

嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會 作品說明書

附件：說明書封面

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：隱形的子彈—空氣砲

關 鍵 詞：空氣砲、空氣 (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.編號由承辦單位統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

摘要

我們經過一連串的實驗，利用大小不同的寶特瓶、紙箱、塑膠桶設計出理想的空氣砲，並找出可以測試表示空氣砲威力的器材和方法，發現硬度較高、底部不完全切除的寶特瓶，可以做出理想的空氣砲，所有空氣砲都須注意密合度及彈性疲乏問題；同一個實驗固定砲手，設置發射台可減少人為誤差；風速計因取樣時間間隔及扇葉過小不易精準命中，無法用來測量空氣砲威力，棉球和單一紙片最適合用來量測空氣砲的威力，蠟燭適合量測較大型空氣砲的威力，黑暗背景中對煙圈打光則方便觀察空氣的流動狀態。較大的砲身，拉動氣球長度較長，砲口直徑較大及單一砲口，空氣砲威力較強，砲口面積相同時，三角形砲口威力較弱，觀察推測是由於三角形砲口放入棉球後漏氣，影響棉球脫離的速度，我們可以自製空氣砲，當成慶祝用「拉炮」或其他科學玩具，警消用的拋繩槍也是空氣砲原理的應用。

壹、研究動機

我們在卡通影片上看到哆啦 A 夢有空氣砲，放在手上就可以發射，感覺好神奇，自然課課程中，上到「空氣可以產生動力」的單元，發現有人在玩空氣砲彈的玩具，看不見子彈，卻可以把蠟燭吹熄，覺得很有趣，於是我們就想到要怎樣製造一個最厲害的空氣砲。空氣砲引起我們的好奇心，因此想藉著實驗來了解空氣砲的原理，如何製作理想的空氣砲及影響空氣砲威力的條件。

貳、研究目的

- 一、如何製作出好的空氣砲。
- 二、找出測量各類空氣砲威力的器材與方法。
- 三、了解砲身大小對空氣砲威力的影響。
- 四、了解拉動氣球的長度對空氣砲威力的影響。
- 五、了解砲口形狀對空氣砲威力的影響。
- 六、了解砲口直徑大小對空氣砲威力的影響。
- 七、了解砲口數量對空氣砲威力的影響

參、研究設備及器材

12 吋氣球	線香	黏土	長尺
圾圾袋	彈簧秤	裁紙刀	捲尺
9.5L 塑膠桶	中型棉球	剪刀	膠帶
蠟燭	保麗龍球	美工刀	砂紙
木製蠟燭固定台	打火機	雕刻刀	瓦斯爐



數位相機



風速計



各種尺寸的寶特瓶



電動鑽孔機

肆、研究方法

一、如何製作出好的空氣砲。

(一)製作寶特瓶空氣砲

- 1.將各種尺寸寶特瓶底部切割，再將 12 吋氣球剪成前後兩半。
- 2.分別將氣球前段打結，以膠帶黏貼於寶特瓶底部，後段汽球則直接黏貼，可得兩種空氣砲。(圖及圖)
- 3.將雕刻刀以火槍加熱後將 6 公升大寶特瓶底部挖洞，再以多層垃圾袋封口。

4.拍打底部垃圾袋，即成空氣砲。(圖)

(二)製作紙箱空氣砲

1.將大小不同的紙箱以膠帶密封，底部挖洞。

2.拍打紙箱側面，即成紙箱空氣砲。(圖)

(三)製作塑膠桶空氣砲

1.在 9.5 公升的塑膠桶底部以美工刀在瓦斯爐上加熱後，挖直徑 5.5 公分的圓為砲口。

2.塑膠桶另一端以多層垃圾袋封口，拍打垃圾袋，即成空氣砲。(圖)



大小不同的紙箱空氣砲

9.5L 塑膠桶空氣砲

★寶特瓶空氣砲發射時為減少人為誤差，可固定於桌面(發射台)，將汽球拉至固定長度，再由同一位砲手發射，可大幅提高精準度，而大小不同紙箱和塑膠桶空氣砲是利用人力拍打，不易控制同一力道，故三~六測試空氣砲威力的實驗，全部以寶特瓶空氣砲為之。★

二、找出測量各類空氣砲的威力的器材和方法。

針對不同種類空氣砲，我們經過一連串的試驗，找出測量各類空氣砲威力的器材和方法。

(一) 不同砲手

1.同一空氣砲由不同砲手發射空氣砲，測量人為因素是否影響空氣砲的威力。

(二) 風速計

實驗一：

1.手持風速計距離空氣砲砲口 20 公分、1 公尺。

2.分別測量三類空氣砲的威力。

實驗二：

1.風速計距離電風扇 20 公分、1 公尺。

2.固定電風扇方向及轉速，以腳架固定風速計，測量扇葉轉動時的風速。



以風速計測試空氣砲威力



以風速計測試電風扇風速

(三) 紙片

實驗一：不同厚度紙片

粉彩紙，影印紙，西卡紙(經過一連串的測試，發現寬 3 cm，長度 8 cm 的粉彩紙摺成 90 度角，放置於桌面最適合)

