

臺北市第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：不是哆啦 A 夢的空氣砲

關 鍵 詞：空氣砲、空氣、（最多 3 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.編號由臺北市立建國高中統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

目 錄

摘要.....	1
壹、前言	1
一、研究動機.....	1
二、研究目的.....	1
三、文獻回顧.....	2
貳、研究設備及器材	3
參、研究過程或方式	4
一、準備階段.....	4
二、實驗過程.....	5
肆、研究結果.....	9
一、紙片實驗.....	9
二、蠟燭實驗.....	10
三、蠟燭～滅 $5 \times 5 = 25$ 顆蠟燭需要花幾秒？	15
四、蠟燭～一直排放 10 顆蠟燭，看一次可以減掉幾顆？	15
五、蠟燭～砲筒長度不同.....	16
六、使用行李秤測試拉力.....	16
七、使用風速計測試風速.....	17
八、使用砝碼測量推的力量.....	19
九、模擬電梯內飛沫噴散的狀態	20
伍、討論	22
一、統計	22
二、問題&解決方式	24
陸、結論	28
柒、參考資料及其他	30

摘要

暑假期間我參加了空氣砲課程，當時是使用大型紙箱製作空氣砲，而這次實驗我只選用了單一尺寸的衛生紙筒作為砲筒，所以只能在紙筒的兩端洞口(砲口洞數、砲口洞的直徑&砲口放置位子&發射端氣球拉扯長度)作變化，測試不同組合會產生何種效果？並使用工具測試其拉力、風速和推動的力量。實驗發現，並非洞數越多、洞口直徑越大，空氣砲的威力就會越大；砲口放置位子距離射擊目標越近威力越大；發射端氣球拉扯越長威力較大，但氣球拉扯次數不能過多，會彈性疲乏降低威力；而在洞數不變下也加長了筒長，結果發現筒長雖加長，但空氣砲的威力並沒有因此變得更大；而射擊目標我選用蠟燭和紙片，實驗過程發現紙片過輕容易翻，反而降低實驗數據的正確性。

壹、前言

一、研究動機

看著電視上哆啦 A 夢拿著空氣砲道具，威力好大，但真實世界的我無法做出像哆啦 A 夢所拿的空氣砲，所以才會說“不是哆啦 A 夢的空氣砲”！

暑假期間我參加了「新興科技中心-110 暑期科技教育營隊-自製紙箱空氣砲」的課程，當時我是使用中大型紙箱製作空氣砲，因為紙箱很大，所以空氣砲的威力也很大，雖然無法和哆啦 A 夢的空氣砲比，我覺得還是很有趣，想說若是使用日常生活就可以拿到的衛生紙筒來製作空氣砲，不知會有何種效果？因為我選用的衛生紙筒只有單一尺寸，所以我只能在紙筒的兩端洞口(砲口和發射端)作變化，測試不同組合會產生何種效果？並使用工具測試其拉力、風速和推動的力量。

二、研究目的

我準備的衛生紙筒都一樣大，所以我想在前方的出風口(砲口)上做變化，測試不一樣的出風口(砲口)會產生哪些效果，然後搭配後方不同的拉力(氣球)，又會有哪些不同的效果？所以我分了幾種實驗方式如下：

- (一) 出風口(砲口)洞數不同，直徑相同，會產生何種結果？(分成 1 個洞、2 個洞、3 個洞、4 個洞、5 個洞)出風口(砲口)
- (二) 洞數相同，直徑不同，會產生何種結果？(分成 1 公分、2 公分、3 公分、4 公分、5 公分的洞)
- (三) 出風口(砲口)放置距離不同，會產生何種結果？(分成 15 公分、20 公分、25 公分、30 公分的距離)
- (四) 發射端(氣球)拉力不同，會產生何種結果？(分成 10 公分、15 公分、20 公分的長度)

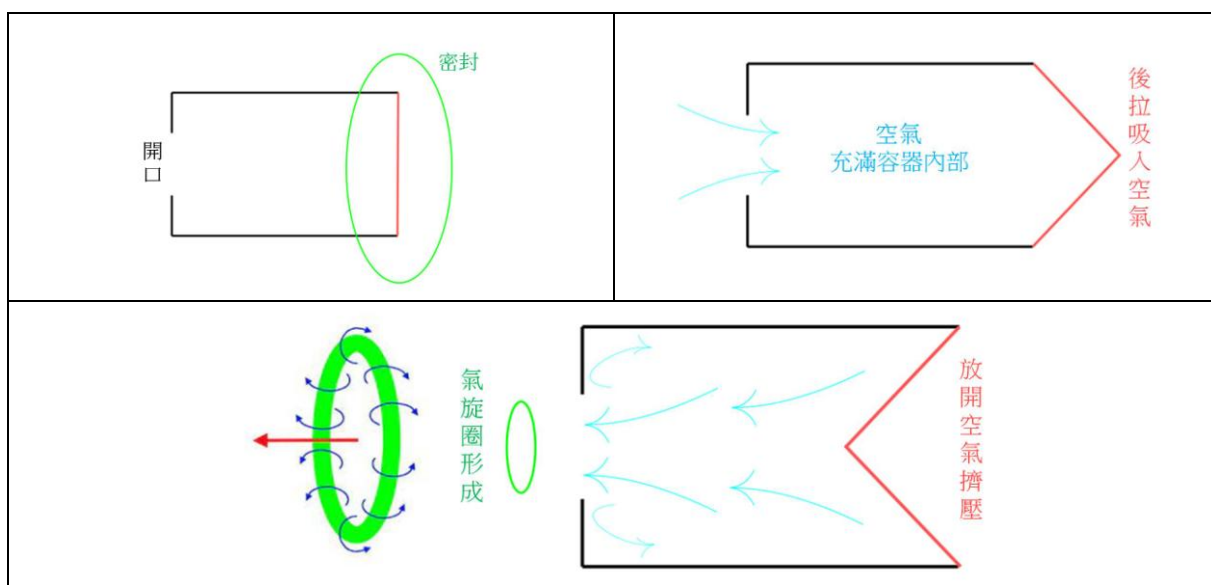
(五) 砲筒加長，長度不同，又會產生何種結果？(分成 1 筒長、2 筒長、3 筒長)

(六) 實驗的靶也分成蠟燭和紙片兩種，又會產生何種結果？

(七) 使用行李秤測拉力、使用風速計測風速、也使用砝碼測量推的力量。

三、文獻回顧

在暑假期間「新興科技中心-110 暑期科技教育營隊-自製紙箱空氣砲」的課程講義中有提到「空氣砲原理」是「利用容器中的空氣互相擠壓、反彈，經過窄口而噴射出去的空氣會形成的氣流彈(風)，產生空氣波動，因而能夠將空氣傳導到遠處。基本上容器愈大，可儲存的空氣愈多，能形成的氣流就愈強。」，講義也有提到空氣砲的形成如下：



當時我選用的材料是 40 公分×22 公分×30 公分的大紙箱做成大型空氣砲，發射出來的威力打在臉上真的很痛，但紙箱太大，家裡空間不足，又正好是防疫期間無法到其他地方實驗，我就沒選用紙箱做為這次科展的主要材料。另外，比較常看到的實驗都是使用寶特瓶，還有人會拿水桶、桶子，只要能密封起來的都可以拿來做空氣砲。

而家裡剛好有很多收集來的衛生紙筒，暑假期間我也有做了幾個空氣砲來玩，所以才想到可以用衛生紙筒為主要砲筒，我的衛生紙筒空氣砲只有單一尺寸，所以只能在砲口和拉力上作變化，以便找出最佳組合的空氣砲。

