

彰化縣 114 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書（封面）

作品編號：（由承辦單位編列）

☒ 國小組

☐ 數學類

☒ 自然、科技類

☐ 國中組

☐ 人文社會類

組別：

作品名稱：隱形重拳——探討空氣砲發射口徑對發射威力的影響

◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予收件。

目錄

第一階段 研究訓練階段.....	II
第二階段 獨立研究階段.....	1
壹、研究動機與研究目的.....	1
貳、擬定計畫及工作進度表.....	2
參、參考文獻摘要與實驗工具.....	4
肆、實驗設計與實驗操作流程.....	13
伍、資料分析.....	17
陸、研究結果與討論.....	22
柒、省思與收穫.....	24
捌、參考資料.....	25

第一階段 研究訓練階段

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

本校近兩年針對中高年級資優生，以及對獨立研究有興趣的普通班學生，規劃了一系列「獨立研究」課程與指導模式，期望透過多元主題與研究方法訓練，培養學生自主探究與團體合作的能力。在課程設計上，除中年級學生透過實驗操作初探研究樂趣、高年級學生組隊進行主題深耕與競賽準備外，亦提供團體課程與個別指導並行的方式，協助學生在研究歷程中獲得專業的引導與支持。

課程實施特色與流程：

1. 對象與時間安排：

- 中年級(三、四年級)：

提供自然、人文、數學等主題的研究基礎課程。透過歷屆優秀作品的案例分析與實務操作，讓三年級初學者感受研究的樂趣、掌握基本研究方法；四年級則逐步熟悉研究流程，為未來參與獨立研究競賽奠基。

- 高年級(五、六年級)：

結合興趣專長，採混齡分組進行獨立研究主題探究。此階段學生將參與團體課程以培養合作能力，同時進行個別研究指導，以完成獨立研究作品並參加彰化縣獨立研究競賽。

2. 教學與指導模式：

- 團體課程(Group Work)：

利用「外加式課程」進行。課程旨在透過小組活動、實境操

作與討論交流，培養學生的研究方法、合作能力與問題解決能力。此方式可激勵組間良性競爭，提高學習動機。

- 個別指導(Individual Mentoring)：

根據每組學生的研究進度與個人特質，提供一對一或小組預約指導時間。指導教師將就研究主題、方法與報告撰寫等方面，給予具體建議與回饋，確保每位學生都能在研究歷程中獲得適切支援。

3. 成果展現與競賽：

- 於校內舉辦獨立研究發表會，提供學生展現研究初探成果的舞台，藉此肯定其投入與成長。
- 配合彰化縣獨立研究競賽時程，規劃有興趣參加比賽的學生組隊參賽，讓學生透過正式競賽平台磨練研究實力、深化學術素養。

課程規劃表

年級	課程定位與內容	實施方式	成果展現
三年級	研究初階訓練：自然、人文、數學主題探索	外加式課程 操作實務	校內發表會
四年級	進階研究方法學習： 強化研究流程與技能	團體課程與 個別指導	校內發表會
五年級	主題深化與組隊： 依興趣專長分組研究	團體課程(合作 訓練)個別指導	縣級獨立研究競賽
六年級	成果展現與競賽準備： 參賽及專業指導	團體課程(分享 經驗)個別指導	縣級獨立研究競賽

透過上述課程規劃、實施流程與多層次的指導模式，本校期望建立一個兼具創新、探索、協同與競賽平台的學習環境，使學生在獨立研究過程中展現潛能、拓展視野、奠定研究素養的堅實基礎。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練

本校秉持十二年國教「自發」、「互動」、「共好」的教育精神，鼓勵學生從生活經驗中發現問題，透過科學研究方法來探索並解決實際疑問。為協助學生從初階研究素養的培養到實際競賽舞台的展現，我們以多層次、多元化的方式設計並推行獨立研究訓練計畫，使學生能在合適的環境中逐步成長與發展。

訓練實施特色：

1. 課程內容設計與資源整合：

自中年級(約三年級起)即開始為學生建立研究素養，透過整合資優班教師、跨領域教師及家長資源，提供多元化的閱讀材料和充實課程，引導學生初步接觸並理解研究方法。以此基礎上，每學年會定期舉辦校內獨立研究發表會，為學生提供展示研究成果的公開平台，並借此激發其學習動機與創新思維。進入高年級階段(四、五、六年級)後，學校更配合彰化縣獨立研究競賽的時程，鼓勵學生依興趣組隊參賽，讓他們在更廣闊的舞台中實踐所學，將研究主題與社會脈動相連結，使獨立研究的進行更貼近生活實務，進而培養出能夠融會貫通、解決問題的未來人才。

2. 個別化教學與多元引導策略：

在獨立研究教學方面，深刻考量學生的個別差異，針對不同學習特質的學生，設計出不同程度的研究任務。指導過程中，若遇到研究能力較佳的學生，教師傾向採用較低結構的引導方式，給予其更多彈性與自主空間，鼓勵發揮創意與自我探索；而對於需要更多協助的學生，則採取高度結構性的引導策略，提供明確的研究步驟與參考方向，使學生在明確的學習軌道上降低挫折感，同時提升其自信與學習動機。透過此種差異化指導模式，學生得以在適合自己的研究挑戰中成長，並逐步培養獨立探究的能力。

3. 學習環境與資源支持：

教學環境注重提供多元而完善的學習環境，包括軟硬體資源、人力支援及心理氛圍的營造。硬體資源方面，學校備有電腦教室、資優班與圖書館，提供豐富的書籍與歷屆研究作品，便利學生查詢與參考；人力資源部分，由行政人員與班級導師共同支持研究相關的行政事務與課程安排，形成穩固的協作網絡，協助學生有序而高效地進行研究活動；而在心理環境方面，教師尊重學生的興趣，採分組研討方式鼓勵討論交流，並給予充分的發揮空間，進而塑造出舒適、支持性的研究氛圍，使學生能在愉悅而具啟發性的環境中穩健成長、拓展研究視野。

4. 評量與回饋機制：

課程設計評量與回饋機制，於每學年舉辦校內獨立研究發表會，為學生提供公開展示研究成果的平台。透過檔案評量、學生自我評量或教師觀察與質性描述等多元評量方式，學生得以清楚掌握自身的研究能力與特質。

第二階段 獨立研究階段

壹、研究動機與研究目的

一、研究動機

在一次自然課上，老師帶我們做了一個空氣砲，只要準備一個紙杯和一顆氣球，就能做出能發射空氣的玩具。當我輕輕一拉氣球再放手時，一股強勁的空氣竟然能把紙條吹動，甚至能吹熄蠟燭，這讓我覺得非常神奇。明明空氣看不見、摸不到，卻能產生一股的力量，讓我對它產生了很大的興趣。

在實驗的過程中，我發現每個同學的空氣砲效果都不太一樣。有的風力很強，能射得又遠又準；有的風卻很散，打出去的效果不明顯。後來我仔細觀察，發現有些同學的發射口比較大，有些則比較小。那時我就開始想，是不是發射口的大小會影響威力呢？動口大一點的，會不會因為洞口比較大而威力比較強呢？還是會因為洞口較大，雖然風量增加，但力道卻會分散。而洞口比較小的是否會因為洞口較小而威力較弱呢？還是會因為洞口較小所以空氣會比較集中，而達到威力較大的效果呢？我打算做幾個不同大小發射口的空氣砲來比較它們的威力。使用相同大小的紙杯，但割出不同直徑的洞口，再觀察哪一個能吹得最遠或最有力。

