩定一些，但是改進效果有限，持續增加油土至箭頭過重，直接下墜。
 3. 我們決定捨棄原來箭身的材料，改用波霸吸管取代較輕的棉花棒。

(表 2)

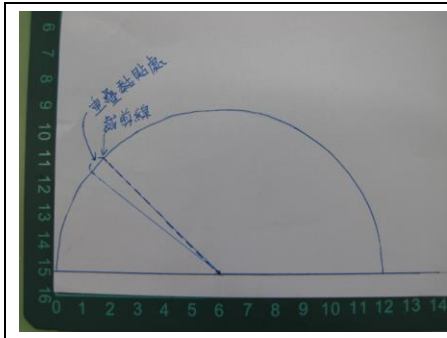
實驗一-3：波霸吸管與塑膠水管組合的吹箭

實驗步驟：

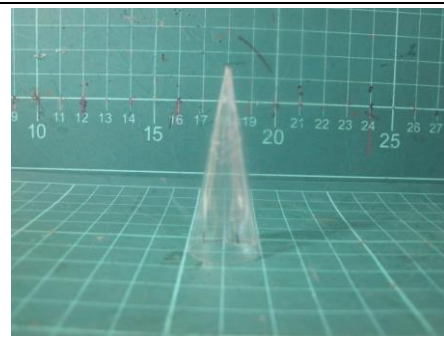
1. 製作箭頭：

使用厚度 0.1mm 投影片製作吹箭箭頭。圓規不易於光滑的投影片上畫線，因此先在影印紙上以 5 cm 為半徑畫半圓（圖 10），將投影片覆蓋在畫好的半圓上，再以細字簽字筆描繪線條在投影片上，剪下投影片描繪的半圓，繞成圓錐並調整圓錐大小使其緊密塞入塑膠水管且不會變形（圓弧長以能夠繞塑膠水管內徑一圈，再多 1 cm 作為重疊黏合的位置），以透明膠帶將扇形兩邊黏合，完成吹箭箭頭。（圖 11）

2. 以波霸吸管作為箭身，在波霸吸管的一端前緣均勻塗上一圈熱熔膠，再將箭頭蓋在吸管上，趁熱熔膠冷卻凝固前小心調整箭頭方向與箭身平行。（圖 12）



(圖 10)



(圖 11)



(圖 12)

討論：1. 將箭身改為波霸吸管後，如果繼續以棉花棒作為箭頭，必須找到一個方法讓棉花棒與波霸吸管平順的连接，在连接處不會有凹陷以至於產生氣流阻力，後來我們決定讓箭頭仿製火箭箭頭的設計，既可減少阻力又能緊密塞入塑膠水管使得發射時的氣流不會外洩。

2. 波霸吸管前方箭頭圓錐的外緣與水管內徑緊密接相接，但是要用嘴巴直接吹氣必須非常用力才能將箭身吹出，為了取得足夠的實驗數據必須重複吹氣的動作，但是吹久了會有頭暈的現象；不同的同學吹氣的能力不相同，或者，同一位同學每次吹氣的力道大小也不盡相同，因此為了控制實驗條件，必須設計一個每次吹氣的氣壓都能一致的發射裝置，於是我們開始著手設計發射架。

(表 3)

實驗一-4：設計與製作發射架

實驗步驟：

第一代發射架

1. 以打氣筒打氣製造壓力，為了確定氣壓大小選用附有氣壓計的打氣筒。(圖 13)
2. 將寶特瓶的瓶底切除一個圓孔，孔徑約與塑膠水管相同，將水管由瓶底外側塞入內側，在瓶底外側的圓孔處以熱熔膠黏住接頭。(圖 14)
3. 寶特瓶的瓶口與水火箭發射架的接頭連接，水管的一端接上水管的轉接閥。(圖 15、圖 16)
4. 將吹箭的箭身塞入塑膠水管內，箭頭方向朝外，箭尾方向的水管接在步驟 3 轉接閥的另一端。
5. 將轉接閥關閉，開始壓打氣筒打氣，直到壓力到達 3 個大氣壓，將閥門開通，箭身向前飛出。
6. 重複步驟 3 至步驟 5，但是壓力加壓至 4 個大氣壓時，塑膠水管與寶特瓶的接頭因壓力過大而鬆脫。(圖 17)

第二代發射架

1. 第一代發射架無法承受高於 4 個大氣壓的壓力，造成塑膠水管與寶特瓶的瓶底鬆脫。老師用酒精燈將鑽子烤熱，融切寶特瓶瓶底，使切口盡量縮小到塑膠水管剛好可以卡入，同學再用熱融膠密封接口處。再次加壓至 4 個大氣壓，接口處依舊鬆脫。
2. 後來同學無意間發現將塑膠水管由瓶底切口處穿入瓶中時，一直穿到寶特瓶瓶口內側，塑膠水管可以緊密的卡住寶特瓶瓶口內側(圖 18)，連接裝置後打氣加壓至 6 個大氣壓，接口處依舊緊密接合。
3. 觀察裝置發現寶特瓶的瓶口具有轉接水管與水火箭發射架的功能，於是將寶特瓶的瓶身切除留下瓶口，直接將塑膠水管卡緊瓶口內側(圖 19)，將發射架的其他部分完成(圖 20、圖 21)，進行發射。