實驗二：每隔一段距離(10 公分)放置雲彩紙

雲彩紙適合用於測試寶特瓶空氣砲的威力，剛開始我們每隔一段距離(10 公分)放置紙片，但發現空氣砲的氣流會被前方紙片阻擋削弱，因此改用單一紙片放在不同距離。

實驗三：單一紙片放在不同距離

單一雲彩紙放在不同距離，觀察紙片是否傾倒或晃動，測量 10 次，記錄下來。



以成排雲彩紙測試空氣砲威力



以單一紙片測試空氣砲威力

(四) 蠟燭

1. 將蠟燭插在木製蠟燭固定台，每隔 10 公分放置一支蠟燭。

2.分別發射三類型空氣砲，觀察蠟燭熄滅或晃動的情形，記錄下來。

(五)棉球與保麗龍球

實驗一：棉球

將相同大小的棉球放在 600mL 寶特瓶空氣砲砲口，測量棉球發射後前進的距離，量化空氣砲的威力。

實驗二：保麗龍球

將保麗龍球放在寶特瓶瓶口，測量保麗龍球發射後前進的距離，量化空氣砲的威力。



以點燃的蠟燭測試空氣砲威力

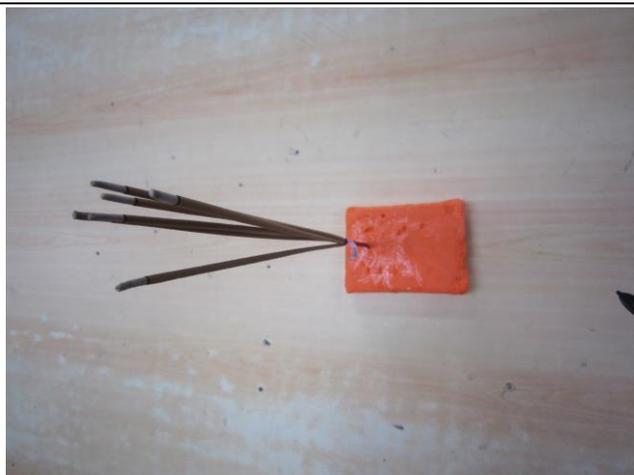


以棉球或保麗龍球測試空氣砲威力

(六) 煙圈

1.以多支點燃的線香插在黏土上，將空氣砲砲口套入，製作各類(寶特瓶、紙箱、大塑膠桶)空氣砲的煙霧。

2.拉動氣球或拍打空氣砲觀察煙圈。



利用線香製造煙霧



以固定於黏土的線香製造煙霧



將紙箱空氣砲套入點燃的線香束製造煙霧



黑暗中打光觀察空氣砲

★在桌面設置發射台，則中小型寶特瓶空氣砲拉動力量容易控制一致，因此三~六測試空氣砲威力的實驗，全部以寶特瓶空氣砲為之，空氣砲威力則以棉球前進的距離表示(因為小寶特瓶不易將蠟燭熄滅)。★

★由測試空氣砲威力實驗，發現紙片、棉球或蠟燭都極易受到背景空氣流動的影響，因此實驗進行時，我們盡量將門窗關閉，人身體離開桌面，並避免深呼吸影響實驗精準度。★

三、砲身大小對空氣砲威力的影響。

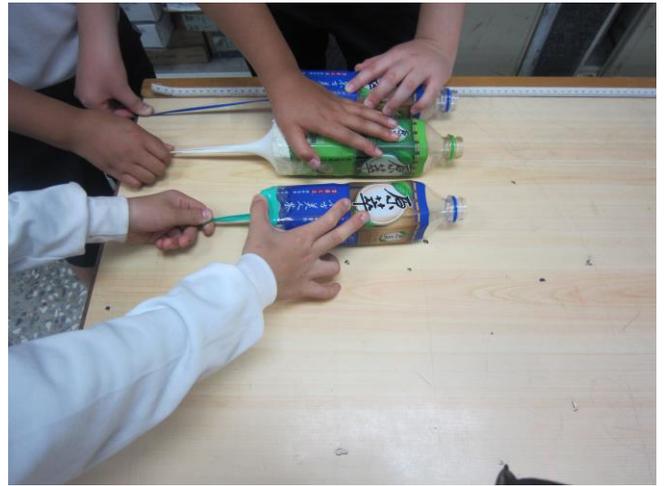
- (一)製作容積 0.35 L，0.6L，1.5L 的寶特瓶空氣砲，將棉球放在砲口。
- (二)氣球一律拉至 10 公分，測量棉球前進的距離，測試 10 次取平均值。

四、拉動氣球長度對空氣砲威力的影響。

- (一)製作 600mL 寶特瓶空氣砲，空氣砲固定於桌面減少人持砲誤差。
- (二)氣球分別拉至 10cm、20cm 來測試。
- (三)測量棉球前進的距離，測試 10 次取平均值。