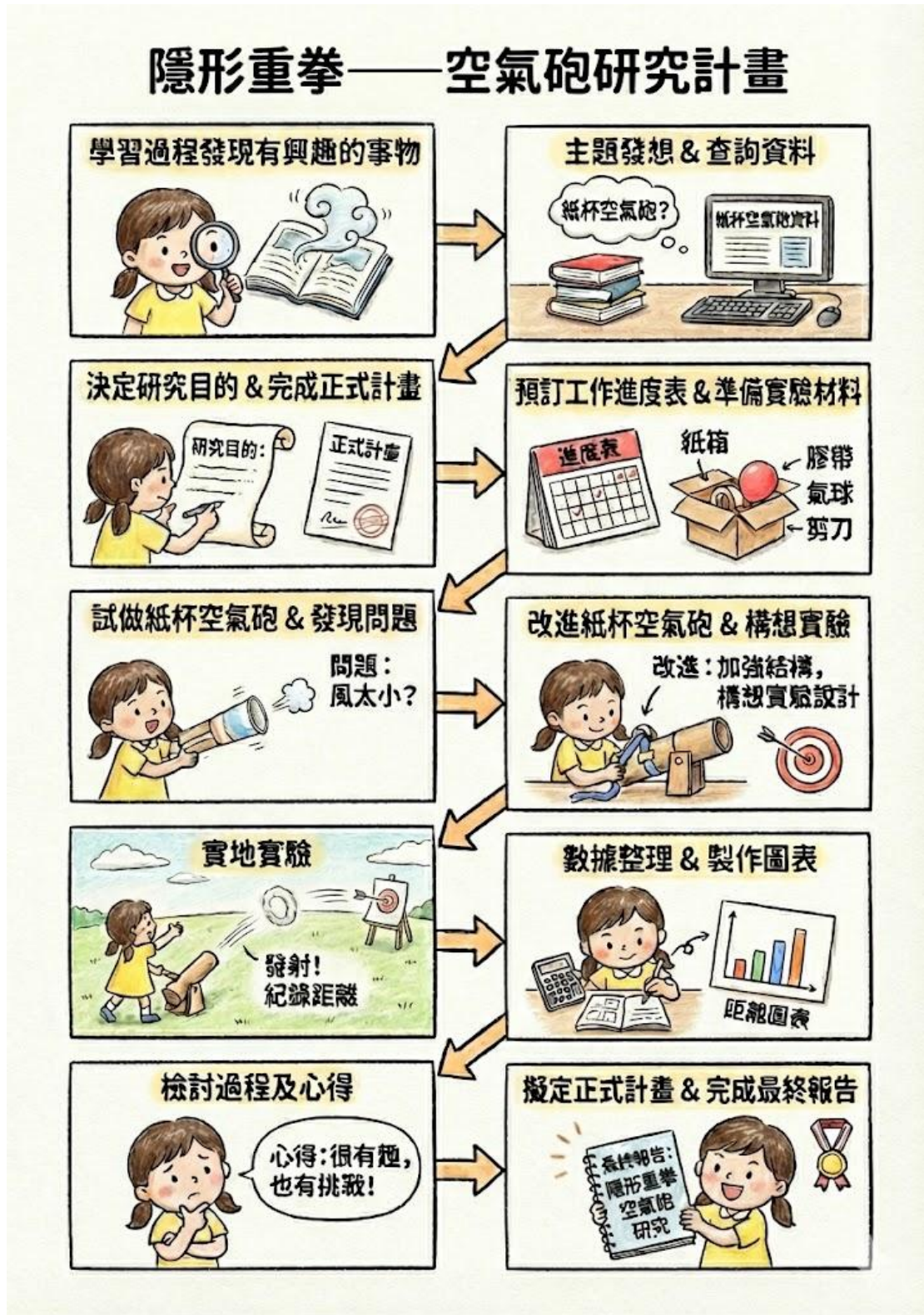
為了釐清這個問題，我希望透過研究「空氣砲發射口直徑對威力的影響」，能了解空氣砲發射口直徑對威力否有影響，也能並能進一步了解使用相同的一般市售紙杯，在不同發射口徑與發射威力之間的關係。

二、研究目的

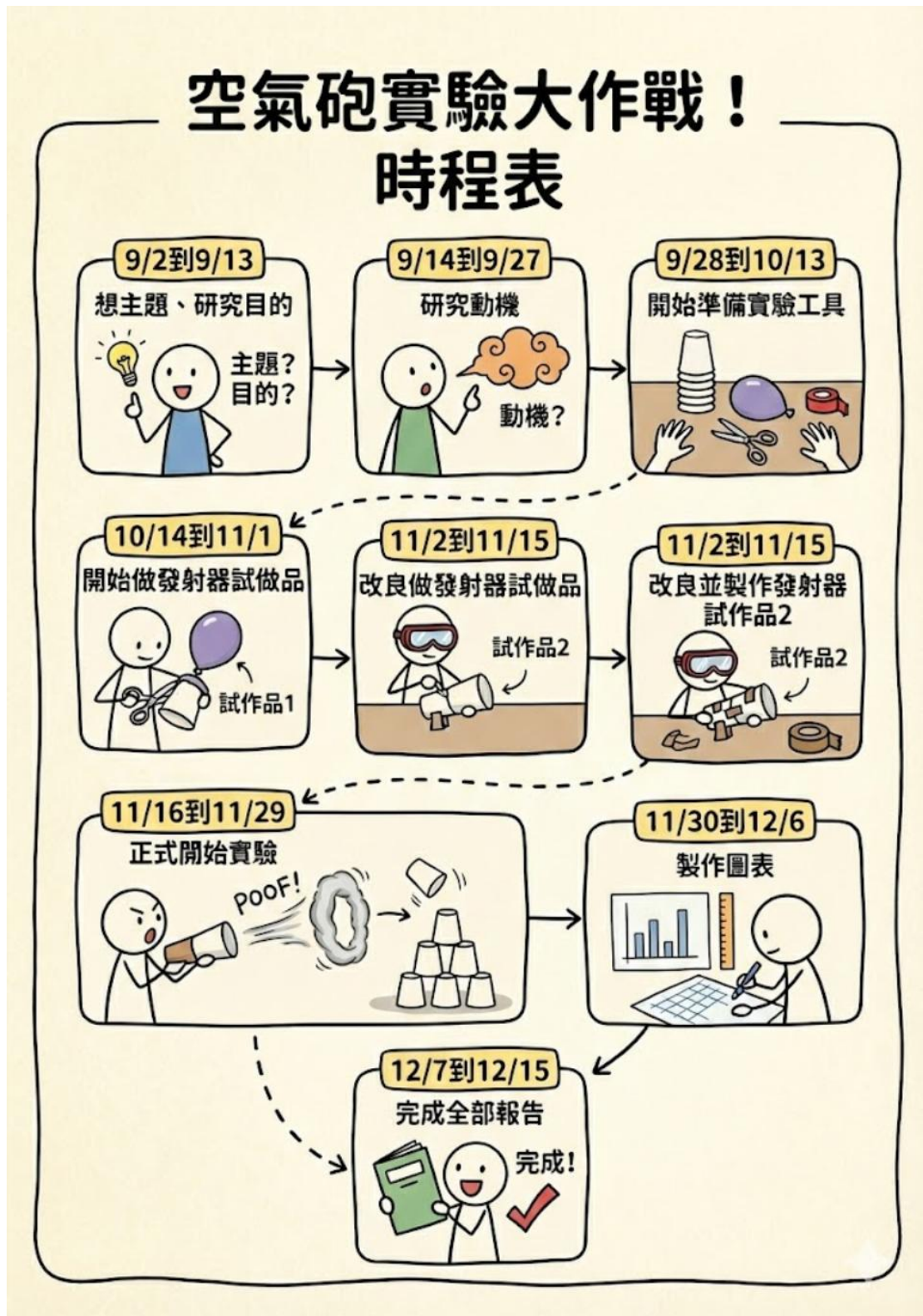
- (一)、了解空氣砲的發射原理。
- (二)、了解實驗工具的製作改良及研究過程的實驗設計。
- (三)、了解發射口大小對空氣砲威力是否有影響。