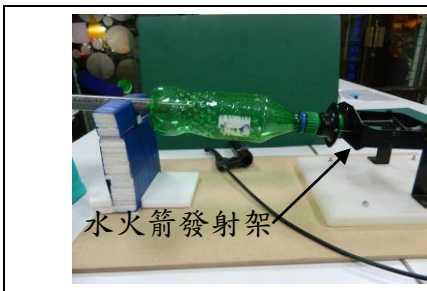
(圖 13)



(圖 14)



(圖 15)



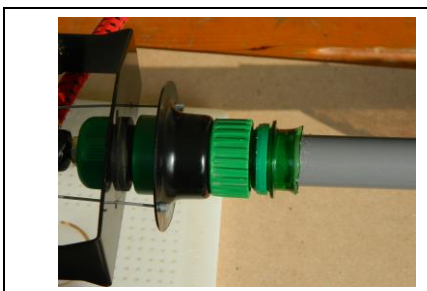
(圖 16)



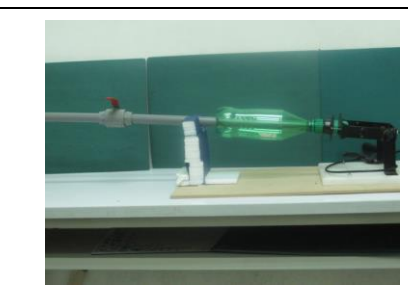
(圖 17)



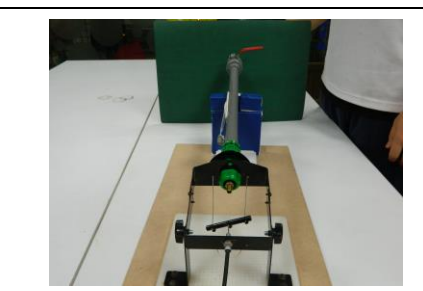
(圖 18)



(圖 19)



(圖 20)



(圖 21)

二、實驗二：吹箭效果的測試

實驗二-1：空白實驗

實驗步驟：

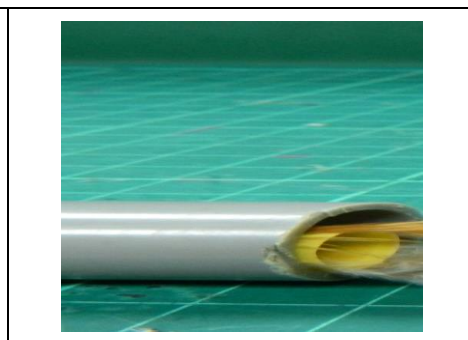
1. 以實驗一-3 步驟完成三個箭身。
2. 以手指頭將吹箭的箭身推入塑膠水管直到箭尾末端完全貼齊塑膠水管末端。(圖 22~圖 23)
3. 將箭頭朝前，連接實驗一-4 完成的發射架。
4. 加壓壓力定為 3.5atm，觀察箭身飛行狀況。
5. 記錄實驗數據。



(圖 20)

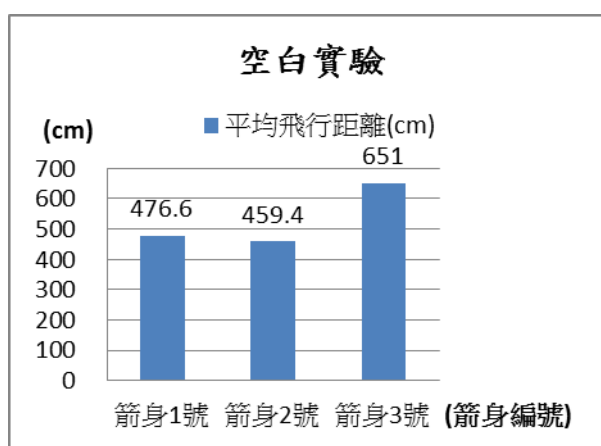


(圖 21)



(圖 22)

	箭身 1 號	箭身 2 號	箭身 3 號
	1.3g	0.9g	3.5g
	10.9cm	10.2cm	15cm
第 1 次飛行距離	455	350	725
第 2 次飛行距離	600	400	456
第 3 次飛行距離	388	401	450
第 4 次飛行距離	390	577	725
第 5 次飛行距離	390	466	725
第 6 次飛行距離	525	460	725
第 7 次飛行距離	480	531	699
第 8 次飛行距離	490	540	580
第 9 次飛行距離	560	379	725
第 10 次飛行距離	488	490	700
平均飛行距離(cm)	476.6	459.4	651



討論：1. 箭身 1~3 號分別由不同同學製作完成，因此同時有兩個變因，進行發射測試後發現平均飛行距離遠近不同，而且拿在手上感覺重量也不同，經電子秤秤重後發現吸管長度改變，重量也隨之改變，因此我們推測改變箭身長短或是改變箭身重量可能影響吹箭飛行距離。