砲身大小不同的空氣砲



氣球拉至 10cm、15cm、20cm 空氣砲示意圖

五、砲口形狀對空氣砲威力的影響。

實驗一：不同形狀(同面積)砲口對空氣砲威力的影響

- (一)計算各種形狀砲口的邊長(面積均為 3.14 平方公分)，在 350mL 果汁瓶瓶蓋上分別畫出圓形、正方形、三角形砲口。
- (二)瓶蓋以電動鑽孔機分別切割各種形狀的砲口，底部黏貼氣球。
- (三)砲口放上棉球測量其前進的距離，測試 10 次取平均值。

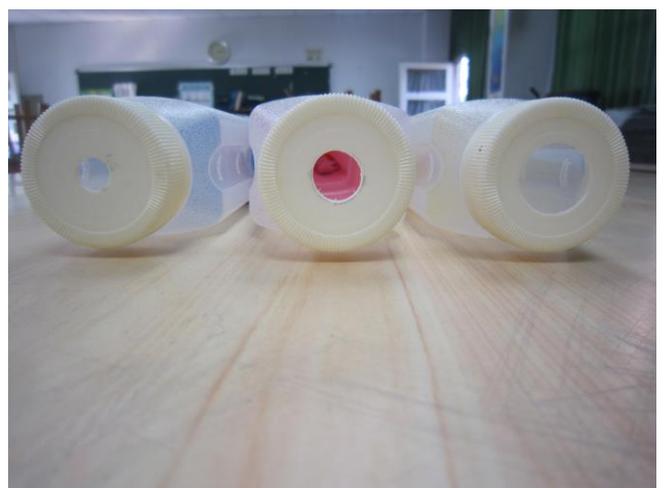
★瓶口形狀會影響空氣砲威力與我們的假設不同，推測是棉球脫離砲口的速度不同，因此進行實驗二來驗證。★

實驗二：棉球脫離三種形狀砲口所需的力量

- (一)以彈簧秤拉動放在圓形、正方形、三角形砲口的棉球。
- (二)觀察、記錄棉球脫離三種形狀砲口所需的力量。



棉球脫離各種形狀砲口實驗裝置



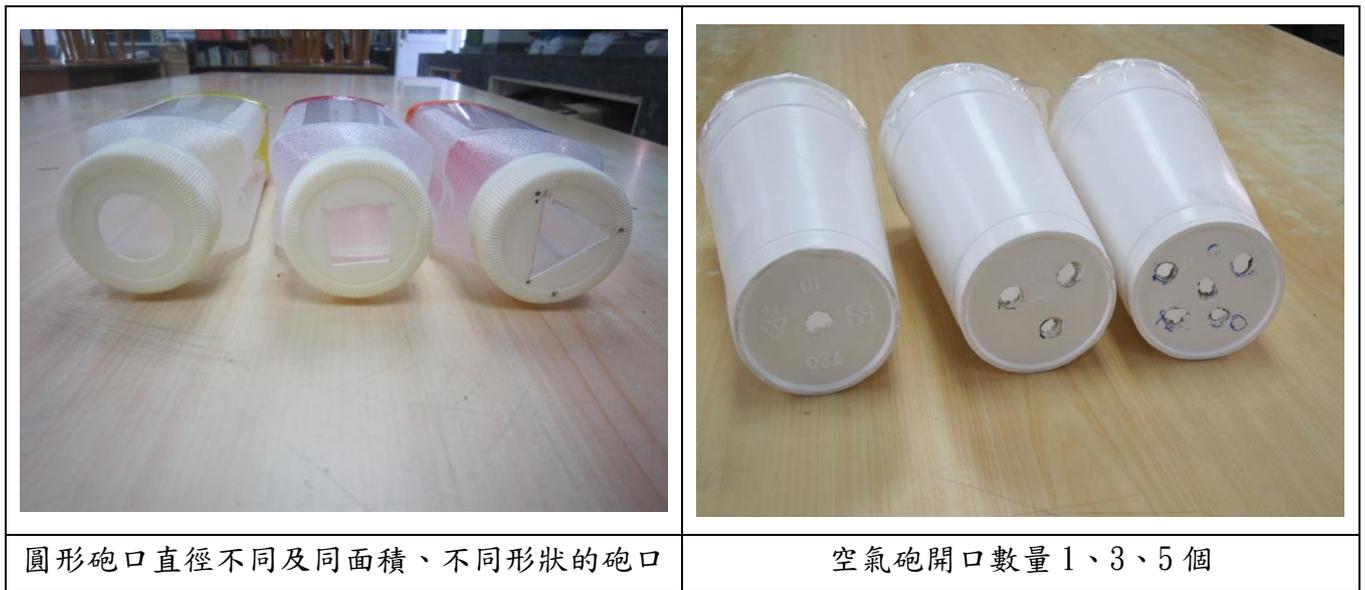
直徑 1cm、1.5cm、2cm 的圓形砲口

六、砲口直徑大小對空氣砲威力的影響。

- (一) 350mL 果汁瓶瓶口以電動鑽孔機切割出直徑 1cm、1.5cm、2cm 的圓形砲口。
- (二) 底部切口黏貼氣球，氣球拉長 15cm。
- (三) 砲口放上棉球測試其前進的距離，測試 10 次取平均值。