貳、擬定計畫及工作進度表

一、擬定計畫



二、工作進度表



參、參考文獻摘要與實驗工具

一、參考文獻摘要

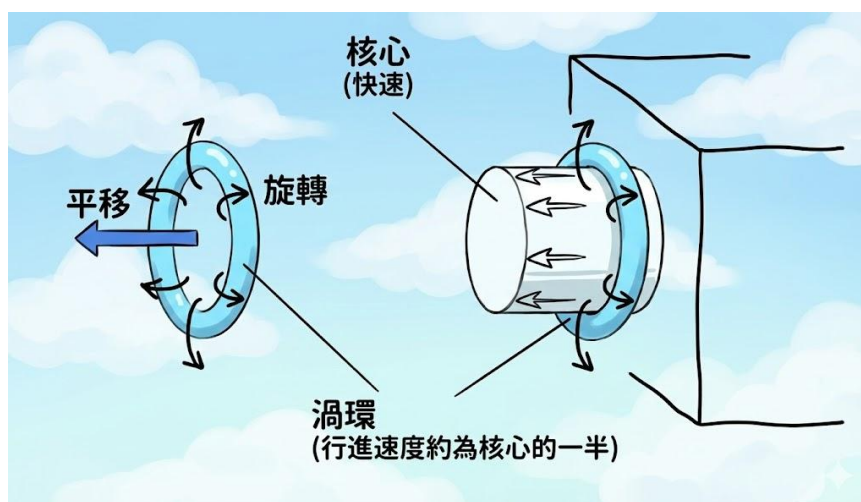
vortex cannon

空氣主要由氮分子和氧分子組成，但也包含一些水分子、氫原子、二氧化碳分子等等。我們可以將所有這些粒子統稱為空氣粒子，因為在這種情況下，它們的工作原理基本上相同。

當我們拉放氣球時，氣球會快速回彈並推動紙杯內部的空氣粒子。這些被推動的空氣粒子會往前擠壓，推動前方的空氣分子，形成一連串的傳遞效果。這個連鎖反應一路往前傳到紙杯的開口處。因為開口的範圍比較小，許多空氣粒子被集中擠壓在這個出口，速度因此變得更快。最後，這股高速的空氣流就會從杯口噴射出去，並且在紙杯外繼續向前推動周圍的空氣，形成明顯的「空氣砲效果」。



空氣渦流砲的工作原理主要是快速有效地對半封閉空間內的空氣分子施加力。當砲管後部的彈性氣球表面向前彈起時，它會直接與空氣分子碰撞，使其加速向砲口飛去，並引發與其他空氣分子以及砲管側面高速碰撞的連鎖反應。所有這些高速碰撞的空氣分子唯一的逃逸途徑是透過砲管末端的開口排出。空氣分子的快速逸出形成一股氣流，或者說是一股氣流，直接從砲管中噴湧而出。



到底影片中這種空氣砲怎麼做出來的？老師說這現象看來很神奇，其實只是藉由密封桶子，保留空氣，然後對桶子施加壓力，空氣受到擠壓，就會從開口宣洩而出，實際拿大塑膠桶，如法砲製做一次，真的會形成空氣砲，可以把一公尺外的塑膠杯吹飛，而且桶子越大，效果越好。

二、實驗工具

- 1.紙杯：做空氣砲的主要工具。
- 2.圓規：在杯底上畫圓的工具。
- 3.氣球：套在發射器比較大的那一個口上，利用彈回去的力量打擊並推動空氣。
- 4.筆(鉛筆/原子筆)：在杯底上畫出圓心、在白紙上做記號。
- 5.靶：測試空氣砲的威力與效果，有 0.66g，有一片承風用的立帆，底下貼有膠帶可以減少摩擦力
- 6.美工刀：把在杯底上的圓割下來。
- 7.白紙：在紙上做記號，確保每一次發射時空氣砲的位置都相同。
- 8.膠帶：將白紙固定在地板上，避免實驗過程中被移動。
- 9.增高器：增高空氣砲，讓空氣砲不會貼在地板上，也讓空氣砲更好發射。

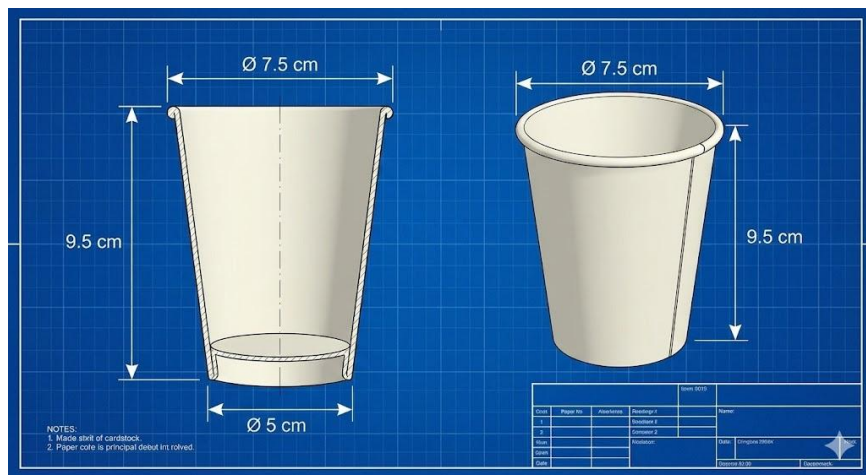
10.發射器：利用 3D 列印製作出來，圓形狀，裝上氣球並套在紙杯的杯口上。

11.測量工具：：測量靶被吹出去多遠。因為每把捲尺其實長度都略有不同，整個實驗都使用同一把捲尺測量。

12.電腦及 AI 工具：紀錄靶被飛出去的距離是多少；使用 AI 工具輔助製作圖形。

三、製作空氣砲初號機：

(一)、使用紙杯：杯底小圓直徑：5 公分；杯口大圓直徑：7.5 公分；杯高：9.5 公分。



1.加工紙杯做出發射口：

2.利用同一圓任意不同兩弦的中垂線交點，找到杯底面的圓心。



3.利用圓規作圖，依實驗要求畫出不同直徑的圓

4.使用美工刀割開



4.套上氣球並測試

(二)、第一次試作品紙杯空氣砲檢討：

優點：

- 1.紙杯容易加工，且不像塑膠杯一樣容易因為應力集中而開裂。
- 2.用透明膠帶加工的氣球很牢固，不會拉一拉就脫落。
- 3.可以完成發射。

缺點：

- 1.氣球直徑太小，導致氣球套上杯子時紙杯杯口因擠壓而變形漏氣。
- 2.紙杯邊緣太軟，在握持發射時，很容易不小心把杯口捏爛。
- 3.因雙手操作缺少支點，杯口不易穩定對準紙靶，試射時靶的飛行距離數字波動過大。