2. 觀察箭身發射之後的現象，發現每個箭頭都會往上仰，表示箭頭太輕，因此需要在箭頭增加重量，同學經過討論後決定在箭頭黏貼迴紋針增加箭頭重量。

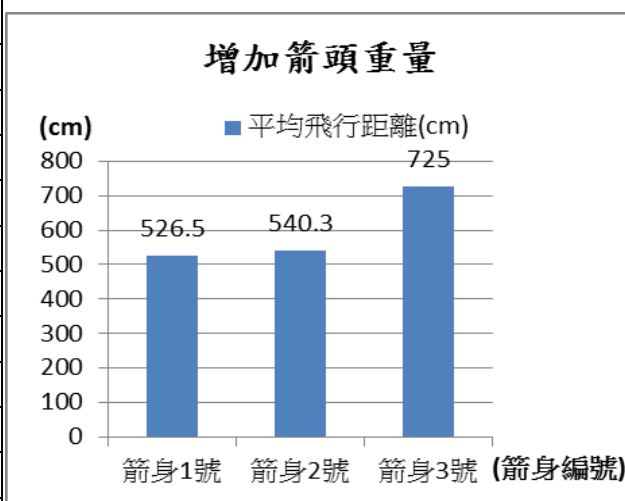
(表 4)

實驗二-2：增加箭頭重量

實驗步驟：

1. 在吹箭箭頭內側以熱熔膠固定三個迴紋針，重複先前的吹箭實驗並記錄數據。
2. 加壓壓力定為 3.5atm，觀察箭身飛行狀況。
3. 記錄實驗數據。

	箭身 1 號	箭身 2 號	箭身 3 號
第 1 次飛行距離	725	448	725
第 2 次飛行距離	440	530	725
第 3 次飛行距離	455	620	725
第 4 次飛行距離	600	480	725
第 5 次飛行距離	410	530	725
第 6 次飛行距離	490	540	725
第 7 次飛行距離	510	725	725
第 8 次飛行距離	725	550	725
第 9 次飛行距離	500	470	725
第 10 次飛行距離	410	510	725
平均飛行距離(cm)	526.5	540.3	725



討論：1. 為了在箭頭內側平均增加重量因此捨棄加入 1 個或兩個迴紋針的方式，因為錐頭空間有限，無法塞入 4 個迴紋針，所以加入 3 個迴紋針，原先將迴紋針直接以膠帶黏貼固定在箭頭外，但是箭頭外圍變得不平滑，經過討論後採取將迴紋針以熱熔膠黏貼在箭頭內側的方式增加箭頭重量。

2. 箭頭增加重量使得平均飛行距離增加。

3. 觀察實驗二-1 和實驗二-2 發射距離的結果發現：

(1) 比較箭身 1 號和箭身 2 號兩次實驗的飛行距離，雖然不盡相同，但是差距不大。

(2) 箭身 3 號在兩次實驗的飛行距離都是最長，當時室內空間最長的距離為 725cm，飛行結果都是飛到另一端撞到牆壁，表示箭身 3 號的飛行距離大於 725cm。

4. 以箭身 3 號作為下個實驗的箭身，觀察改變發射仰角對飛行距離的影響。

(表 5)

實驗二-3：改變發射仰角

實驗步驟：

1. 在塑膠水管側邊貼仰角觀測器，方便調整吹箭時管身的仰角。(圖 23)
2. 在箭身 3 號的箭頭加三個迴紋針作為此次實驗的箭身。
3. 加壓壓力定為 3.5atm，觀察箭身飛行狀況。
4. 記錄實驗數據。



(圖 23)

	仰角 0°	仰角 5°	仰角 15°	仰角 30°	仰角 45°
第 1 次飛行距離	685	725	715	695	685
第 2 次飛行距離	705	725	725	615	695
第 3 次飛行距離	685	725	698	700	725
第 4 次飛行距離	690	725	710	690	670
第 5 次飛行距離	710	725	715	685	690
第 6 次飛行距離	700	725	710	695	685
第 7 次飛行距離	695	725	669	725	698
第 8 次飛行距離	710	725	710	610	710
第 9 次飛行距離	710	725	715	690	715
第 10 次飛行距離	700	725	710	685	710
平均飛行距離 (cm)	699	725	707.7	679	698.3

(cm)

討論：1. 由實驗數據得知當吹箭外管仰角為 5° 時，平均飛行距離較遠。

2. 吹箭效果已能平均達到 650 公分以上，還曾經多次吹到 725 公分，其實還可以吹得更遠但是因為當時是在室內進行吹箭，室內最長距離為 725 公分。實驗之初因為考慮側風的干擾，所以在室內吹箭，如果要繼續進行後續的實驗，必須尋找更長的室內空間或是在室外飛行時降低側風干擾的方法。

(表 6)

實驗二-4：改變箭身長度的

實驗步驟：

1. 將市面上販售的波霸吸管斜邊剪齊，全長為 21 公分。將箭身吸管部分的長度定為：
 - (1) 吸管全長 21 公分
 - (2) 三分之二吸管長 14 公分
 - (3) 二分之一吸管長 10.5 公分
 - (4) 三分之一吸管長 7 公分
2. 以實驗一-3 步驟完成四個長度不同的箭身。(圖 24)
3. 在箭身的箭頭內側加三個迴紋針。
4. 將發射架角度定為仰角 5° 。
5. 加壓壓力定為 3.5atm。
6. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。