七、砲口數量對空氣砲威力的影響。

- (一) 請飲料店老闆將寶麗龍杯口封膜，當成空氣砲皮膜發射的地方。
- (二) 杯底部用線香燒出 1、3、5 個相同大小的圓形砲口（因為難以塞 3 顆、5 顆棉球，無法以棉球做測試），由同一位砲手以同樣的力量拍打封膜。
- (三) 測量何種距離的紙片傾倒或晃動情形，測試 10 次取平均值。



伍、結果與討論

一、如何製作出好的空氣砲。

(一) 製作寶特瓶空氣砲

1. 寶特瓶宜選擇硬度較高較耐用者。
2. 將 12 吋氣球剪成兩半，兩端皆可當成空氣砲氣球膜，但吹嘴那端較不容易被指甲刮壞，且較容易控制拉動氣球的距離。
3. 寶特瓶底部若完全切除，套上氣球前須以剪刀切平或以砂紙研磨切口平整，以免刺破氣球。
4. 切除底部的寶特瓶，砲身強度下降容易扭曲變形，因此我們往後實驗都僅在寶特瓶底部切割相同開口，保留底部周邊，製作出堅固耐用的空氣砲。
5. 大寶特瓶空氣砲(6L)(圖)，底部的垃圾袋經多次拍打容易變得鬆垮，此時須重新黏好。

空氣砲的原理：拉動氣球時，氣球膜體積增大，釋放氣球膜時，膜擠壓空氣，被擠壓的空氣傳遞能量，空氣振動造成的能量釋放，可以讓空氣像隱形子彈一樣，快速飛出。

(二) 製作紙箱空氣砲

- 1.紙箱要以膠帶密封成不漏氣，空氣砲威力才容易顯現。
- 2.紙箱體積越大，威力越強。

(三)製作塑膠桶(9.5L)空氣砲

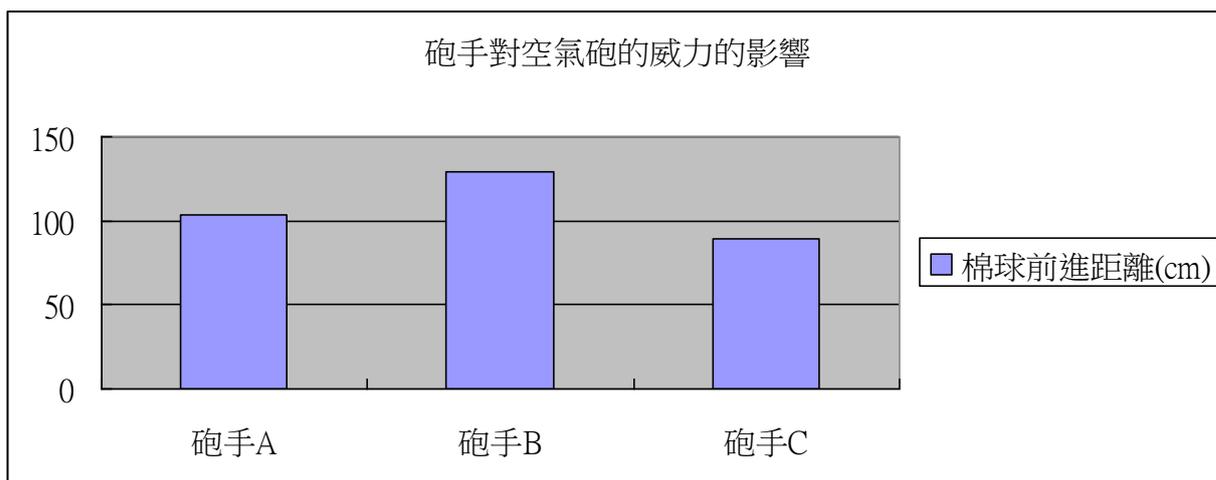
- 1.塑膠桶空氣砲體積大，威力強，未事先徵詢，不宜對人或動物發射，因為會引起他人不悅或有安全顧慮。
- 2.紙箱和大塑膠桶空氣砲都是利用拍打發射，若要測試威力，較無法控制每次發射(拍打)力量一致。

	
<p>寶特瓶底部切除容易割破氣球，瓶身強度減弱，易變形。</p>	<p>紙箱體積越大，威力越強</p>

★寶特瓶空氣砲以拉動氣球膜發射，可固定於桌面(發射台)，將汽球拉至固定長度，減少人為誤差，大幅提高精準度，而大小不同紙箱和塑膠桶空氣砲是利用人力拍打來發射，不容易控制同一力道，故三~六測試空氣砲威力的實驗，全部以寶特瓶空氣砲為之。★

二、找出測量各類空氣砲的威力的器材與方法

(一)不同砲手



- 1.結果如上圖，同一個空氣砲(600mL 寶特瓶，氣球拉至 10 公分)，由不同砲手來操作，砲手 A，B，C，棉球前進的平均距離分別為 103.21，128.76，89.52 公分，
- 2.由上圖發現不同砲手拉動氣球或拍打紙箱，會明顯影響空氣砲的威力，故往後同一個實驗固定一位砲手以減少人為誤差。
- 3.砲手施力越大者，空氣砲威力越強，但有時太用力卻會將氣球拉破。