改善方法：

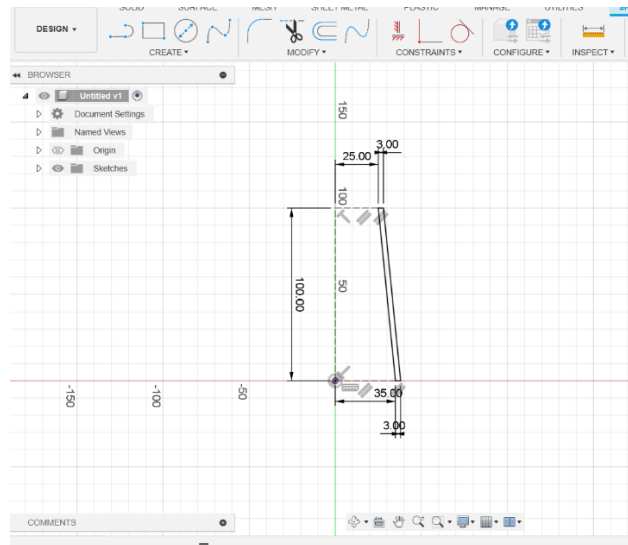
- 1.可以將透明膠帶用完剩下的紙核，裁剪調整直徑後貼在紙杯跟氣球連接的地方，達到補強杯口不易被壓爛或捏爛的效果。
- 2.可以將紙箱或厚紙板裁剪後貼在紙杯跟氣球連接的地方，達到補強的效果。
- 3.可以使用 3D 列印的套環，列印出直徑相似的圓環，套在紙杯跟氣球的連接處用以補強。

四、空氣砲貳號機—改進後的作品：

(一)、材料：紙杯、發射器、氣球。

使用紙杯：杯底小圓直徑：5 公分；杯口大圓直徑：7.5 公分；杯子+組合發射器後的高度：9.5 公分。

為了解決氣球太小導致紙杯被擠壓而變形的問題，我們使用 3D 列印套環的方式來解決。將紙杯套進 3D 列印件，手可以握持住 3D 列印件較好施力，不會捏爆杯子。以下為發射器的 3D 建模設計圖：



(二)、原本的想法：

- 1.發射器套在紙杯外，防止氣球擠壓紙杯讓紙杯崩壞。
- 2.裁切相同長度的氣球氣球套在發射器開口較大的那一處。



(三)、實際操作發現，因為紙杯口有凸起，所以氣球還是要套在杯上。3D 列印件因為杯子+氣球+膠帶厚度變化不定，所以無法套到底。

優點：

手可以捏住 3D 列印件，施力很方便。

缺點：

1.非常難組裝。

2.還是沒解決氣球壓爛紙杯口問題。

3.在發射過程中向後拉氣球時，連著杯子的氣球很容易被向後拉扯而滑動脫落離開 3D 列印件，需要動手去抓緊它，反而更麻煩。

在製作的過程中我發現，其實可以直接將 3D 列印好的發射器卡在杯子裡面，這樣能確保每一次用的氣球都一樣，也能解決拉動氣球時發射器脫落的問題。為了保證每次發射腔室的容量相同，我們在發射器卡進紙杯又不漏氣的位置畫上紅線，以後只要每次把發射器卡進相同的深度，就能讓發射腔的大小相同。

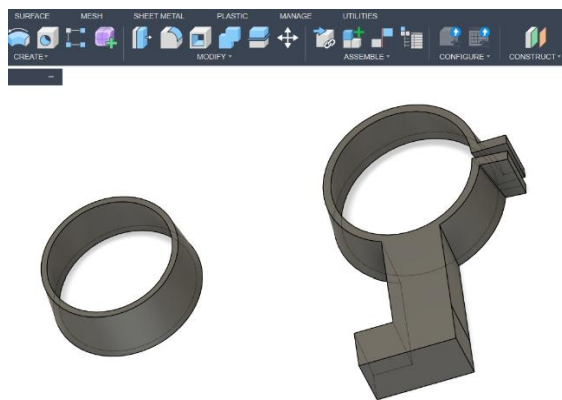
五、空氣砲參號機—進一步改進後的作品：

(一)、規格：杯底小圓直徑：5 公分；杯口大圓直徑：7.5 公分；杯子+組合發射器後的高度：13 公分。

為了解決氣球太小導致紙杯被擠壓而變形的問題，我們使用 3D 列印套環的方式來解決。將 3D 列印件較小的一端卡在紙杯口，氣球套在 3D 列印件較大的一端，可以解決紙杯杯口被擠壓而變形的問題。3D 列印件套上氣球，以透明膠帶加固後形成發射器，發射器卡入杯口後用紅筆做上記號，換了不同杯子後，只要卡進至紅線的距離，即可維持杯子+組合發射器後的總高度不變。



以下是第二版本，除了發射器的環，我們再用 3D 列印出一個增高器，下面的柱子可以增高空氣砲，空氣砲才不會因手持貼著地板高度不固定而影響發射角度，而在旁邊有一個開口的地方設有小孔，穿螺絲後就可以讓增高器卡進空氣砲裡不會脫落。



空氣砲組裝好的樣子(原本鎖螺絲的地方改以膠帶固定)



但是我們後來發現其實這樣並不會比較好發射，而且太高打不到靶，於是我們決定改用橫放，既能增高，又可以讓發射器較不會脫落紙杯。



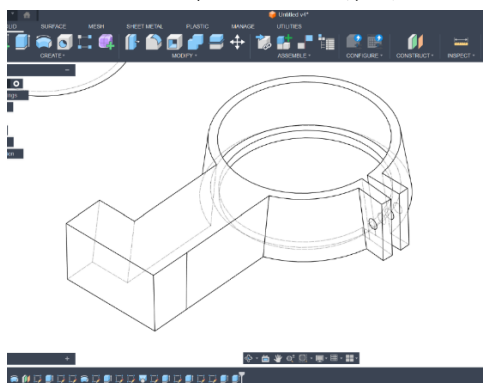
(二)、缺點：

- 1.沒有設計穿螺絲的孔在開口的地方，因此現在需要手動去捏住開口，夾持住杯子及發射器，才達到我們想要的效果。
- 2.柱子那邊有凸起來的部分有點難握住。
- 3.新設計的增高器沒辦法完全有效的卡住發射器，所以在向後拉氣球時，仍然有少許機會讓發射器被拉出來，從杯子上掉落。