(圖 24)

吸管長度(cm)	平均飛行距離(cm)
7	690
10.5	560
14	890
21	1300

改變吸管長度

■ 平均飛行距離(cm)

吸管長度(cm)	平均飛行距離(cm)
7	690
10.5	560
14	890
21	1300

討論：1. 改變吸管長度，當吸管長度為 21cm 時平均飛行距離最長。

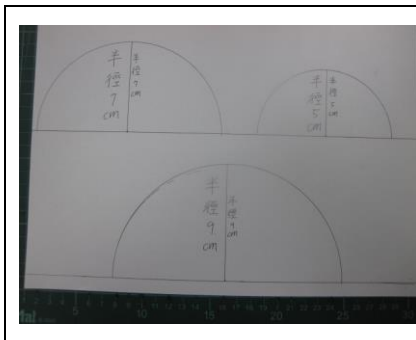
2. 吸管長度 10.5~21cm 之間，吸管長度愈長，飛行距離也變長。

(表 7)

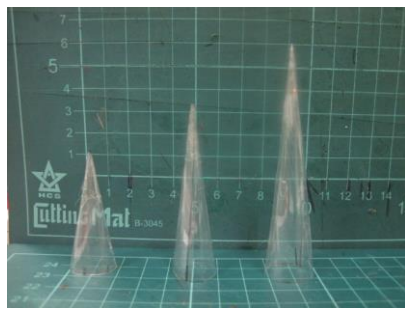
實驗二-5：改變箭頭錐角大小

實驗步驟：

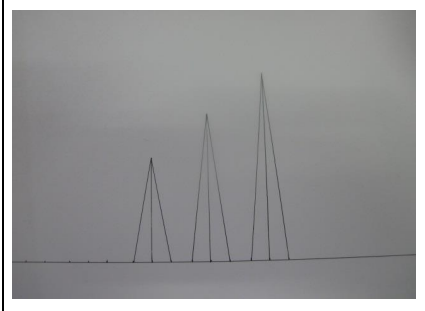
1. 以實驗一-3 步驟，先在影印紙上分別以 5、7、9 cm 為半徑畫半圓（圖 25），完成三種大小不同的箭頭（圖 26）。塑膠水管內徑平均周長為 5.6 cm，箭頭圓錐的圓周長也大約相同，圓周直徑為 1.8 cm，當圓錐高度增加，錐角變小。（圖 27）



（圖 25）



（圖 26）



（圖 27）

- 圓錐角的推算**：
- (1) 測量『錐底圓的直徑「R」』
 - (2) 測量『錐頂至錐底的長度「H」』。
 - (3) 以「R」為三角形的底，「H」為三角形的高，由錐頂分別畫兩條直線連接「R」的兩端畫成一等腰三角形，以量角器測量等腰三角形的頂角即為錐角。

扇形半徑 (cm)	5	7	9	<p>H(由左到右: 5cm、7cm、9cm)</p> <p>R(錐底圓的直徑都為 1.8cm)</p>
錐高 (cm)	5	7	9	
錐底直徑 (cm)	1.8	1.8	1.8	
錐角 (度)	20	15	10	

2. 改變錐角大小，完成 12 個吹箭箭身。（圖 28）
2. 將發射架角度定為仰角 5° 。
3. 加壓壓力定為 3.5atm。
4. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。