(二)風速計

實驗一：以風速計測空氣砲威力

結果:

空氣砲種類 與風速計距離	350mL 寶特瓶	0.6L 寶特瓶	9.5L 塑膠桶
20 公分	扇葉沒轉動，數值 0	扇葉轉動，數值 0	數值在 1.4~4.0(m/s)間 一直變動
1 公尺	扇葉沒轉動，數值 0	扇葉轉動，數值 0	在 0.8~1.2(m/s)間變動

我們原本預測風速計可精準測量空氣砲威力，實際進行實驗，發現風速計並不適合，原因如下:

- 1.風速計取樣時間為每秒 1 次，無法搭配空氣砲極短暫的發射時間，小寶特瓶(350m L)空氣砲發射時，扇葉完全不轉動；0.6L 寶特瓶常看到風速計扇葉轉動，但風速指數為零。
- 2.以風速計測量大塑膠桶空氣砲威力，數值一再變化，且時間極短，難以定量。
- 3.風速計扇葉目標太小，不易瞄準，不適合用來測試空氣砲的威力。
- 4.空氣砲是利用空氣被壓縮後經過砲口流出，是一種疏密不斷變化的空氣波動，取樣時間難以搭配。如圖

實驗二：以風速計測量電風扇風速

結果：我們想了解風速計取樣運作的方式，因此以風速計測量電風扇的風速，將電風扇固定”弱風速、扇頭不轉動”，測量的數值還是一直變化，因此風速計本身量測時間間隔不適合表示空氣砲威力。

(三)紙片

實驗一：不同厚度的紙片

結果：雲彩紙、影印紙、西卡紙中，以雲彩紙最適合用於測量寶特瓶空氣砲的威力。

實驗二：每隔一段距離(10 公分)放置紙片。

結果：

1.剛開始我們每隔一段距離(10 公分)放置雲彩紙，觀察記錄紙片倒下或晃動的情況發現空氣砲的氣流會被前方紙片阻擋削弱，因此改用單一紙片放在不同距離測試。

實驗三：單一雲彩紙放在不同距離

結果：測量、記錄雲彩紙倒下或晃動的情況，發現此方法最恰當。



成排放置的紙片容易互相遮擋空氣砲的氣流



單一紙片的距離可以表示空氣砲的威力

(四)蠟燭

- 1.要將點燃的蠟燭熄滅必須是要蠟蒸氣被阻斷一段時間，缺乏可燃物，因為空氣砲的發射產生的氣流時間很短，有時蠟燭僅晃動不熄滅，所以點燃的蠟燭較適合用來測試較大型空氣砲的威力。
- 2.以蠟燭來測試表示空氣砲的威力時，空氣砲瞄準十分重要，這是影響蠟燭熄滅與否的重要因素。
- 3.剛點燃的蠟燭較容易被空氣砲熄滅，點較久的較不易熄，推測點燃較久的蠟蒸氣多且溫度高，這也是蠟燭測試的誤差原因之一。

(五)棉球及保麗龍球

實驗一：棉球

棉球能將寶特瓶砲口填滿不漏氣，向前進落地後落點固定，因此適合用來表示空氣砲的威力。

實驗二：保麗龍球

- 1.保麗龍球因為會彈跳，落點一再變動，所以不適合用來量測空氣砲的威力。
- 2.此實驗讓我們想到若將彩色紙屑放進空氣砲裡，則可自製當成慶祝用「拉炮」，考量紙屑噴出容易度，用紙杯或其他砲口稍大的空氣砲製作較合適。



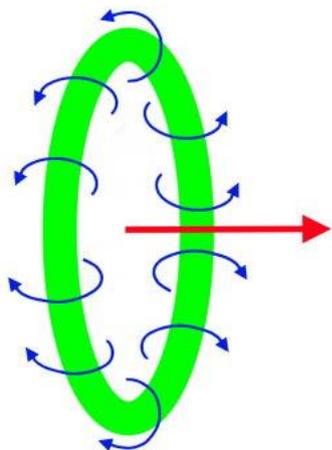
點燃的蠟燭可以試驗較大型空氣砲的威力



棉球比保麗龍球更容易量測空氣砲的威力

(六)煙圈

- 1.煙圈的形成是空氣受到擠壓，通過砲口時，砲口中心空氣流速比周圍空氣快，造成快速旋轉而成煙圈狀。
- 2.寶特瓶空氣砲(0.6L)以線香製煙時，線香燃燒的熱容易讓瓶子融化穿孔，所以我們選擇紙箱及塑膠桶空氣砲觀察煙圈，線香則以黏土固定，此方法較手持不易燒壞空氣砲。
- 3.以線香製煙效果不很理想，或許利用乾冰製煙是可行的，但乾冰煙圈為二氧化碳比空氣重，煙圈離開砲口後應該會稍微往下。
- 4.經過多次的試驗，我們發現煙圈的觀察宜選在黑色背景處，對煙圈打光較容易觀察，或將煙圈擊在深色布幕上，但要拍到清晰的照片並不容易。
- 5.空氣為無色，煙圈便於觀察空氣經施壓後流動的形狀，若想玩長距離射靶，也容易瞄準。