因為暑假上了空氣砲課程，所以上網搜尋了一些空氣砲的資訊，也翻閱了幾本科展作品，發現大家使用了好多種道具來製作空氣砲，也設計了好多複雜的實驗，其中發現很常用到射擊紙條架、紙片、衛生紙架來測試空氣砲的威力，這次我也用了小紙片，但會發現紙片太輕容易飄，容易影響數據的正確性，所以我加選用了蠟燭，射擊蠟燭也是很常用的實驗方式，但都是射擊一直排或一行列，而我選擇的則是射擊 $5 \times 5 = 25$ 的方式，用來觀察空氣砲射擊的範圍，另外我也在歷屆作品中看到有射擊秤面測量衝力，而我做了一些變化，改為推動砝碼測量推的力量。

貳、研究設備及器材

	
工具：剪刀、刀片、圓規刀、切割板、尺、布膠帶、透明膠帶、雙面膠	工具：打火機(點蠟燭使用)
	
材料(砲)：衛生紙筒(長 9.5 公分、直徑 8.5 公分)、80 磅紙、12 吋氣球	材料(靶座)：冰棒棍、5mmPP 瓦楞板(A4 大小)
	
材料(靶座)：16 開雕刻板(本來靶座是用如上圖的 PP 塑膠瓦楞板，結果放上蠟燭後，實驗時間太久，溫度太高，板子就開始融化(如右圖所示)，所以才改用木製的雕刻板)	
	
材料(靶)：迴紋針、丹迪紙(紙片實驗) 小蠟燭(蠟燭實驗)	工具：行李秤、風速計
其他工具：3mm、5mmPP 瓦楞板、透明塑膠板、竹棍、萬用黏土膠、寶特瓶、10 吋氣球、水彩、亮片粉、衛生紙、拜拜用的香、古氏數棒、小紙盒、手機(拍照記錄用)	

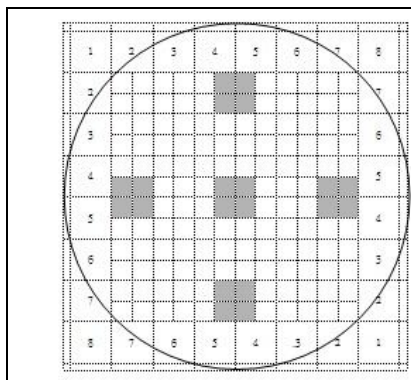
參、研究過程或方式

一、準備階段

(一) 主要材料為衛生紙筒(長 9.5 公分、直徑 8.5 公分)，紙筒沒有蓋子，所以砲口以 80 磅紙製作，發射端則是使用 12 吋氣球代替。

(二) 製作過程

1. 砲口

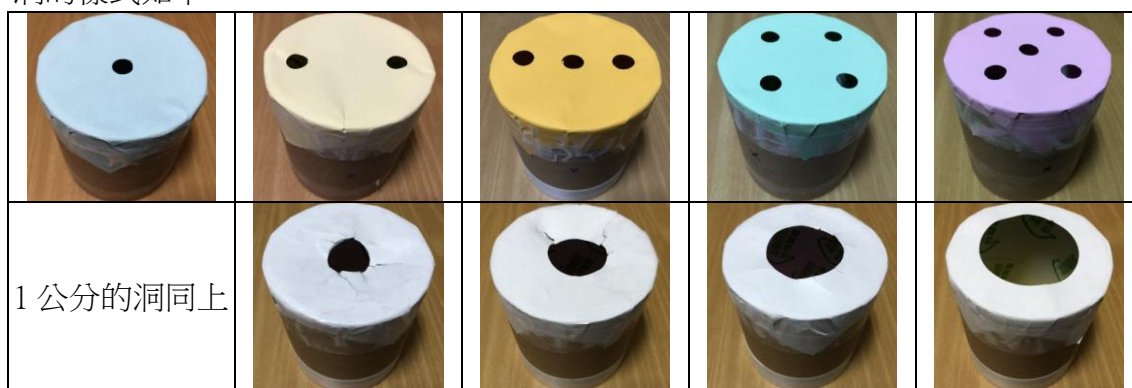


首先，經由大人的指導，先用電腦畫出直徑約 8.5 公分的圓，圓中間再標出五個直徑 1 公分小圓的位子(如圖所示)，然後再使用印表機在 80 磅 A4 紙上印出備用。之後，針對不同的實驗，我再使用圓規刀分別切割出不同的孔洞。

洞數不同：分別為 1 個洞、2 個洞、3 個洞、4 個洞、5 個洞，每個洞皆為直徑 1 公分。

洞的直徑不同：只有一個洞，洞的直徑分別為 1 公分、2 公分、3 公分、4 公分、5 公分。

洞的樣式如下：



製作過程：圓規刀挖洞→切割→套管→膠帶黏緊



2. 發射端－氣球

選用的是 12 吋圓形氣球，長度約 13 公分，我在距離頂端 2 公分處剪一個缺口，再把氣球套在砲管上，套上砲管時只套大約 1 公分，然後再用布膠帶黏一圈貼緊，而氣球另一端的吹口處則在約 5 公分的地方打個結，就可以完成空氣砲的發射端。



3.發射臺

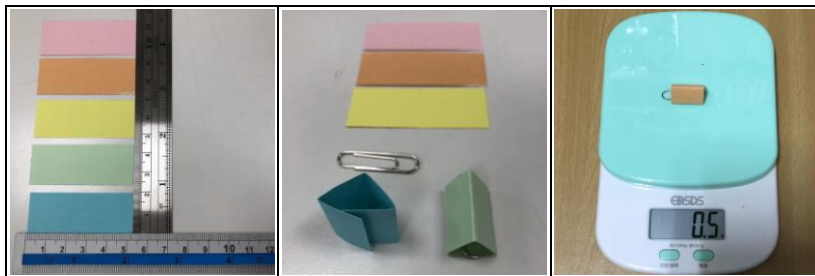
我是選擇使用 3 片 5mmPP 瓦楞板(A4 大小)拼接成一長板，上面畫好所有會使用到的距離刻度，以便操作實驗時使用。



4.靶和靶座

(1)靶分成紙片和蠟燭兩種

- ①紙片：使用丹迪紙，長 5.3 公分、寬 2 公分，折合立體三角型，使用小型迴紋針固定，重量約 0.5 公克，一次使用 25 個。
- ②蠟燭：使用直徑 2.5 公分，高度約 0.9 公分的圓形酥油蠟燭，一次使用 25 顆。
(這次實驗大約用掉 300 顆蠟燭)



(2)靶座也分成兩種

- ①瓦楞板：1 片 A4 大小，上面使用 1 公分寬的冰棒棍隔成 25 格(如下圖)。
- ②雕刻板：1 片 16 開大小，上面使用 1 公分寬的冰棒棍隔成 25 格，供蠟燭實驗使用。一開始蠟燭也放在 PP 瓦楞板，但因為是塑膠材質，遇到高溫後，會開始融化，所以才改用木製的雕刻板。



二、實驗過程

所有空氣砲實驗皆由一個人負責操作，大人在旁協助記錄，而有用到蠟燭點火的部分顧慮到安全，則拜託大人幫忙。

(一) 每個空氣砲都要操作四種距離，15 公分、20 公分、25 公分和 30 公分，而每種距離在拉扯發射端的氣球時，則分成三種長度，10 公分、15 公分和 20 公分。

紙片實驗：每一次實驗都操作 10 次，記錄每次紙片移動的個數。

蠟燭實驗：每一次實驗都操作 5 次，記錄每次蠟燭熄滅的顆數。(註：蠟燭原本也是操作 10 次，但次數太多，煙味道太重，才減化成只操作記錄 5 次)