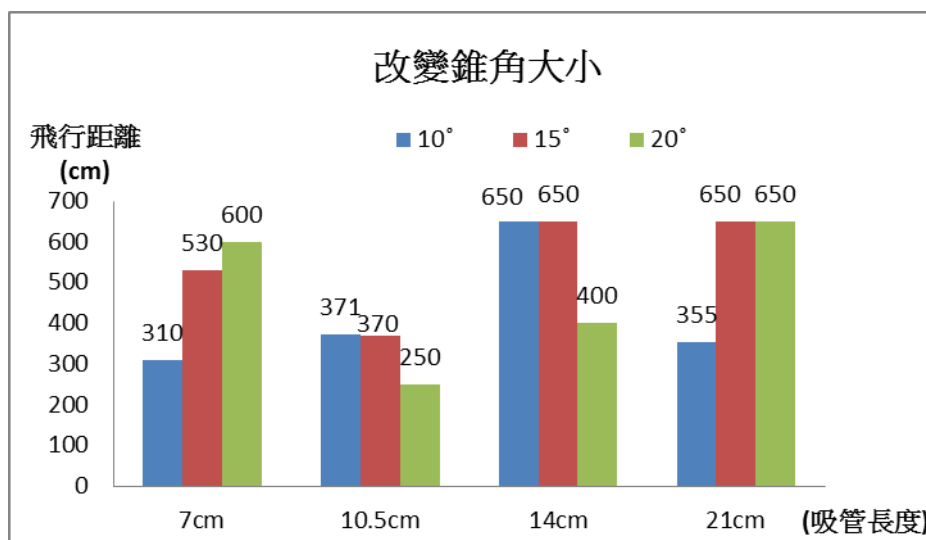
（圖 28）

箭身吸管長度	實驗數據		實驗圖形
7cm	錐角大小	平均飛行距離(cm)	<p>改變錐角大小-1</p> <p>(cm)</p> <p>— 飛行距離...</p> <p>800 600 400 200 0</p> <p>310 530 600</p> <p>10° 15° 20° (錐角大小)</p>
	10°	310	
	15°	530	
	20°	600	
10.5 cm	錐角大小	平均飛行距離(cm)	<p>改變錐角大小-2</p> <p>(cm)</p> <p>— 飛行距離(cm)</p> <p>400 300 200 100 0</p> <p>371 370 250</p> <p>10° 15° 20° (錐角大小)</p>
	10°	371	
	15°	370	
	20°	250	
14 cm	錐角大小	平均飛行距離(cm)	<p>改變錐角大小-3</p> <p>(cm)</p> <p>— 飛行距離(cm)</p> <p>800 600 400 200 0</p> <p>650 650 400</p> <p>10° 15° 20° (錐角大小)</p>
	10°	650	
	15°	650	
	20°	400	
21 cm	錐角大小	平均飛行距離(cm)	<p>改變錐角大小-4</p> <p>(cm)</p> <p>— 飛行距離(cm)</p> <p>800 600 400 200 0</p> <p>355 650 650</p> <p>10° 15° 20° (錐角大小)</p>
	10°	355	
	15°	650	
	20°	650	

(表 8)

根據(表 8)數據，整理如下表

錐角大小 吸管長度	7cm	10.5cm	14cm	21cm
10°	310	371	650	355
15°	530	370	650	650
20°	600	250	400	650



- 討論：
1. 吸管長度為 7 公分，改變錐角大小，發現錐角越小，可以飛行的距離越短。
 2. 吸管長度為 10.5 公分，改變錐角大小，發現錐角越小，可以飛行的距離越長。
 3. 吸管長度為 14 公分，改變錐角大小，發現錐角越小，可以飛行的距離越長。
 4. 吸管長度為 21 公分，改變錐角大小，發現錐角越小，可以飛行的距離越短。
 5. 錐角大小對飛行距離的影響必須配合吸管長度，找到較佳的飛行條件。
 6. 實驗結果顯示飛行距離為 650 公分者其實還可以飛得更遠，只是受限於室內空間太小。
 7. 觀察吹箭飛行狀況，發現箭尾會有晃動的狀況，同學討論火箭或是飛機的尾端的尾翼可以穩定機尾的氣流，在吹箭尾端添加羽毛也許可以讓吹箭箭尾保持平衡，於是我們決定在吹箭尾端增加不同的羽毛觀察對吹箭飛行遠近的影響。

(表 9)

實驗二-6-1：箭尾增加尾翼(吸管尾端貼上 2 根雞毛)

實驗步驟：

1. 將吸管尾端貼上 2 根雞毛作為尾羽。(圖 29)
2. 將發射架角度定為仰角 5°。
3. 加壓壓力定為 3.5atm。
4. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。



(圖 29)

箭身吸管長度	實驗數據	實驗圖形												
7 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>尾羽狀況 錐角大小</th> <th>沒有尾羽</th> <th>有尾羽</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>310</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>530</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>600</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table>	尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽	10°	310	650	15°	530	650	20°	600	650	
	尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽											
	10°	310	650											
	15°	530	650											
20°	600	650												
10.5 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>尾羽狀況 錐角大小</th> <th>沒有尾羽</th> <th>有尾羽</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>310</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>370</td> <td>390</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>250</td> <td>260</td> </tr> </tbody> </table>	尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽	10°	310	650	15°	370	390	20°	250	260	
	尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽											
	10°	310	650											
	15°	370	390											
20°	250	260												

14 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>尾羽狀況 錐角大小</th> <th>沒有尾羽</th> <th>有尾羽</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>400</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table>	尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽	10°	650	650	15°	650	650	20°	400	650	<table border="1"> <caption>尾羽對發射距離的影響-2</caption> <thead> <tr> <th>錐角大小</th> <th>沒有尾羽 (CM)</th> <th>有尾羽 (CM)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>400</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table>	錐角大小	沒有尾羽 (CM)	有尾羽 (CM)	10°	650	650	15°	650	650	20°	400	650
尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽																								
10°	650	650																								
15°	650	650																								
20°	400	650																								
錐角大小	沒有尾羽 (CM)	有尾羽 (CM)																								
10°	650	650																								
15°	650	650																								
20°	400	650																								
21 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>尾羽狀況 錐角大小</th> <th>沒有尾羽</th> <th>有尾羽</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>355</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table>	尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽	10°	355	650	15°	650	650	20°	650	650	<table border="1"> <caption>尾羽對發射距離的影響-4</caption> <thead> <tr> <th>錐角大小</th> <th>沒有尾羽 (CM)</th> <th>有尾羽 (CM)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>355</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table>	錐角大小	沒有尾羽 (CM)	有尾羽 (CM)	10°	355	650	15°	650	650	20°	650	650
尾羽狀況 錐角大小	沒有尾羽	有尾羽																								
10°	355	650																								
15°	650	650																								
20°	650	650																								
錐角大小	沒有尾羽 (CM)	有尾羽 (CM)																								
10°	355	650																								
15°	650	650																								
20°	650	650																								