空氣砲中的空氣受到擠壓，通過砲口時，砲口中心的空氣流速比周圍空氣流速快，造成快速旋轉而成為煙圈狀。
(文字及圖片 出自台中教育大學科學遊戲網站，小幅修改)

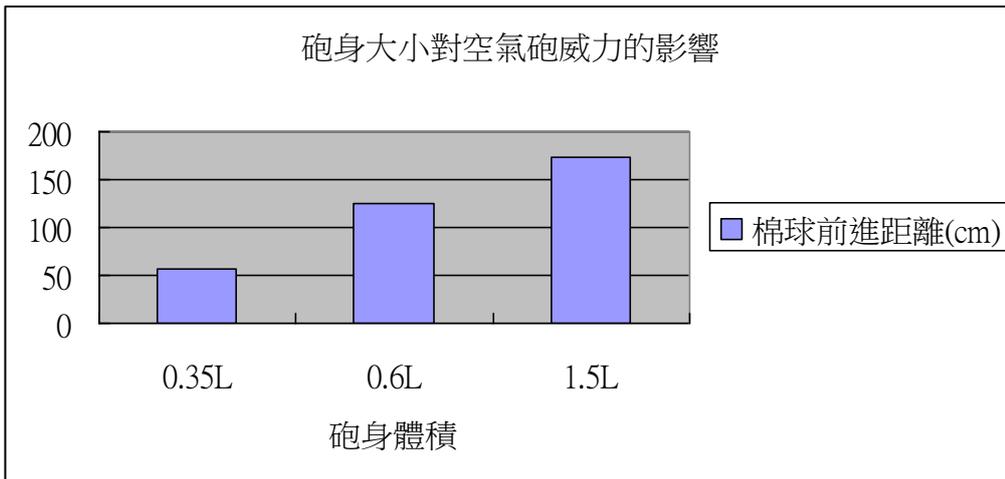


自製拉砲



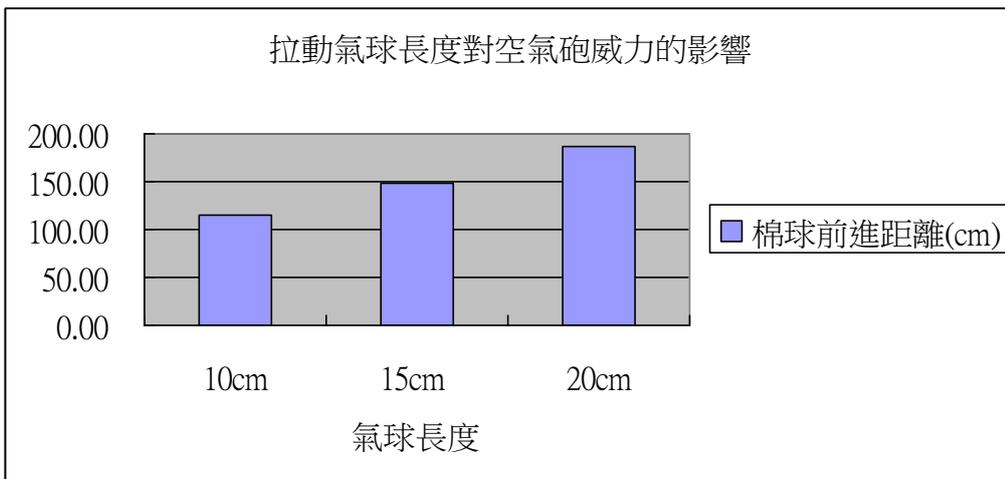
深色背景讓煙圈觀察較清楚

三、砲身大小對空氣砲威力的影響。



- (一)結果如上圖，體積 0.35 L、0.6L、1.5L 的寶特瓶空氣砲來測試，棉球前進的距離分別為 56，124，174 公分，砲身體積越大，棉球前進距離越長。
- (二)空氣砲體積越大，發射時的氣流越強，故威力越強大。
- (三)空氣砲是利用瓶子中的空氣受擠壓後，經過砲口出去形成的氣流，產生波動與聲音，因而使棉球射出，所以瓶身愈大，空氣愈多，能量愈強。