實驗一：空氣砲放在 15 公分處，氣球則拉至 10 公分、15 公分、20 公分



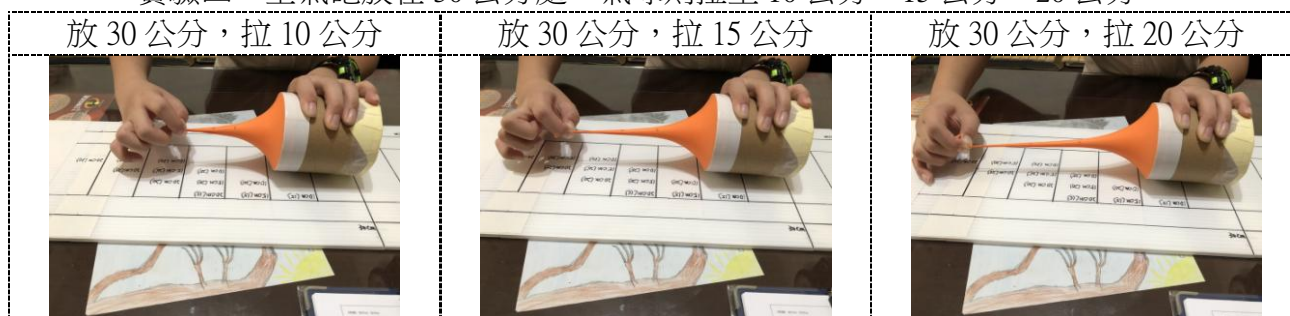
實驗二：空氣砲放在 20 公分處，氣球則拉至 10 公分、15 公分、20 公分



實驗三：空氣砲放在 25 公分處，氣球則拉至 10 公分、15 公分、20 公分



實驗四：空氣砲放在 30 公分處，氣球則拉至 10 公分、15 公分、20 公分



實驗步驟：

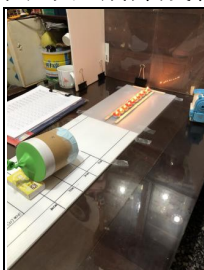
我先把 25 個紙片或 25 顆蠟燭放在事先準備好的靶座上(5 格x5 格，共 25 格)，我再把空氣砲砲口放在距離靶座 15 公分處，然後拉扯發射端的氣球，從 10 公分開始，每種拉扯長度都要測試 10 次(蠟燭實驗改成 5 次)，並記錄每一次會吹動幾個紙片或吹熄幾顆蠟燭，10 公分測完才換測試拉扯至 15 公分，也是測 10 次並記錄，之後是拉至 20 公分。我測試過，以我準備的氣球長度最長拉至 20 公分已經是極限，所以我只選擇測試 10 公分、15 公分、20 公分三種長度。

距離靶座 15 公分處全測完後才換下一個距離 20 公分處，氣球拉扯長度同上 10 公分、15 公分、20 公分三種，每一種皆一樣測試 10 次(蠟燭實驗改成 5 次)並記錄，之後是放置距離靶座 25 公分處、距離靶座 30 公分處。因為我所製作的空氣砲比較小，所以我選擇的測試距離最遠只到 30 公分。

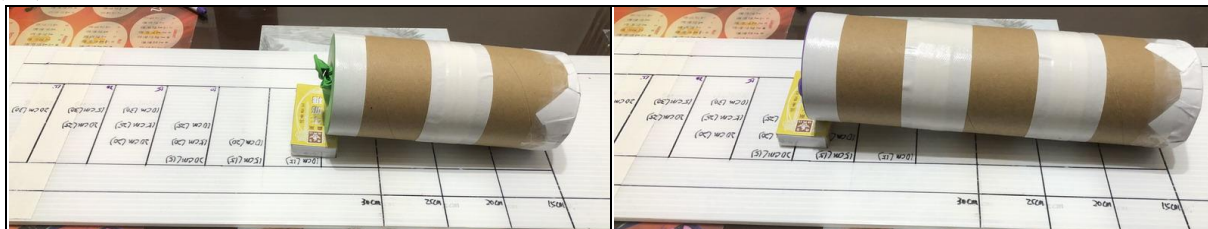
(二) 第二種實驗則是空氣砲放置於 15 公分處，測試熄滅 25 顆蠟燭需要花費多少時間？



(三) 第三種實驗則是排一直排 10 顆蠟燭，使用第 1 項的 4 種距離和 3 種拉力，測試每一次可以滅掉幾顆蠟燭？



(四) 第四種實驗是將砲筒加長，分成二筒長和三筒長



(五) 第五種實驗則是使用行李秤測試拉力

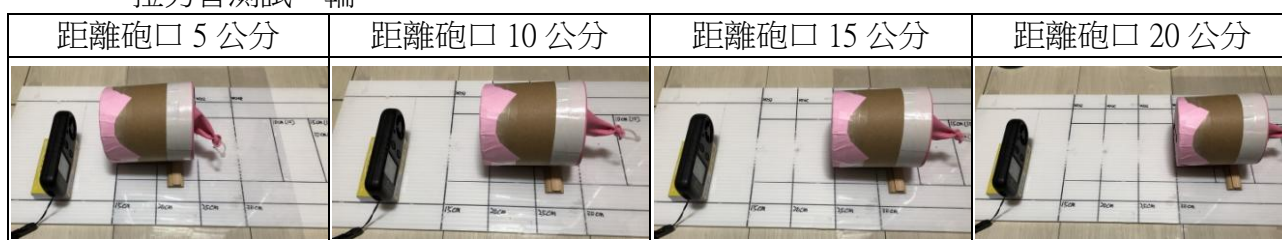


(六) 第六種實驗則是使用風速計測風速

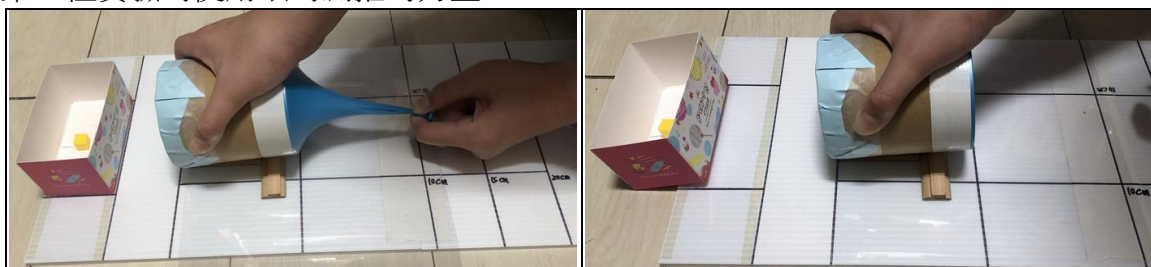


原本準備了二個風速計，一個放靶座前端，一個放靶座尾端，要測前後的風速，但試了幾次後都測不太出風速，所以改用下列方式

我將風速計放在距離砲口 5 公分、10 公分、15 公分和 20 公分處，10 種空氣砲 3 種拉力皆測試一輪。



(七) 第七種實驗為使用砝碼測推的力量



我準備了 100 顆 1 公分大小、每 1 顆皆為 1 公克的古氏數棒作為砝碼，因為砝碼只有 1 公分大小，而我的空氣砲洞數有不同、直徑也有不同，而且還有洞距，為了讓空氣砲發射出去後，砝碼接受衝力的面積能一致，所以我準備了一個 10cm×6cm×5cm 大小、重量 7 公克的小紙盒來盛裝砝碼顆粒，另外我的測試臺面是使用 PP 瓦楞板，瓦楞板材質上有紋路，為了降低摩擦力，所以瓦楞板上再放上一塊平滑的透明膠片。測試時，一次只加一顆 1 公克砝碼，而紙盒和砲口的距離訂為 5 公分，後面氣球拉力則拉至 10 公分，從 1 個洞～5 個洞、2 公分的洞～5 公分的洞，九個空氣砲測完一輪後才會再加一顆 1 公克的砝碼，一直加到空氣砲衝力無法再推動小紙盒為止。