六、空氣砲肆號機—最後改進的作品：

(一)、規格：杯底小圓直徑：5 公分；杯口大圓直徑：7.5 公分；杯子+組合發射器後的高度：13 公分。

這次我們設計第三版，加入了穿螺絲的孔，在增高器底部加上一圈凸起來的卡筍，這樣就算沒鎖螺絲，用手拉發射器時，發射器能抵住卡筍不會就被拉脫落。以下是第三版的增高器設計圖：



將空氣砲放入增高器中。



利用把手可以較穩定的發射，也讓每一次發射時發射口與地面的夾角也可以固定不變。



發射用的紙靶：重 0.66g，有一片承風用的立帆，底下有膠帶可以減少摩擦力，作為我們測試空氣砲威力大小的工具。



肆、實驗設計與實驗操作流程

一、變因

(一)、控制變因：

- 1.紙的大小。
- 2.發射的力道-氣球被拉長幾公分。
- 3.實驗時的環境。
- 4.使用相同的發射器。
- 5.發射器卡進杯子的距離(0.8cm)。
- 6.靶與接觸面的材質。
- 7.發射口跟靶的距離。
- 8.發射口與地面的夾角。

(二)、操縱變因：

杯子洞口的大小。

(三)、應變變因：

靶被吹出去多遠。

二、實驗設計與實地實驗操作流程

(一)、實驗設計

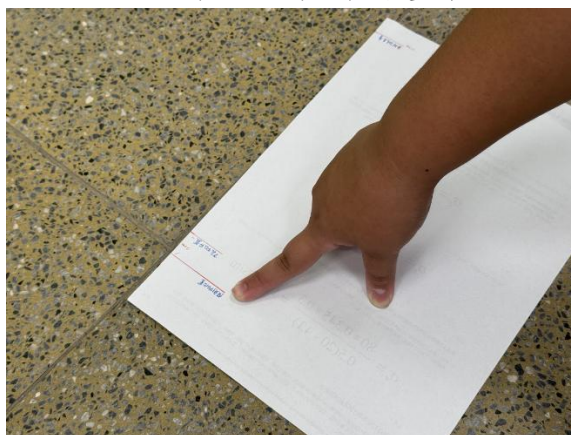
發射口從直徑 1cm 開始， 每次直徑增加 1cm

為了達到我們的實驗目的，我們會使用大小一樣的紙杯，並在上面切出直徑 1 公分、2 公分.....的圓，並使用形狀大小相同的氣球，使用相同的力道發射，為了確定發射的力道相同，我們會把杯口對準紙上的記號，並拉到紙上寫的 11cm，再發射，這樣就可以確保每次發射的力道相同。看看靶會被吹出去多遠，來得知空氣砲發射口直徑對空氣砲的威力是否有影響。

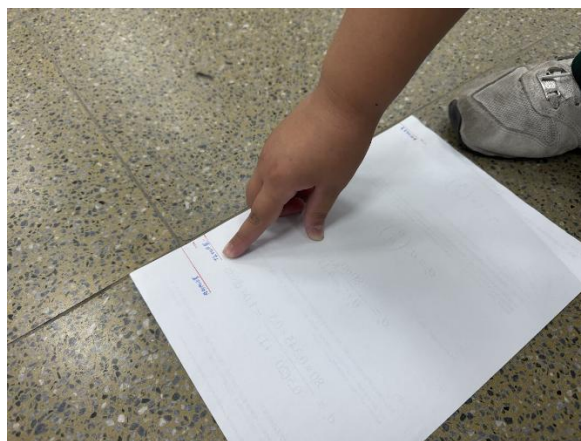
實驗操作發想是將空氣砲放在特定的地磚上，為了讓每一次放空氣砲的位置都相同，我先在地板上鋪白紙，在白紙上做記號，這樣下次發射口就可以對準記號，並把白紙黏在地板上，確保實驗過程中不會移動到。再將靶放在跟空氣砲一樣的地磚上，而靶的位置和發射口

中間的距離約 5cm，也在白紙上另做記號，下次再將靶放在記號上，讓每一次發射前靶的位置都相同。將空氣砲發射口對準地面的線，接著將氣球拉長至 5 公分，將此位置在白紙上做個記號，這樣可以盡量確保每一次發射的力道相同，最後再將靶飛出去的距離記錄在試算表上。每個口徑的杯子，我們將重複實驗 20 次並記錄，讓實驗數據更準確。

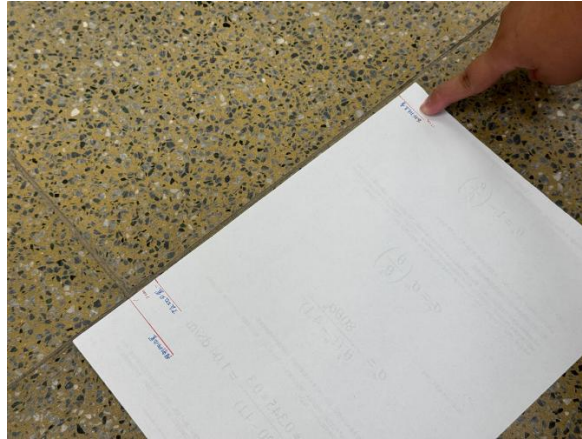
- 1.將白紙貼齊地板上的橫線，延長線條畫在紙上作為靶的位置。



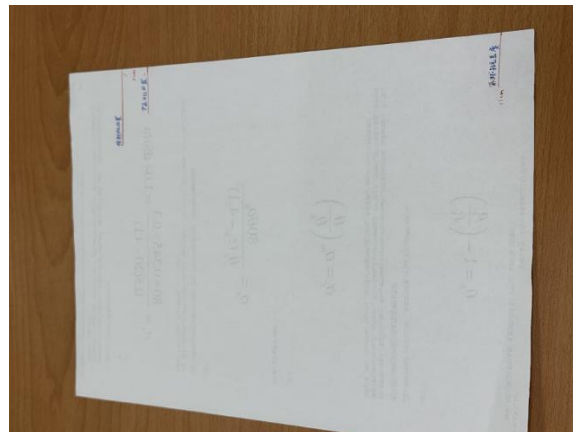
- 2.接著在靶的後面 2cm 的位置畫一條直線，作為空氣砲的位置。



- 3.將尺對準氣球和發射器連接的地方，拉長氣球看看，拉長 11cm 剛剛好，就在 11cm 的地方在紙上做記號，作為氣球拉長的長度。



4.最終的成品分別記錄了靶的位置、空氣砲的位置以及氣球拉長的長度。



(二)實地實驗操作流程

- 1.先把增高器裝上空氣砲，然後將空氣砲對準白紙上的線，也把靶放在白紙上的線，確保每次發射前空氣砲的位置和靶的位置一致。



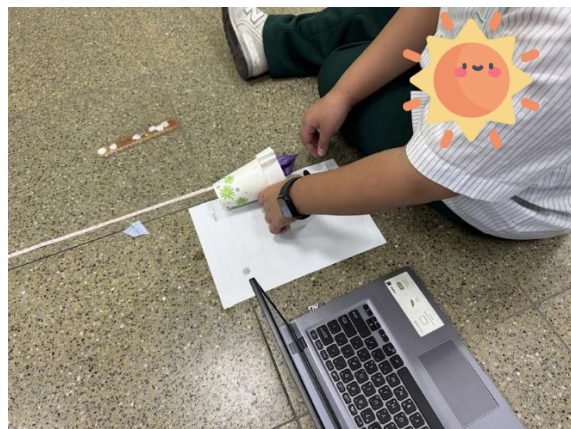
2.將氣球拉長至 11cm，也就是對準白紙上的線，確保每一次發射時力道都能一樣。