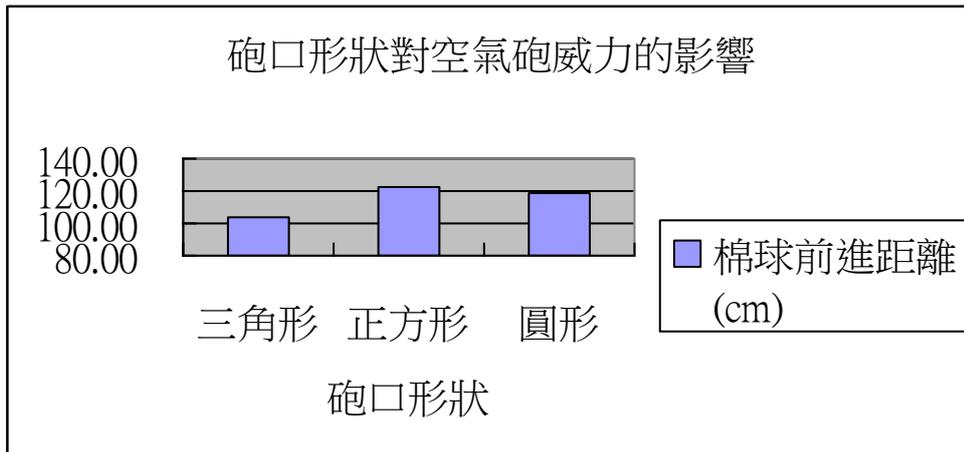
四、拉動氣球長度對空氣砲威力的影響。



- (一)結果如上圖，當氣球分別拉長至 10cm、15cm、20cm，棉球前進距離平均值分別為 115，148，186 公分；拉動氣球越長，棉球射程越遠。
- (二)氣球拉動越長，氣球膜體積增大越多，釋放氣球膜時，膜擠壓空氣，被擠壓的空氣傳遞能量，空氣振動造成的能量釋放越多，故威力越強大。
- (三)氣球使用一段時間容易彈性疲乏，當發現棉球前進距離大幅下降，此時氣球須更新。

五、砲口形狀對空氣砲威力的影響。

實驗一：砲口形狀影響空氣砲的威力



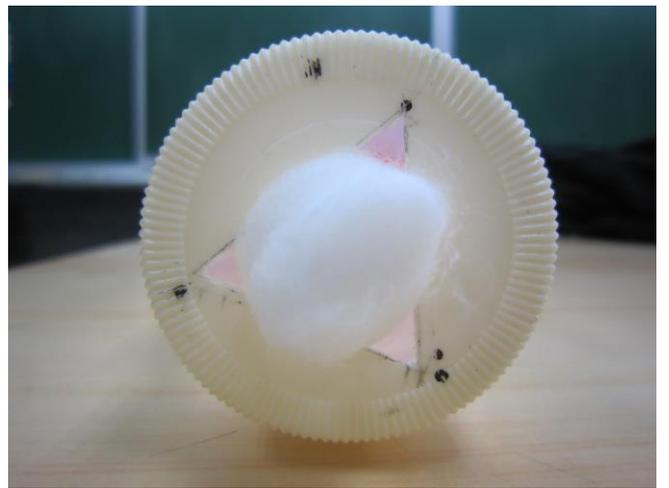
- (一)結果如上圖，相同面積砲口，棉球射程的平均距離，三角形砲口是 103.98 cm，圓形砲口是 119.34cm，正方形是 122.04 cm，所以空氣砲威力為 正方形 \approx 圓形 $>$ 三角形。
- (二)我們的實驗假設是：面積相等、不同形狀的砲口，發射出的空氣量是相等的，所以空氣砲威力應該相近，實驗結果三角型砲口明顯威力較小，經觀察，發射時棉球不易填滿三角型砲口造成漏氣，應是威力降低因素。
- (三)我們加做《棉球脫離不同形狀砲口所需的力量》實驗，回推棉球離開砲口的難易度，找出不同形狀砲口影響空氣砲威力的因素。

實驗二：棉球脫離不同形狀砲口所需的力量

結果：我們以彈簧秤希望能測量棉球脫離不同形狀砲口所需的最小力量(最大淨摩擦力)，因為棉球質輕脫離力量小，小於彈簧秤的最小有效測量值，我們看到彈簧秤刻度一直維持在零，所以無法。