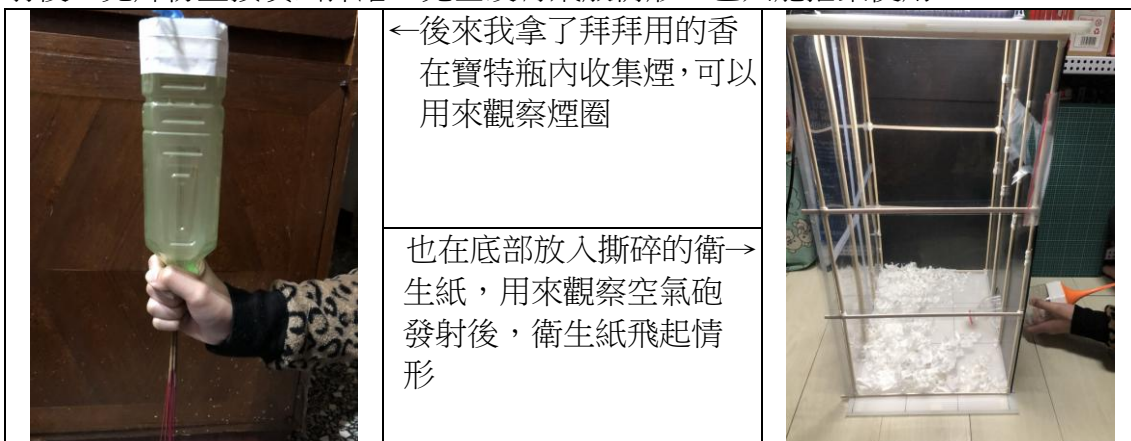
(八) 模擬電梯內飛沫噴散的狀態



↑ 為了模擬打噴涕飛沫飛散情形，在寶特瓶空氣砲裡加了顏料水

↑ 在寶特瓶空氣砲裡改加金蔥亮片粉

我使用 3mm、5mmPP 瓦楞板、透明膠片、竹棍等材料搭了一個密閉電梯空間，尺寸為一般住宅 9 人電梯尺寸 1400mm×1100mm×2300mm 以 1:4 比例縮小成 350mm×278mm×575mm，打算用來測試假設有人在電梯裡打噴涕，飛沫噴出後飛散情形，所以我用空氣砲模擬打噴涕，為了模擬噴涕，我改用寶特瓶作成空氣砲然後在裡面加入顏料水，但實驗過程中發現，空氣砲發射將水噴出後，只會在正前方的透明膠片上形成水漬，完全抓不到飛沫情形，看了很久，肉眼完全抓不到飛沫，相機更是拍不出來，只能捨棄使用。我又改在空氣砲裡加入金蔥亮片粉，結果亮片粉又太重，空氣砲發射後，亮片粉直接噴出掉落，完全沒有飛散情形，也只能捨棄使用。



← 後來我拿了拜拜用的香在寶特瓶內收集煙，可以用來觀察煙圈

也在底部放入撕碎的衛生紙，用來觀察空氣砲發射後，衛生紙飛起情形

肆、研究結果

一、紙片實驗

射擊 5x5=25 個小紙片，記錄一次射擊會移動幾個小紙片。(小紙片太輕容易翻滾影響數據，所以紙片移動範圍只記錄於實驗日誌上，在此不再詳細列出)

(一)砲口洞數不同，但每個洞直徑皆為 1 公分

單位：個	1個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	5	7	10	6	6	6	5	4	4	2	0	4
第二次	6	10	9	3	8	5	3	4	2	0	0	4
第三次	7	6	10	2	7	3	4	3	3	0	0	2
第四次	5	8	9	5	6	5	3	3	2	1	1	5
第五次	6	6	8	3	4	5	5	4	3	3	1	3
第六次	5	7	8	3	4	4	3	3	3	0	3	3
第七次	5	8	11	4	4	7	2	3	4	2	3	6
第八次	7	8	6	3	4	5	3	3	3	1	4	5
第九次	5	6	9	3	6	5	4	4	5	2	0	5
第十次	7	9	10	3	5	5	4	3	5	0	3	6

單位：個	2個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	10	9	8	3	5	7	0	4	1	0	0	1
第二次	7	9	10	1	4	3	0	4	2	0	0	0
第三次	8	7	5	3	4	5	0	1	2	0	0	0
第四次	8	6	10	0	3	5	0	1	1	0	0	0
第五次	4	7	9	0	5	5	0	0	2	0	0	0
第六次	2	6	8	0	4	5	0	0	4	1	0	0
第七次	3	5	9	1	3	4	0	1	3	1	0	1
第八次	7	8	6	2	4	5	0	1	3	1	0	1
第九次	6	7	9	2	3	4	0	2	1	1	0	0
第十次	4	7	9	3	4	5	0	2	1	0	0	0

單位：個	3個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	7	4	7	3	3	7	1	4	2	0	1	2
第二次	6	7	7	3	4	4	1	4	4	0	1	1
第三次	6	9	8	3	4	8	4	4	2	0	1	1
第四次	5	9	8	3	2	9	2	3	4	0	1	1
第五次	5	9	8	4	4	4	2	4	4	0	1	1
第六次	5	6	8	3	5	5	3	3	1	0	2	2
第七次	5	6	10	3	5	5	2	3	4	0	1	2
第八次	5	8	9	3	7	7	4	3	4	0	0	1
第九次	5	7	6	1	4	4	2	2	2	0	1	2
第十次	5	12	7	3	5	5	1	1	3	0	2	1

單位：個	4個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	8	7	7	3	4	5	1	1	4	0	2	2
第二次	5	7	11	2	3	7	2	1	3	0	0	3
第三次	4	5	5	2	5	5	0	2	3	0	1	2
第四次	7	10	8	1	4	7	0	1	3	0	0	2
第五次	4	5	7	2	6	6	0	2	2	0	0	1
第六次	6	6	9	1	3	2	0	3	2	0	0	1
第七次	4	9	8	1	5	4	1	3	3	1	1	1
第八次	4	8	5	4	3	6	0	3	2	0	0	1
第九次	7	5	5	7	4	3	0	3	2	0	2	2
第十次	5	11	4	3	5	4	1	6	2	0	1	2

單位：個	5個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	8	9	8	5	7	7	1	8	4	0	2	4
第二次	7	8	8	3	4	7	2	3	4	0	2	2
第三次	4	8	8	7	6	5	3	5	4	1	2	2
第四次	6	8	8	6	5	6	3	4	4	0	0	1
第五次	4	8	8	5	5	8	2	5	7	0	0	4
第六次	5	8	9	4	5	4	1	4	4	0	1	4
第七次	5	8	8	5	8	6	2	5	5	0	1	1
第八次	5	6	7	4	7	7	1	4	7	0	2	4
第九次	5	9	5	5	5	7	0	4	5	1	1	2
第十次	3	7	5	4	6	5	1	3	6	0	1	2

(二)砲口的洞直徑不同，但都只有一個洞

1. 直徑 1 公分的洞

(直徑 1 公分的洞和上面洞數 1 個是相同的，就以上方數據為主，不再重複實驗)

單位：個	直徑2公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	18	12	11	4	8	8	4	4	7	3	3	6
第二次	12	13	9	7	6	7	1	6	6	2	4	5
第三次	11	12	9	6	5	4	3	4	6	2	2	4
第四次	15	10	9	6	4	4	4	5	5	2	3	4
第五次	10	12	8	3	4	4	4	5	5	1	3	6
第六次	13	11	8	3	6	7	3	5	4	1	2	3
第七次	13	11	9	3	4	6	3	6	4	3	3	3
第八次	14	11	9	4	4	3	5	4	5	2	4	4
第九次	9	11	10	4	3	8	4	4	4	2	2	2
第十次	8	10	10	6	4	6	4	6	3	2	2	2

單位：個	直徑3公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	9	10	9	4	8	4	3	4	6	0	3	5
第二次	9	9	10	3	6	7	7	7	5	3	5	6
第三次	8	9	10	4	6	7	1	4	4	0	2	6
第四次	10	9	9	4	7	7	1	3	7	2	3	5
第五次	9	8	10	4	8	8	5	5	3	0	4	3
第六次	9	10	10	5	8	6	2	5	4	0	5	7
第七次	10	9	10	3	6	7	5	4	4	1	4	5
第八次	7	10	9	4	9	6	2	5	6	2	6	3
第九次	10	10	9	4	8	5	7	5	6	1	2	5
第十次	10	9	10	6	8	7	4	5	4	2	5	4