討論：1. 所有的箭身加裝了尾羽後飛行距離都比原先增加。

2. 實驗結果顯示飛行距離為 650 公分者其實還可以飛得更遠，只是受限於室內空間大小。

3. 同學討論後決定在箭尾貼上 2 支雞毛撻子上的雞毛，因為雞毛較輕，不會增加太多重量。

4. 每根雞毛的大小、長短都不完全相同，且會有不同的彎曲角度，因此我們想要以羽毛球的羽毛取代雞毛做比較。

5. 實驗結果數據鑑別度不高，因為室內空間太小，為了明確知道實驗結果的差距，後續實驗移至學校走廊操作。

(表 10)

實驗二-6-2：箭尾增加尾翼(吸管尾端貼上 2 根雞毛、吸管尾端分別貼上 2 根、3 根羽毛球羽毛)

實驗步驟：

1. 將吸管尾端分別貼上 2 根雞毛、2 根、3 根羽毛球羽毛作為尾羽。(圖 30)

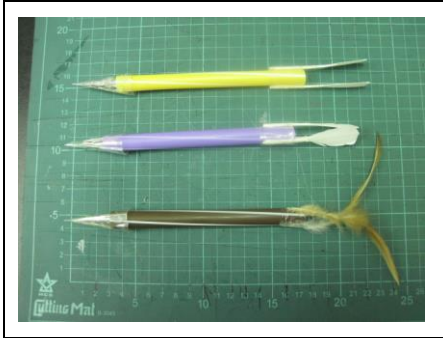
2. 發射地點由室內移到教室走廊。(圖 31~圖 32)

將發射架角度定為仰角 5°。

3. 取錐角 20° 不同長度吸管作為箭身。

4. 加壓壓力定為 3.5atm。

5. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。



(圖 30)



(圖 31)



(圖 32)

尾翼樣式 吸管長度	雞毛	羽毛球羽毛	羽毛球羽毛
	2 羽	2 羽	3 羽
7 cm	1260	2602	1800
10.5 cm	1080	2457	2004
14 cm	1035	3100	2324
21 cm	935	2825	2670

(cm)

改變尾羽

吸管長度	雞毛-二羽	羽毛球-二羽	羽毛球-三羽
7cm	1260	2602	1800
10.5cm	1080	2457	2004
14cm	1035	3100	2324
21cm	935	2825	2670

討論：1. 改變尾翼樣式，當尾翼為羽毛球羽毛，羽毛數 2 根時平均飛行距離最長。

2. 尾翼材質為羽毛球羽毛時，平均飛行距離比尾翼為雞毛時明顯增加，且飛行路徑更直。

3. 尾翼為 2 根雞毛時，隨著吸管長度增加，飛行距離縮短。

4. 尾翼為 3 根羽毛球羽毛時，隨著吸管長度增加，飛行距離增長。

5. 尾翼為 2 根羽毛球羽毛時，平均飛行距離高出其他二者，但是穩定度較差，推測可能是只有二根羽毛無法像 3 根羽毛的尾翼氣流平均。

6. 根據上述結論 3 和結論 4 推測可能是雞毛較輕，吸管加長時箭身重量增加，雞毛無法承載重量，使得飛行距離縮短；尾翼為羽毛球羽毛可承載增加的吸管重量，由此引發同學想要知道究竟雞毛和羽毛球羽毛的重量有多重？

(表 11)

實驗二-7-1：製作微量天平秤量羽毛重量

1. 在一根 3cm×3cm，長 30cm 的長方柱木塊黏貼珍珠板，珍珠板上橫跨一根鐵絲，鐵絲上穿過一支吸管，在吸管末端固定一支直尺作為刻度標示桿。(圖 33)
2. 距離吸管異端 3cm 處穿入鐵絲，使吸管可以平滑的在鐵絲上轉動。
3. 在靠近鐵絲端的吸管末端塞入螺絲，並且用膠帶固定螺絲，使吸管可以以木塊保持平衡。
4. 應用槓桿原理在螺絲下方再用膠帶黏貼一根迴紋針，迴紋針可以前後移動影響吸管平衡，作為校正平衡的裝置。(圖 34)
5. 當吸管平衡時，在直尺上黏貼一條紅色絕緣膠帶，作為平衡位置的刻度。(圖 35)



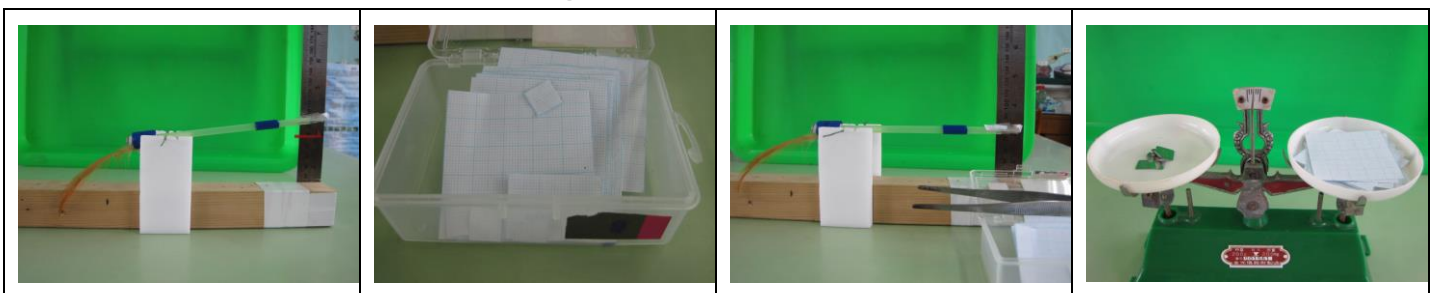
(圖 33)