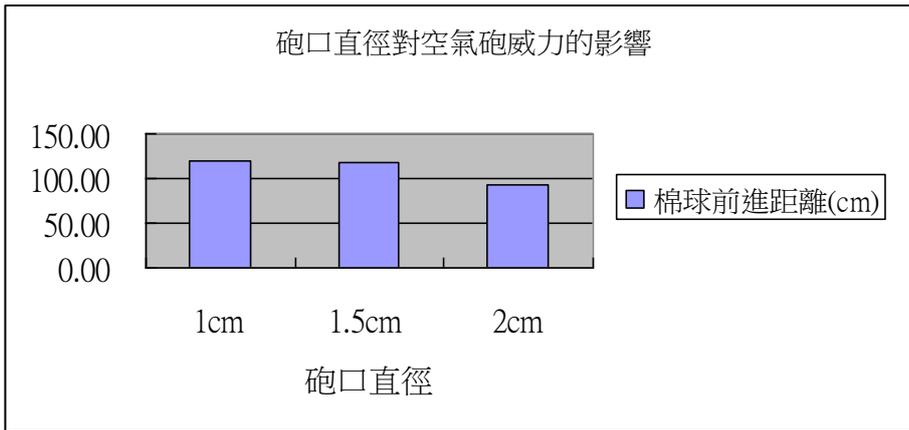


棉球脫離砲口力量測量裝置



放棉球的三角形砲口周圍(三個角)處漏氣

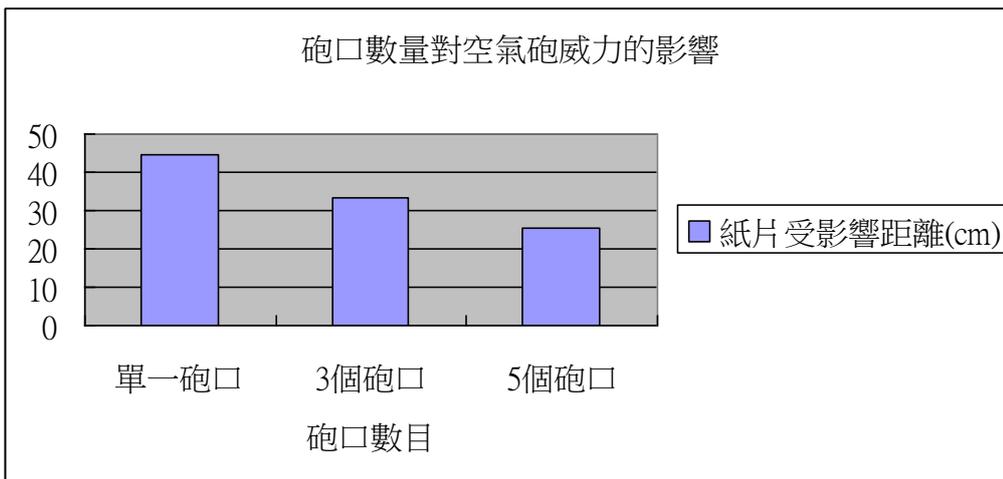
六、砲口直徑大小對空氣砲威力的影響。



(一)結果如上圖，砲口直徑 1cm、1.5cm、2cm 棉球射程的平均值分別是 118.98 cm，117.34cm，92.51cm，所以空氣砲威力: 砲口直徑 1cm 的 \approx 1.5cm 的 $>$ 2cm 的。

(二)空氣砲的開口面積小，發射擊出的力量較集中，威力大，反之，空氣砲的開口面積越大，擠壓出來的空氣分散，威力降低。

七、砲口數量對空氣砲威力的影響。



(一)結果如上圖，砲口分別開等面積 1、3、5 個洞，1 個砲口平均值 44.5cm，3 個砲口為 33.5 cm，5 個砲口為 25.5cm。

(二)砲口數量多，擊出的空氣分散，氣流可能還會互相干擾，所以空氣砲威力減弱。

陸、結論

- 一、不同材質、大小的瓶罐、紙箱都可以做成空氣砲，但要注意密封度、切口平整以免割破氣球、氣球彈性疲乏等問題。
- 二、單一紙片及棉球適合表示寶特瓶空氣砲的威力，點燃的蠟燭適合用來表示較大型空氣砲的威力，同一砲手，固定力道，設置發射台，可以有效減少人為誤差，風速計無法量測空氣砲威力；煙圈可以方便觀察空氣砲氣流的流動。
- 三、砲身體積大，空氣砲的威力大，砲身體積小，空氣砲威力小。

- 四、拉動氣球的長度較長，空氣砲的威力大，拉動氣球的長度短，空氣砲威力小，要注球彈性疲乏問題。
- 五、砲口面積相同時，砲口形狀會影響空氣砲威力，三角形砲口威力最小，推翻原先假設；推估是三角形砲口漏氣，降低棉球離開砲口的速度，因此測得威力下降。
- 六、砲口均為圓形，砲口面積越小，則發射的範圍比較小，擊出的力量較集中；開口太大，空氣砲的威力會減弱，因為擠壓出來的空氣，沒法集中，威力降低。
- 七、砲口數量增多，空氣受擠壓後氣流流動的力量分散，空氣砲威力變小。
- 八、空氣炮在教育方面可以運用在科學遊戲上，比賽聲音大小、玩射擊遊戲等；在生活方面，可以運用自製慶祝用「拉炮」，在玩具車、風力船、聲音密碼傳遞等遊戲或工具之應用，警消使用的拋繩槍也是利用空氣炮原理製作。

柒、後記

經過本次科展製作，我們對空氣砲有更進一步的認識，認識了它的原理及各種影響空氣砲威力的條件及其應用，透過資料查詢及實驗觀察、討論解決問題，推翻或印證假設，透過調整、嘗試及方法的改變，我們能找出從這個研究中，我們知道團隊合作的重要性，雖然辛苦卻很有趣，極具挑戰性，也學到如何分工合作，以耐心、細心解決問題，收穫很多。

捌、參考資料及其他

- 一、李佳螢、張瑞宏、王馨柔、蔡家銘。“哆 a 夢的空氣砲。第 47 屆全國科展。
- 二、龜派「氣」功空氣砲，嘉義縣第53屆科展。
- 三、林百鴻、邱義雄。易於自製的空氣砲—拋體實驗的好幫手
- 四、國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室
<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-001.html>
- 五、影片
流言追追追--空氣砲 <https://www.youtube.com/watch?v=Vyt1zXD5-X8>
熊貓空氣砲實驗 <https://www.youtube.com/watch?v=oEusZazbNLg>