單位：個	直徑4公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	8	8	10	3	4	5	0	3	6	1	1	5
第二次	9	6	8	3	3	8	0	2	4	2	1	3
第三次	4	6	5	3	5	5	0	4	5	1	1	4
第四次	5	4	7	2	5	4	0	3	7	1	2	6
第五次	5	5	7	3	5	5	1	3	5	0	2	1
第六次	5	4	8	3	5	5	0	3	8	0	3	5
第七次	4	4	5	2	3	5	0	2	6	0	0	6
第八次	5	4	4	5	5	4	0	3	3	0	2	3
第九次	4	5	8	3	4	5	1	2	6	0	0	6
第十次	4	5	4	4	3	5	2	4	3	1	2	3

單位：個	直徑5公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	4	4	5	0	2	5	0	4	4	0	0	0
第二次	4	4	5	1	4	6	0	2	1	0	0	1
第三次	4	6	6	1	1	6	0	1	1	0	0	0
第四次	4	3	4	0	5	5	0	1	2	0	0	0
第五次	1	5	5	0	2	5	0	0	1	0	0	0
第六次	2	4	6	1	2	4	0	2	1	0	0	1
第七次	4	5	5	1	2	5	0	0	1	0	0	1
第八次	2	4	5	1	5	4	0	2	1	0	0	1
第九次	4	4	5	0	2	5	0	2	0	0	0	0
第十次	4	5	5	0	3	5	0	3	0	0	0	0

最先開始的實驗為射擊紙片，但實驗過程中有發現到紙片過輕的問題，紙片過輕，空氣砲射擊後，紙片會移動，也會滾動，容易打到其他紙片，很難正確判斷紙片是空氣砲移動的還是被其他紙片打到的，影響到數據的記錄，所以後來的實驗皆以射擊蠟燭為主。

二、蠟燭實驗

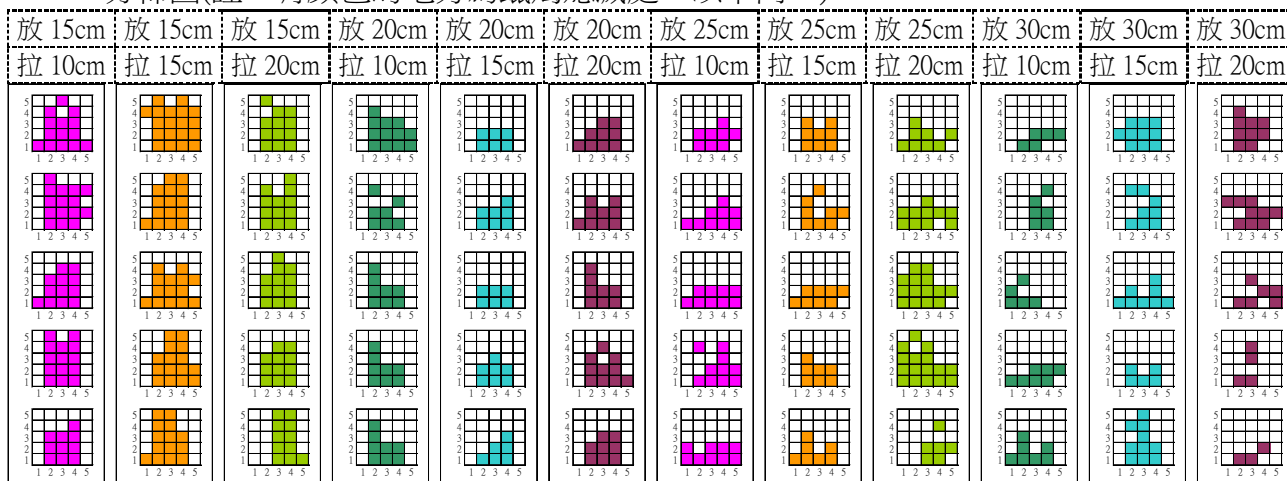
射擊 5x5=25 顆蠟燭，記錄一次射擊可以熄滅幾顆蠟燭，並記錄蠟燭熄滅的位子。

(一)砲口的洞數不同，但每個洞直徑皆為 1 公分

1. 一個洞

單位：顆	1個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	14	19	12	12	6	9	8	8	8	5	10	9
第二次	15	14	12	7	7	9	9	8	10	6	8	9
第三次	12	14	12	8	6	8	9	8	14	5	8	6
第四次	14	15	11	8	7	10	10	7	16	7	5	4
第五次	10	14	11	8	6	8	9	7	6	7	10	3

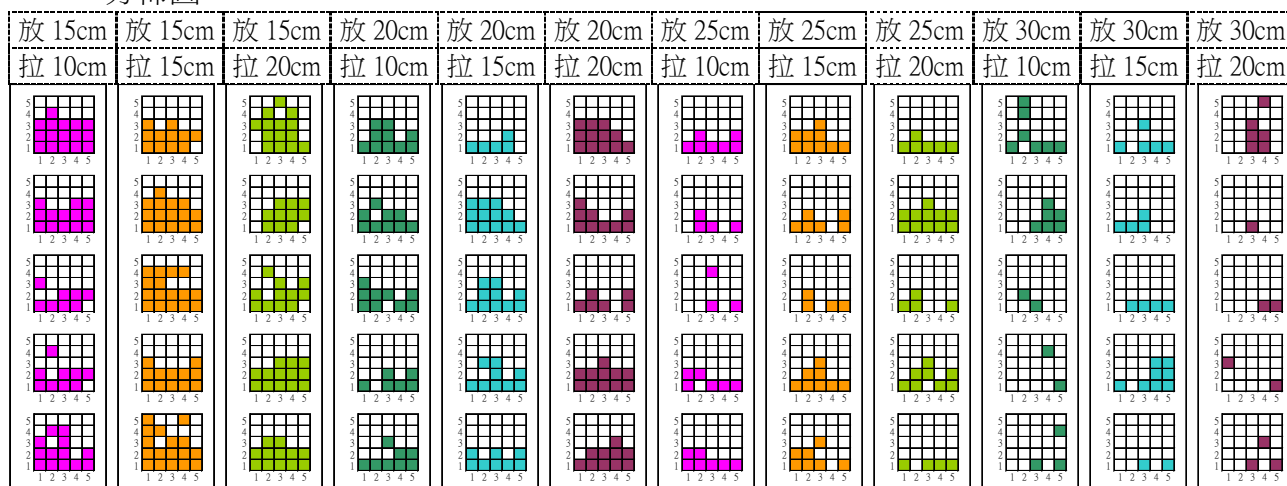
分佈圖(註：有顏色的地方為蠟燭熄滅處，以下同。)



2. 二個洞

單位：顆	2個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	16	11	14	10	5	12	7	9	6	7	5	6
第二次	13	15	10	9	12	9	4	6	11	6	4	1
第三次	8	16	11	9	10	6	3	4	4	2	4	2
第四次	10	12	13	6	9	11	6	8	8	2	8	2
第五次	13	17	12	8	8	10	7	7	4	3	2	3

分佈圖



3. 三個洞

單位：顆	3個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	15	11	20	14	11	8	10	10	9	2	8	4
第二次	16	16	18	11	13	9	8	7	10	6	5	5
第三次	16	16	22	9	8	10	8	7	5	7	7	6
第四次	17	18	14	8	9	6	9	4	8	1	7	3
第五次	14	15	11	11	13	5	7	3	8	4	7	9

分佈圖

放 15cm	放 15cm	放 15cm	放 20cm	放 20cm	放 20cm	放 25cm	放 25cm	放 25cm	放 30cm	放 30cm	放 30cm
拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm	拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm	拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm	拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm

4. 四個洞

單位：顆	4個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	7	12	13	10	6	13	4	5	5	5	6	10
第二次	7	9	13	7	10	10	4	4	5	6	5	4
第三次	8	12	7	3	9	9	5	4	8	5	6	8
第四次	8	8	12	8	9	9	3	8	3	3	5	3
第五次	9	9	10	7	10	10	4	4	5	1	5	7