(圖 34)

(圖 35)

實驗二-7-2：秤量羽毛重量

1. 將羽毛一端卡在平衡的微量天平一端，天平失去平衡，發現另一端往上翹。(圖 36)
2. 小心剪下方格紙作為平衡的砝碼。(圖 37)
3. 在天平的另一端放置 1cm² 的方格紙 6 張，直到天平平衡。
4. 在以校正平衡的等臂天平一端放上 10 張 5 格×5 格 1cm² 的方格紙，秤重。(圖 39)
5. 由步驟 4 秤量結果為 250 格 1cm² 的方格紙重量為 1.8g，得知每 1cm² 的方格紙重量為 7.2mg。
6. 對照步驟 3 得知一根雞毛的重量為 7.2×6=36 (mg)
7. 繼續秤量一根羽毛球羽毛重量為 75 mg。



(圖 36)

(圖 37)

(圖 38)

(圖 39)

實驗三：改變發射架條件對射箭距離的影響

實驗三-1：改變發射壓力(在教室走廊發射)

實驗步驟：

1. 發射地點由室內移到教室走廊。
2. 改變發射壓力。
3. 由實驗二-6 結果得知 4 種不同長度吸管且錐角為 10° 尾翼為雞毛的箭身，飛行距離都是最遠，因此選用 4 種不同長度吸管且錐角為 10° 的箭身為此次實驗的箭身，箭身尾端貼上雞毛作為尾翼。
4. 將發射架角度定為仰角 5° 。
5. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。

發射壓力 吸管長度	3.5atm	5.0atm
7cm	690	890
10.5cm	560	760
14cm	890	1462
21cm	1300	2300

改變發射壓力

吸管長度 (cm)	3.5atm (cm)	5.0atm (cm)
7cm	690	890
10.5cm	560	760
14cm	890	1462
21cm	1300	2300

討論：1. 發射壓力由 3.5atm 增加至 5atm 時，會增加飛行距離，以吸管長度 21cm 的箭身達到的飛行距離最長，2300cm。

2. 實驗進行時避開其他同學在校時間，選擇假日的時間進行，以避免人多時不小心傷到同學。

3. 學校走廊地板為磨石子材質較光滑，發射箭身時發射架會有輕微滑動的現象，因此將發射架放在桌上進行實驗，滑動情況有改進，但是桌腳不穩又造成晃動的現象，於是每次要發射的時候，要有同學壓緊桌面減少晃動。

(表 12)

實驗三-2-1：改變吹箭外管的長度測試射箭距離的變化(在教室走廊發射)

實驗步驟：

1. 發射地點在教室走廊。
2. 改變吹箭外管的長度(由原先的 40cm 變成 80cm)。
3. 發射壓力為 5atm。
4. 由實驗二-6 結果得知 4 種不同長度吸管且錐角為 10° 的箭身，飛行距離都是最遠，因此選用 4 種不同長度吸管且錐角為 10° 的箭身，箭身尾端貼上雞毛作為尾翼。
5. 將發射架角度定為仰角 5°。
6. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。

將實驗三-1 的實驗數據與實驗三-2-1 的實驗數據作比較：

外管管長 吸管管長	吹箭外管 40cm	吹箭外管 80cm
7cm	890	1688
10.5cm	760	2010
14cm	1462	1590
21cm	2300	2334

改變吹箭外管長度

■ 吹箭外管40公分 ■ 吹箭外管80公分

(cm)

7cm 10.5cm 14cm 21cm (吸管長度)

討論：1. 以錐角 10° 不同長度的吸管進行吹箭測試，當吹箭外管管長由 40 公分增長為 80 公分時，飛行距離大多增加，推測應該是外管長度增加也同時增加吹箭飛行的慣性。
2. 我們想要再加長吹箭外管觀察對飛行距離的影響。