3.發射後，拿尺對準靶的最上方，觀察靶被吹出去幾公分。



4.觀察後，再把靶被吹出去的距離記錄到電腦的試算表上。



伍、資料分析

空氣砲規格：杯底小圓直徑 5 公分，杯口大圓直徑 7.5 公分，杯子+組合發射器後的高度 13 公分。使用相同規格的空氣砲，每次拉長尾部氣球至離大杯口 11 公分處。發射洞口從 1cm 開始，每次增加 1cm 並測試靶被擊飛的距離，每個發射口徑記錄 20 次。

次數	不同發射口徑與靶飛出去的距離(cm)			
	口徑 1cm	口徑 2cm	口徑 3cm	口徑 4cm
1	17.0	23.0	32.8	6.1
2	19.7	24.3	31.7	5.5
3	21.0	20.0	42.5	5.8
4	22.3	24.7	33.2	5.8
5	16.2	26.7	26.3	6.4
6	17.4	18.8	27.5	6.2
7	15.7	20.2	31.3	5.8
8	16.4	22.5	30.5	6.1
9	14.0	20.4	30.5	6.3
10	20.0	23.2	33.8	5.7
11	18.7	20.1	33.7	5.6
12	20.4	22.8	28.0	6.2
13	18.5	24.3	28.8	6.0
14	17.8	25.0	34.8	5.4
15	18.6	24.7	31.2	5.7
16	16.2	18.7	33.7	5.5
17	17.5	24.2	28.7	5.6
18	18.7	24.6	34.5	6.2
19	16.2	23.0	34.3	5.4
20	20.0	23.9	26.1	5.6

表 5-1 不同發射口徑擊飛紙靶距離

由上表可以推得發射口徑 3cm 時，空氣砲的威力最大。整理表 5-1 資料更可進一步證實此猜想：

發射口直徑	平均距離 (cm)	中位數距離 (cm)	標準差 (cm)
1cm	18.1	18.2	2.1
2cm	22.8	23.1	2.3
3cm	31.7	31.5	3.8
4cm	5.8	5.8	0.3

表 5-2 不同發射口徑擊飛紙靶距離的統計

直徑 3cm 的發射口表現最佳，20 次的平均距離達到最高值 (31.7 cm)，顯著優於其他所有口徑。這表明在這些實驗條件下，3cm 的直徑在生成推力方面最有效。靶的擊飛距離在空氣砲砲口直徑從 1cm 到 3cm 時是上升的，但在 4cm 時卻急劇下降至最低值 (平均值 5.8 cm)。這可能表示 4cm 的直徑過大，導致氣流分散過快，無法有效推動靶子。然而 3cm 組別雖然距離最遠，但其標準差 (3.8 cm) 也是最高的，表明該直徑下的單次試驗結果波動性最大，實驗穩定性可能較低。將表 5-1 的數據整理成圖：