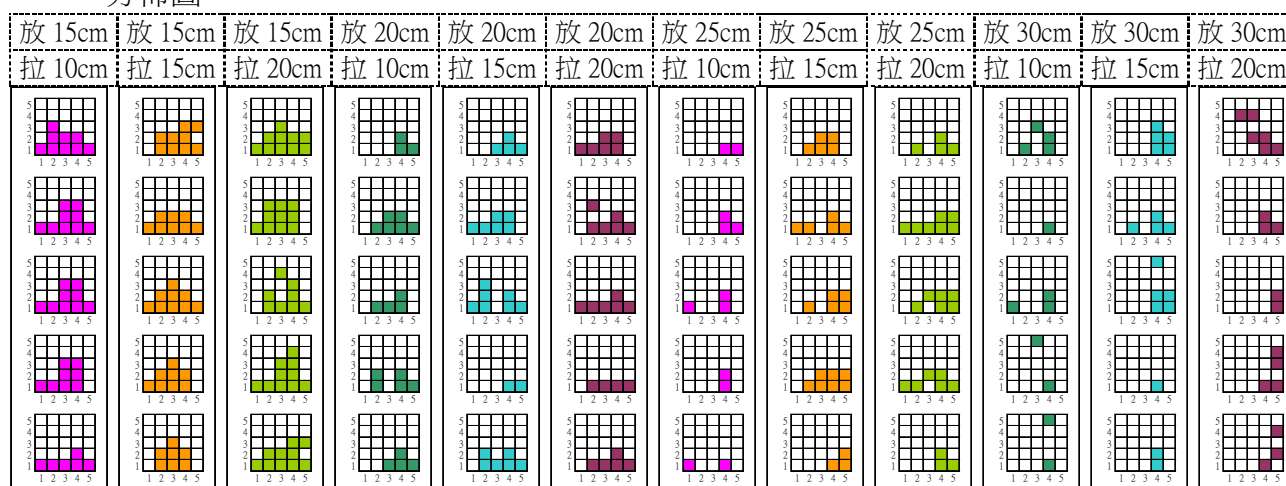
分佈圖

放 15cm	放 15cm	放 15cm	放 20cm	放 20cm	放 20cm	放 25cm	放 25cm	放 25cm	放 30cm	放 30cm	放 30cm
拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm	拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm	拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm	拉 10cm	拉 15cm	拉 20cm

5. 五個洞

單位：顆	5個洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	9	9	10	3	4	6	2	5	4	4	5	6
第二次	9	8	10	6	6	6	3	5	7	1	4	3
第三次	9	9	8	4	7	6	3	5	6	3	5	2
第四次	8	8	10	5	2	5	2	7	6	2	1	4
第五次	6	7	10	4	5	5	2	3	3	2	2	3

分佈圖



由上實驗可知，能熄滅最多蠟燭的砲口洞數為三個洞，再來是一個洞、二個洞、四個洞，而洞數最多的五個洞威力反而是最小。砲口放置位子以距離靶座前端最近的 15 公分為最佳位子。發射端氣球的拉扯長度則以拉至最長的 20 公分能發揮最大威力。

(二)砲口的洞直徑不同，但都只有一個洞

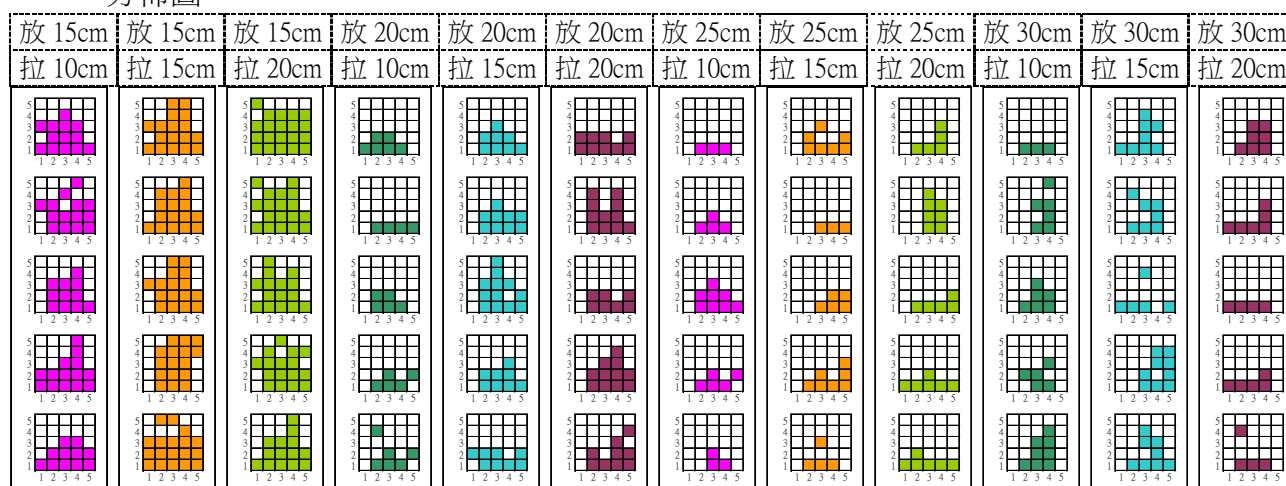
1. 直徑 1 公分的洞

(直徑 1 公分的洞和上面洞數 1 個是相同的，就以 P.9 的數據列出，不再重複實驗)

2. 直徑 2 公分的洞

單位：顆	直徑2公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	13	17	20	6	8	9	3	7	5	3	8	7
第二次	14	16	18	4	7	11	4	3	7	6	7	6
第三次	11	16	15	5	12	7	8	5	5	6	5	4
第四次	14	16	16	5	8	11	5	7	6	5	9	5
第五次	11	18	14	6	8	9	3	4	6	8	8	4

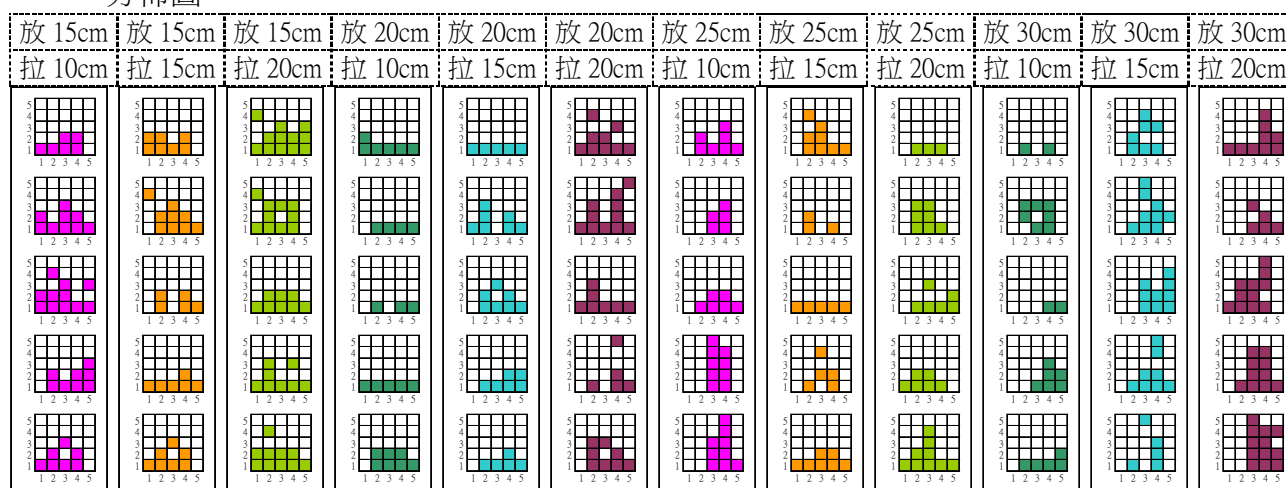
分佈圖



3. 直徑 3 公分的洞

單位：顆	直徑3公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	6	7	12	6	5	9	7	8	3	2	7	9
第二次	9	9	10	4	7	11	5	3	7	7	9	5
第三次	11	5	8	3	7	7	6	5	6	2	9	11
第四次	8	6	8	5	6	5	9	5	6	6	8	10
第五次	7	7	10	7	5	8	9	7	9	5	5	12