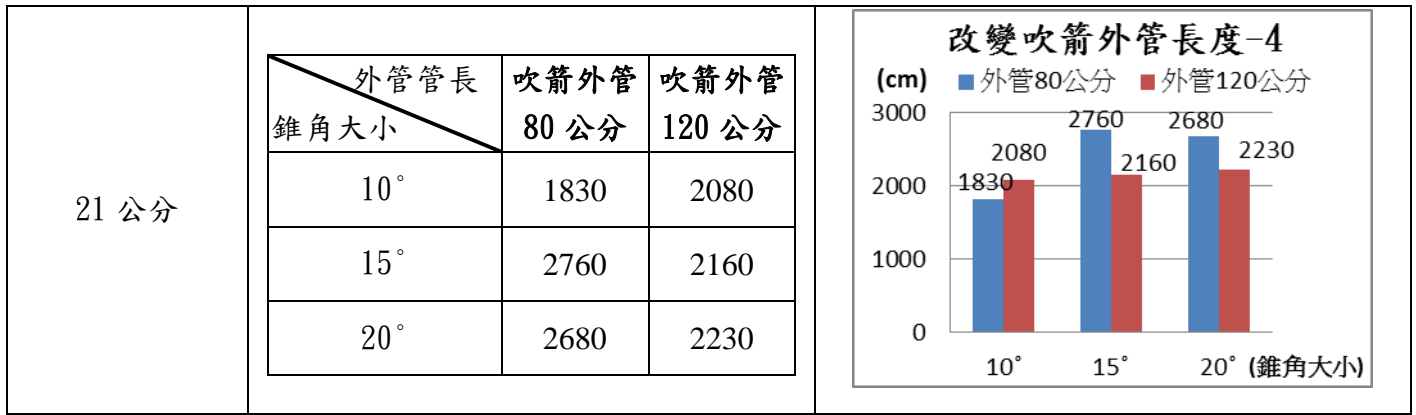
(表 13)

實驗三-2-2：改變吹箭外管的長度測試射箭距離的變化(在教室走廊發射)

實驗步驟：

1. 改變吹箭外管的長度。(比較外管長度 80cm 和 120cm)
2. 發射壓力為 5atm。
3. 取 4 種不同長度吸管且不同大小的錐角的箭身，箭身尾端貼上雞毛作為尾翼。
4. 將發射架角度定為仰角 5°。
5. 觀察箭身飛行狀況，各記錄 10 次飛行距離，取平均如下表。

箭身吸管長度	實驗數據			實驗圖形												
7 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>外管管長 錐角大小</th> <th>吹箭外管 80cm</th> <th>吹箭外管 120cm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>1250</td> <td>1140</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>2680</td> <td>2440</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>1850</td> <td>1140</td> </tr> </tbody> </table>	外管管長 錐角大小	吹箭外管 80cm	吹箭外管 120cm	10°	1250	1140	15°	2680	2440	20°	1850	1140			
	外管管長 錐角大小	吹箭外管 80cm	吹箭外管 120cm													
	10°	1250	1140													
	15°	2680	2440													
20°	1850	1140														
10.5 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>外管管長 錐角大小</th> <th>吹箭外管 80 公分</th> <th>吹箭外管 120 公分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>1360</td> <td>1300</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>2100</td> <td>1310</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>1940</td> <td>1210</td> </tr> </tbody> </table>	外管管長 錐角大小	吹箭外管 80 公分	吹箭外管 120 公分	10°	1360	1300	15°	2100	1310	20°	1940	1210			
	外管管長 錐角大小	吹箭外管 80 公分	吹箭外管 120 公分													
	10°	1360	1300													
	15°	2100	1310													
20°	1940	1210														
14 公分	<table border="1"> <thead> <tr> <th>外管管長 錐角大小</th> <th>吹箭外管 80 公分</th> <th>吹箭外管 120 公分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10°</td> <td>1520</td> <td>1760</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>1600</td> <td>1460</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>2510</td> <td>1400</td> </tr> </tbody> </table>	外管管長 錐角大小	吹箭外管 80 公分	吹箭外管 120 公分	10°	1520	1760	15°	1600	1460	20°	2510	1400			
	外管管長 錐角大小	吹箭外管 80 公分	吹箭外管 120 公分													
	10°	1520	1760													
	15°	1600	1460													
20°	2510	1400														



討論：1. 當吹箭外管由 80 公分增加為 120 公分時，大部份飛行距離都減少。
 2. 當吹箭外管增長為 120 公分時，外管最前端會有下垂的狀況，在發射時管子晃動非常厲害，雖然我們利用角鋼組裝成一個鋼架(圖 40)，並且在管子與角鋼接觸的地方綁上泡棉片，增加摩擦力但是實驗數據仍然比吹箭外管為 80 公分時的飛行距離更短。

(表 14)



(圖 40)

伍、結論

- 一、箭頭增加重量使得平均飛行距離增加。
- 二、當吹箭箭管仰角為 5° 時，平均飛行距離較遠。
- 三、改變吸管長度，當吸管長度為 21cm 時平均飛行距離最長。
- 四、錐角大小對飛行距離的影響必須配合吸管長度，得到較遠的飛行距離。
- 五、箭身加裝了尾羽後飛行距離都比原先增加。
- 六、羽毛球羽毛做成的尾翼比雞毛做成的尾翼飛行距離更長，路徑更直。
- 六、當發射壓力由 3.5atm 增加至 5.0atm 時，發射距離明顯增加。
- 七、當吹箭外管管長由 40 公分增長為 80 公分時，飛行距離明顯增加；吹箭外管由 80 公分增加為 120 公分時，大部份飛行距離都減少。

陸、參考資料

- 一、scigame.ntcu.edu.tw/Site1/Game_air13.html
- 二、zh.wikipedia.org/zh-tw/膛線
- 三、tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1405112918389

【評語】 080812

本作品製作吹箭，探討箭頭重量、發射仰角、箭身長度的影響，並實驗改變發射架條件（壓力與長度），對吹箭效果的影響。實驗考量完整，若能以所學理論解釋實驗結果將可增加應用價值。