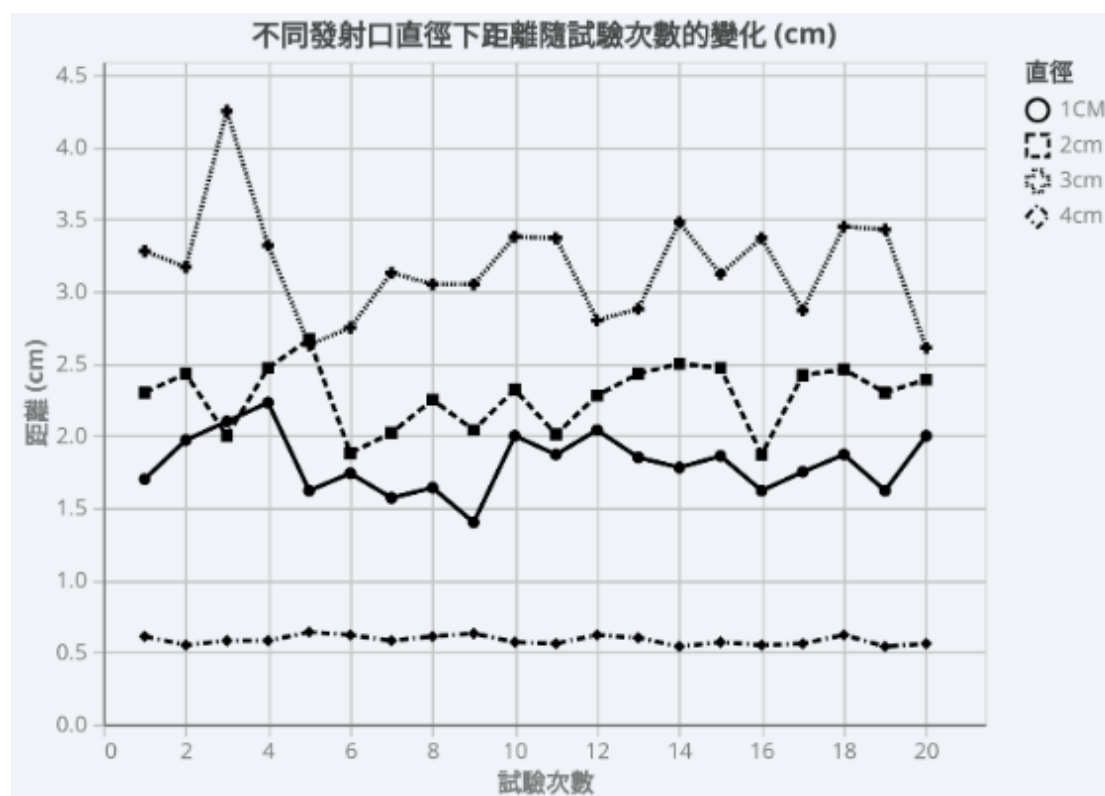


圖 5-1 不同發射口徑下距離隨試驗次數的變化圖

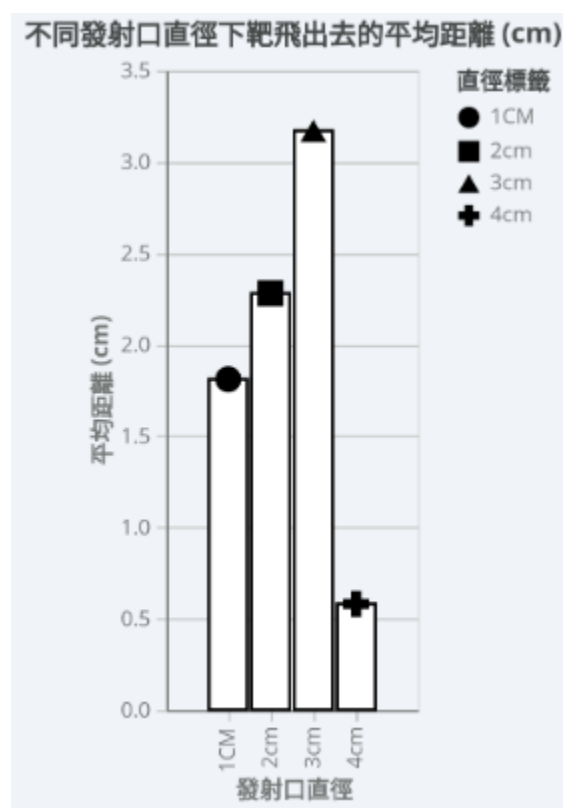


圖 5-2 不同發射口徑擊飛紙靶平均距離

由圖 5-1 與圖 5-2 可以明顯發現，3cm 到 4cm 的擊飛距離衰減過快，我們決定在中間插入一個發射口直徑 3.4cm 的空氣砲(因為我們的測繪工具精度不足，直徑 3.5cm 不容易得到)，看看有沒有可能在 3cm 到 4cm 中間，有一個威力更強的發射口口徑。在與表 5-1 相同的設計條件下，新增一組口徑 3.4cm 的空氣砲數據：

次數	不同發射口徑與靶飛出去的距離(cm)				
	口徑 1cm	口徑 2cm	口徑 3cm	口徑 3.4cm	口徑 4cm
1	17.0	23.0	32.8	16.0	6.1
2	19.7	24.3	31.7	17.4	5.5
3	21.0	20.0	42.5	16.2	5.8
4	22.3	24.7	33.2	16.0	5.8
5	16.2	26.7	26.3	16.1	6.4

6	17.4	18.8	27.5	16.6	6.2
7	15.7	20.2	31.3	16.8	5.8
8	16.4	22.5	30.5	16.5	6.1
9	14.0	20.4	30.5	16.7	6.3
10	20.0	23.2	33.8	16.3	5.7
11	18.7	20.1	33.7	16.1	5.6
12	20.4	22.8	28.0	16.8	6.2
13	18.5	24.3	28.8	16.2	6.0
14	17.8	25.0	34.8	16.2	5.4
15	18.6	24.7	31.2	16.5	5.7
16	16.2	18.7	33.7	16.3	5.5
17	17.5	24.2	28.7	16.1	5.6
18	18.7	24.6	34.5	15.8	6.2
19	16.2	23.0	34.3	16.3	5.4
20	20.0	23.9	26.1	16.4	5.6

表 5-3 不同發射口徑擊飛紙靶距離

發射口直徑	平均距離 (cm)	中位數距離 (cm)	標準差 (cm)
1.0cm	18.12	18.15	2.06
2.0cm	22.76	23.10	2.28
3.0cm	31.70	31.50	3.76
3.4cm	16.36	16.30	0.37
4.0cm	5.85	5.80	0.32

表 5-4 不同發射口徑擊飛紙靶距離的統計

在急劇衰減的 3cm 到 4cm 之間增加一組數據後，3.0cm 的發射口直徑表仍然最佳，其平均距離達到最高值 (31.70 mm)，顯著優於其他所有直徑，這表明在實驗條件下，3.0cm 的直徑能產生最有效、最具推力的氣旋或壓力，直徑過大或過小都會導致距離下降。而 3.4cm 和 4.0cm 的標準差非常低（分別為 0.37 cm 和 0.32 cm），雖然距離最短，但每次試驗的結果都非常穩定。