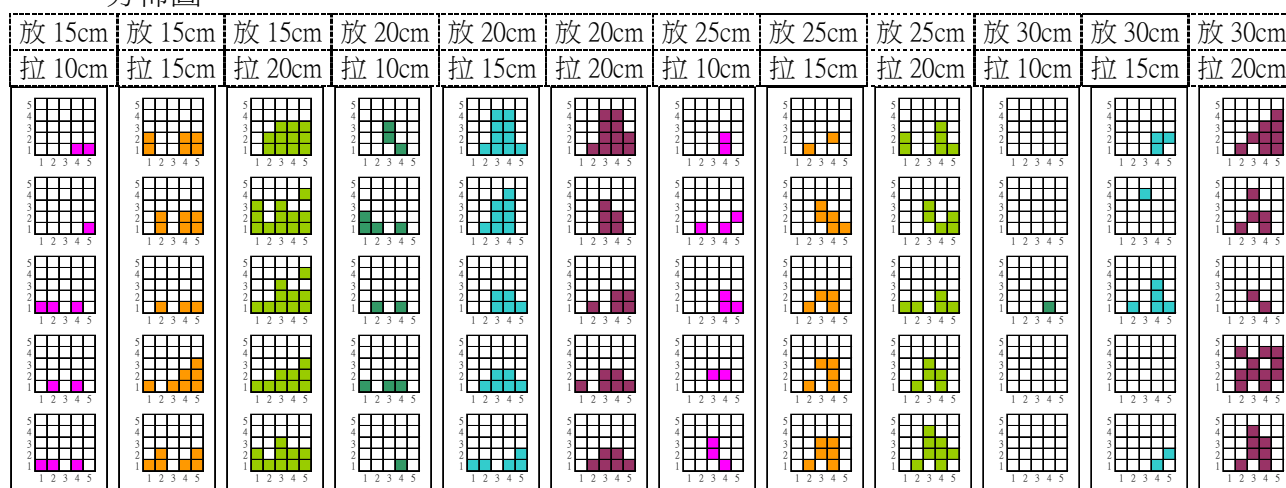
分佈圖



4. 直徑 4 公分的洞

單位：顆	直徑4公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	2	6	9	3	10	11	2	2	6	0	3	9
第二次	1	6	12	4	8	5	3	5	5	0	1	5
第三次	3	3	10	2	5	5	3	4	5	1	5	2
第四次	2	7	8	3	6	6	2	5	5	0	0	11
第五次	3	6	10	1	5	6	3	6	8	0	2	7

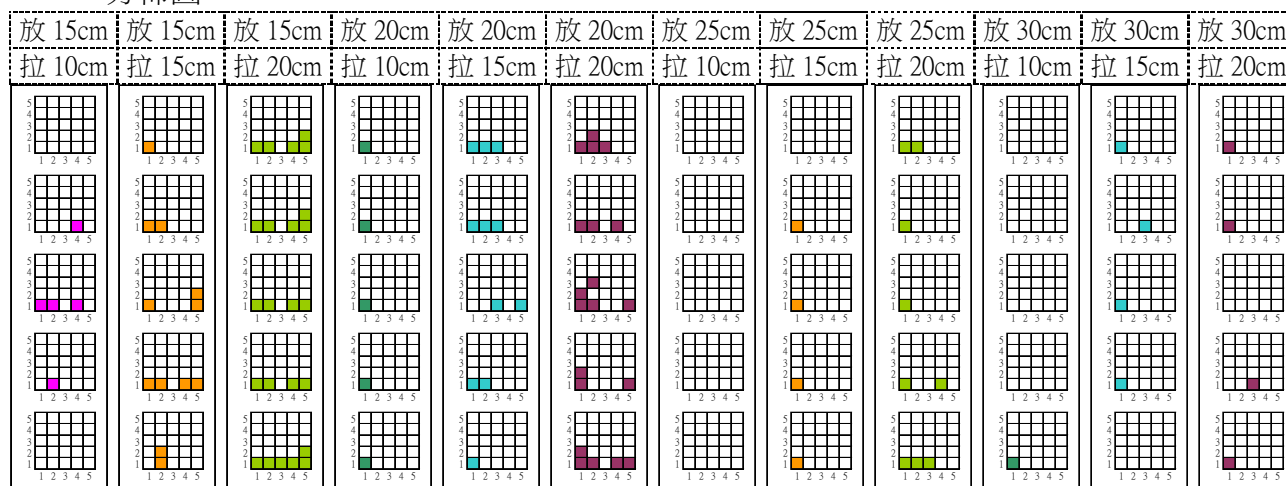
分佈圖



5. 直徑 5 公分的洞

單位：顆	直徑5公分的洞											
砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0	1	5	1	3	4	0	0	2	0	1	1
第二次	1	2	5	1	3	3	0	1	1	0	1	1
第三次	3	3	4	1	2	5	0	1	1	0	1	0
第四次	1	4	4	1	2	3	0	1	2	0	1	1
第五次	0	2	6	1	1	5	0	1	3	1	0	1

分佈圖



由上實驗可知，能熄滅最多蠟燭的砲口直徑為一公分和二公分，反而是砲口直徑很大的三公分、四公分和五公分的威力越小。砲口放置位子以距離靶座前端最近的 15 公分為最佳位子。發射端氣球的拉扯長度則以拉至最長的 20 公分能發揮最大威力。

三、蠟燭～滅 $5 \times 5 = 25$ 顆蠟燭需要花幾秒？



砲口放置位子我只選擇放在 15 公分處一種，而拉扯長度並沒有限制，空氣砲拿的高度、發射的角度都不定，然後一直發射空氣砲，直到所有蠟燭熄滅為止。

實驗過程中會發現，因為空氣砲拿的高度和發射的角度都沒有固定，反而無法準確射擊，所以造成過程中，有時候蠟燭會很快就全滅掉，但有幾次甚至會有幾顆滅不掉。

單位：秒	1個洞	2個洞	3個洞	4個洞	5個洞
	放15cm	放15cm	放15cm	放15cm	放15cm
第一次	5.69	5.13	4.85	26.62	4.93
第二次	4.55	5	4.83	14.18	4.53
第三次	4.98	4	2.4	20.32	9.73
第四次	9.28	6.52	3.46	15.6	4.58
第五次	5.35	5.32	2.8	17.8	14.81

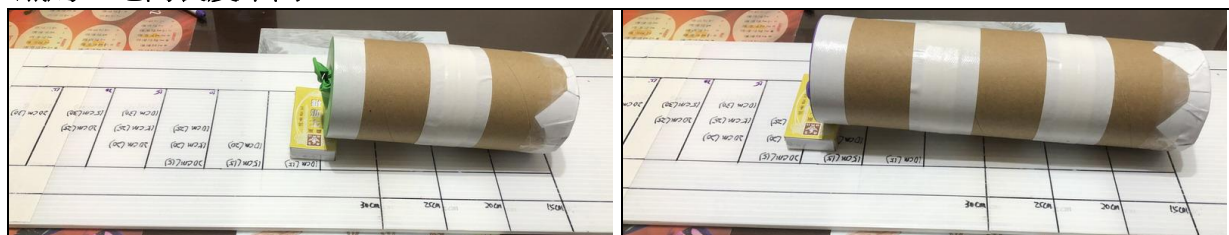
四、蠟燭～一直排放 10 顆蠟燭，看一次可以滅掉幾顆？



砲口放置位子我只選擇放在 20 公分處一種，實驗過程中，雖然只有 10 顆蠟燭，長度也不長，但是 150 次實驗中，都沒有一次是 10 顆蠟燭全部滅掉。

單位：顆	1個洞			2個洞			3個洞			4個洞			5個洞		
砲口放置位子	20CM														
氣球拉扯長度	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
第一次	2	5	6	3	3	2	7	8	9	5	5	4	4	4	3
第二次	3	4	7	6	5	4	4	6	7	5	6	5	8	6	5
第三次	4	8	6	5	3	3	7	6	4	8	7	3	3	3	5
第四次	5	5	5	2	5	2	7	7	5	4	8	4	3	7	4
第五次	6	6	5	3	2	4	6	7	6	6	3	3	3	7	5
第六次	5	6	6	3	3	2	6	4	4	8	5	4	3	4	3
第七次	5	4	5	3	2	5	5	9	6	8	4	2	4	6	4
第八次	5	4	5	4	3	2	6	5	6	5	8	3	3	6	3
第九次	4	5	4	4	7	4	8	6	7	6	8	4	6	5	4
第十次	5	4	5	1	2	5	5	7	7	7	4	6	4	4	5
合計	44	51	54	34	35	33	61	65	61	62	58	38	41	52	41
平均數	4	5	5	3	4	3	6	7	6	6	6	4	4	5	4