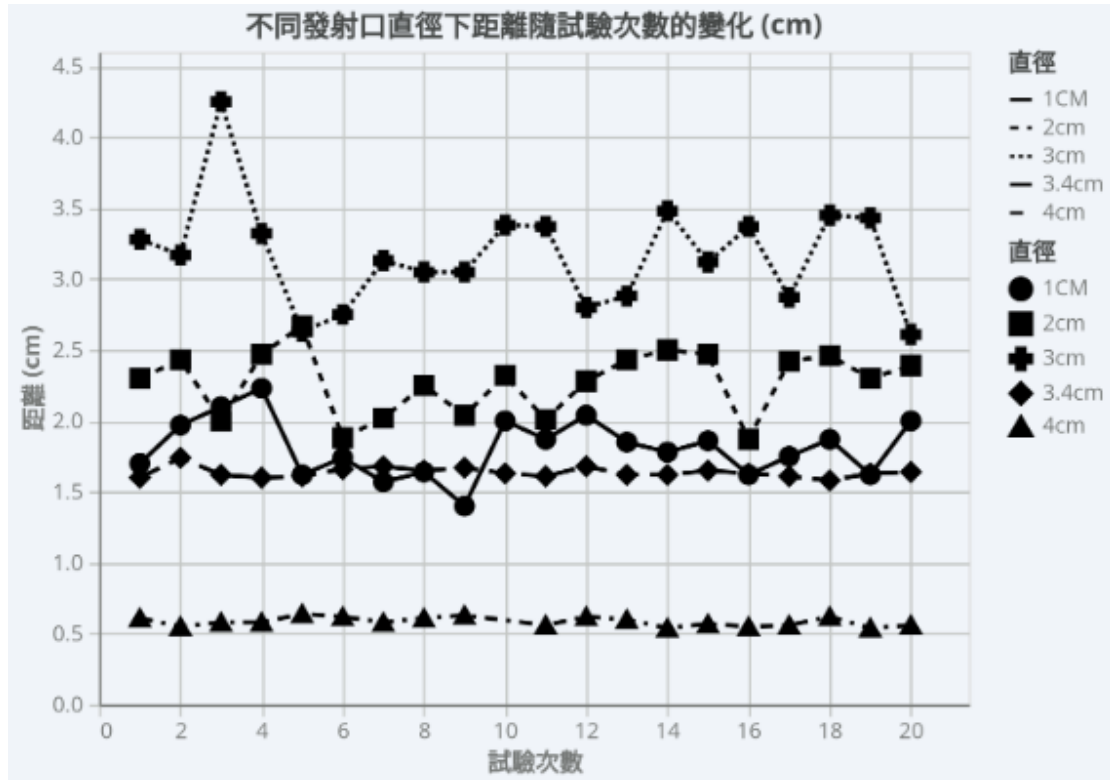


圖 5-3 不同發射口徑下距離隨試驗次數的變化圖

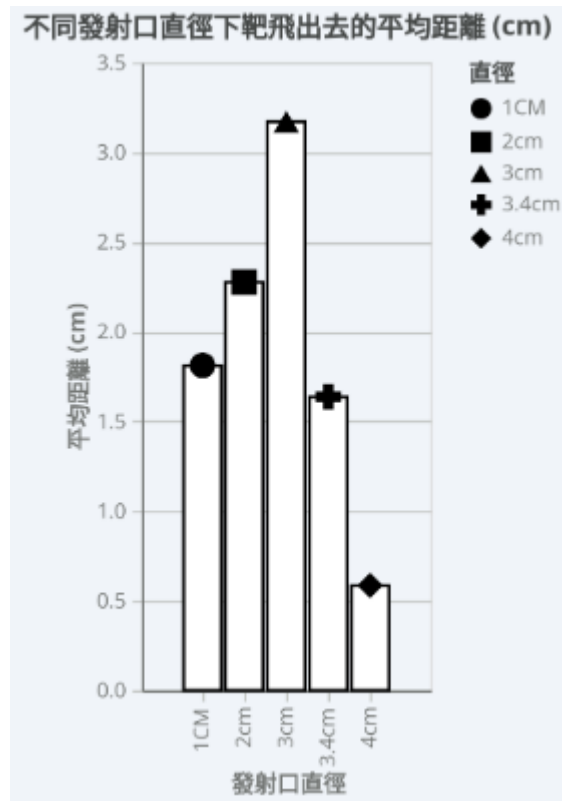


圖 5-4 不同發射口徑擊飛紙靶平均距離

陸、研究結果與討論

一、研究結果

(一)、了解空氣砲的發射原理。

如第三章所示，查詢網路相關文獻後，得知空氣砲的發射原理是氣球向內彈起時用力推擠空氣，讓空氣在砲管裡擠壓加速，最後因為無處可去，只能從發射口開口形成一股強風衝出來。

(二)、研究實驗工具的製作改良及研究過程的實驗設計。

如第四章所示，在進行研究時，實地實驗常會因為一開始沒有考量完善，導致實驗的控制變因變成了不受控制，使得實驗誤差增加準確度下降。所以適時的改良實驗工具，能讓設計好的實驗過程更加容易進行。

(三)、了解發射口大小對空氣砲威力是否有影響。

如第五章所示，分析結果顯示發射口直徑對靶子的飛行距離有顯著的影響，且關係是非線性的，如 1cm 到 3cm 威力增加，但 3cm 到 4cm 威力卻急遽衰減。

二、討論

(一)、影響實驗數據的可能誤差

- 1.整個空氣砲系統沒有完全固定於地面，操作時常會雙手操作時抖動造成誤差，需要練習後才能開始實驗。
- 2.空氣渦流沒有完全擊中紙靶的立帆，或是紙製立帆被擊中時產生晃動而消耗掉空氣渦流的推力。
- 3.地面雖然每次都使用相同位置的地磚，但略為凹凸不平的地面有可能造成紙靶滑行的阻礙。
- 4.手動拉長氣球再放開時，有可能氣球沾粘在手指上產生拉扯，造成每次氣球擊打空氣的力量不均。
- 5.拉動時因為人工操作，未必每次都會完全沿著紙杯中軸線移動。
- 6.發射口與地面形成夾角，空氣渦流打到地面反彈，可能會影響紙靶滑動。

(二)、建議

- 1.可以將除紙靶外的整個系統固定，減少操作誤差。
- 2.雖然紙靶底部做過減少磨擦力的修改，但滑行的地面可尋找專用且固定的光滑面。
- 3.紙靶的立帆可以用補強肋來減少晃動，但要留意紙靶的重量。

(三)、未來可進行研究方向

- 1.發射口徑與紙杯底部直徑比例會不會影響發射威力。
- 2.空氣砲砲身從前小後大，變成前大後小，會不會影響發射威力。
- 3.若整個砲腔變成直徑一致的長筒狀，會不會影響發射威力。
- 4.空氣砲的砲腔長度會不會影響發射威力。

柒、省思與收穫

在一次上自然課中我突然想到了這個問題，並去觀察了其他同學的空氣砲，覺得這個問題很有趣，才開始著手研究。決定了題目之後，我開始照著日曆擬定計畫表，也順便擬定工作進度表，並和老師一起討論。後來我們發現改良空氣砲會花很多時間，於是在跟老師討論一下，決定把改良時間的部分拉長一點。最後計畫表和進度表我覺得太呆板，所以把要打的表格文字打好，交給 AI 產生圖形計畫表和圖形進度表，調整了幾個咒文後，產生出手繪卡通版的工作計畫和工作進度表。因為以前有用寶特瓶做過空氣砲玩具，但是它的原理我只會一點，並不懂它真正的原理到底是什麼。所以我開始尋找跟空氣砲原理有關的文獻。而且老師說要多練習英文，所以我花了不少時間在看英文網站上面，雖然最後還是用了翻譯才看懂。找了不少網頁，發現其實內容非常多重複，所以我的文獻段只選了幾個有代表性的內容。

在做試做品空氣砲時，我原本以為做空氣砲應該不會有什麼太大的問題，因為我以前都是用寶特瓶做，沒想到試做品空氣砲的問題比我想像中的多很多，我原本還想不到怎麼解決氣球直徑太小，導致氣球套上杯子時紙杯杯口因擠壓而變形漏氣的問題，還好最後有想到 3D 列印的方法來解決。其實我也有想過直接用 3D 列印出來一個紙杯，這樣就不會有紙杯被擠壓的問題，但是後來想到列印的時間很久，而且很難在杯底挖洞，所以才放棄這個想法。雖然雙手操作需要先熱身試發幾發後，等熟悉了後再開始記錄，還好正式實驗時還算順利，沒有遇到甚麼太大的問題，只是有時候手會因為拉氣球拉太久而很痛，而且氣球會有個塑膠味沾在手上，很不容易才能把它洗掉。總之，除了手指痛之外，整個實驗實作過程還是很有趣的一件事。

當實驗結束後看著試算表裡面滿滿當當的數據時，我都會感受到滿滿的成就感。在整理實驗數據時，會很經常的請教老師，尤其是圖表的呈現，讓我學到長條圖和折線圖的功能是什麼，也知道要如何製作長條圖和折線圖，這部份讓我增加了很多知識。整理的過程中分析

數據，我也了解到了空氣砲發射口直徑對發射威力是有影響的，而且影響很大，這表示我們的實驗結果證實了原本的研究假設。從數據中我還發現到發射口直徑 3cm 的威力是最強的，但 3cm~4cm 之間實驗的數據差距太大，不像 1cm 到 3cm 是逐步增加，於是我決定再做一個發射口直徑 3.4cm 的空氣砲看看，看看 3cm~4cm 中間有沒有威力更大的口徑，結果發現威力還是比 3cm 小，所以威力最強的還是發射口直徑 3cm 的空氣砲。

而在這一次研究中，我發現有一個同伴陪你做研究是多麼重要，以前我做研究都是有同學陪著我，大家能分工合作，而且效率很高。但是這次的研究只有我一個人做，大部分的文字都要由我來打，工具要自己帶，實驗都要自己做。這時候我才發現原來自己一個人做研究這麼辛苦，於是我開始找我們原班的同學問問題，比如問他這樣做有沒有比較好，叫他們給我一點建議，即使他們不是資優班的學生，也幫助我許多。所以團隊合作，互相激發點子，總是比一個人單打獨鬥好。

捌、參考資料

Air cannon

<https://www.experimentarchive.com/experiments/air-cannon/>

Design a Better Vortex Cannon

<https://www.sciencefriday.com/educational-resources/design-a-better-vortex-cannon/>

壓乾冰宣洩而出！ 空氣砲原理大揭密

<https://www.ettoday.net/news/20130617/224280.htm>

十萬火急！驚奇大發現！尺的長度會不一樣!?快拿出你的尺

https://www.youtube.com/shorts/EuYWR_Q0GSs