五、蠟燭～砲筒長度不同



砲口放置位子	15 CM								
氣球拉扯長度	10CM			15CM			20CM		
砲筒長度	一筒長	二筒長	三筒長	一筒長	二筒長	三筒長	一筒長	二筒長	三筒長
第一次	9	7	8	9	9	9	10	13	8
第二次	9	4	6	8	10	7	10	14	8
第三次	9	8	4	9	11	8	8	8	10
第四次	8	4	3	8	9	9	10	9	13
第五次	6	5	4	7	7	10	10	10	11
合計	41	28	25	41	46	43	48	54	50
平均數	8	6	5	8	9	9	10	11	10

由上可知，雖然空氣砲的筒身加長了，但是威力並沒有因為加長而變得更大。

六、使用行李秤測試拉力

在前面的實驗裡，有分成紙片(120 次)和蠟燭(15 次)，所以測拉力和風速時，也同樣比照。

(一)單一個空氣砲要測試完三個放置位子和各三種拉力長度，所以會測試 120 次。

(單位：kg)

砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.075	1.390	1.865	0.755	1.005	1.050	0.705	0.675	1.210	0.630	1.005	1.225
第二次	1.350	1.385	1.845	0.710	0.925	1.280	0.605	0.780	1.235	0.650	0.945	1.215
第三次	1.020	1.090	1.535	0.700	1.202	1.165	0.675	0.975	1.175	0.655	0.985	1.250
第四次	1.065	1.210	1.570	0.715	0.990	1.255	0.660	0.970	1.145	0.610	0.955	1.190
第五次	0.835	1.295	1.475	0.735	0.985	1.155	0.695	0.955	1.190	0.670	0.965	1.180
第六次	0.865	1.110	1.315	0.665	0.995	1.200	0.655	0.960	1.150	0.655	0.955	1.185
第七次	0.795	1.160	1.305	0.575	1.025	1.135	0.695	0.940	1.100	0.670	0.865	1.185
第八次	0.780	1.160	1.315	0.720	1.020	1.065	0.700	0.960	1.180	0.670	0.940	1.170
第九次	0.815	1.135	1.255	0.705	1.000	1.110	0.635	0.990	1.185	0.685	0.945	1.200
第十次	0.820	1.060	1.290	0.715	1.000	1.220	0.660	0.965	1.225	0.650	0.975	1.175

(二)每一個空氣砲只測試 15 次，每測完一個放置位子、三種拉力長度就換一個空氣砲。

(單位：kg)

砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.075	1.390	1.865	1.305	1.850	2.285	1.305	1.970	2.145	1.230	1.605	2.175
第二次	1.350	1.385	1.845	1.240	1.810	2.115	1.205	1.625	1.950	1.065	1.560	2.105
第三次	1.020	1.090	1.535	1.075	1.720	1.905	1.235	1.645	1.880	1.170	1.580	1.885
第四次	1.065	1.210	1.570	1.205	1.710	2.130	1.155	1.535	1.735	1.255	1.545	1.830
第五次	0.835	1.295	1.475	1.125	1.485	1.980	1.185	1.690	1.645	1.240	1.555	1.765

由上可知，同樣尺寸、長度的氣球，彈性都不一致，每一次拉扯氣球的拉力也無法固定一樣，且氣球會因為拉扯過多次而彈性疲乏影響拉力。

七、使用風速計測試風速

(一)單一個空氣砲要測試完三個放置位子和各三種拉力長度，總共會測試 120 次，也就是下列每一個表格只會用到一個空氣砲，所以這一輪測試只使用了九個空氣砲。

(風速單位：m/s；測量模式：AVG 平均風速)

	1個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.1	1.2	1.4	1.1	1.2	1.3	0.9	0.9	1.0	0.0	0.0	0.7
第二次	1.1	1.2	1.3	1.1	1.3	1.3	0.8	0.9	1.1	0.0	0.0	0.7
第三次	1.1	1.3	1.3	1.1	1.3	1.3	0.8	0.9	1.0	0.0	0.1	0.7
第四次	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.3	0.8	0.9	0.9	0.7	0.1	0.7
第五次	1.2	1.2	1.4	1.1	1.3	1.3	0.8	0.9	1.0	0.0	0.7	0.8
第六次	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	0.8	0.9	1.1	0.1	0.7	0.7
第七次	1.0	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	0.8	0.9	1.0	0.0	0.1	0.8
第八次	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	0.7	0.9	1.1	0.1	0.1	0.8
第九次	1.1	1.2	1.2	1.0	1.2	1.2	0.7	1.0	1.0	0.0	0.1	0.8
第十次	1.1	1.2	1.4	1.0	1.3	1.3	0.8	1.0	1.1	0.0	0.0	0.7

直徑 1 公分的洞和左列 1 個洞的空氣砲是一樣的，所以不重複測試。

	2個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第二次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第三次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第四次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第五次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第六次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第七次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第八次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第九次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第十次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	直徑2公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.5	1.6	1.5	1.2	1.3	1.4	0.8	0.9	1.0	0.0	0.0	0.8
第二次	1.4	1.5	1.6	1.2	1.4	1.4	0.8	1.0	0.9	0.0	0.8	0.8
第三次	1.5	1.5	1.5	1.2	1.3	1.4	0.9	1.0	1.0	0.0	0.0	0.8
第四次	1.4	1.5	1.7	1.2	1.2	1.3	0.8	1.1	0.9	0.0	0.7	0.8
第五次	1.5	1.7	1.6	1.2	1.3	1.4	0.7	1.0	1.0	0.0	0.1	0.7
第六次	1.4	1.6	1.6	1.2	1.3	1.4	0.7	1.0	1.0	0.0	0.1	0.8
第七次	1.4	1.5	1.5	1.2	1.4	1.4	0.9	1.0	1.0	0.0	0.1	0.8
第八次	1.4	1.6	1.7	1.2	1.3	1.4	0.9	0.9	0.9	0.1	0.0	0.8
第九次	1.4	1.5	1.7	1.2	1.3	1.2	0.8	1.0	1.1	0.0	0.7	0.8
第十次	1.4	1.5	1.6	1.2	1.3	1.3	0.1	1.0	1.0	0.0	0.1	0.8

	3個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.9	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.1
第二次	0.9	1.0	1.1	0.8	0.8	1.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.1
第三次	0.8	0.9	1.1	0.7	0.9	1.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.1	0.0
第四次	0.8	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.0	0.7	0.7	0.0	0.1	0.1
第五次	0.8	1.0	1.1	0.7	0.9	1.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
第六次	0.8	0.9	1.0	0.7	0.9	0.9	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0
第七次	0.8	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9	0.7	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0
第八次	0.8	0.9	1.0	0.1	0.9	1.0	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0
第九次	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
第十次	0.9	0.9	1.0	0.8	0.8	1.0	0.1	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0

	直徑3公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.1	1.4	1.4	0.8	1.1	1.2	0.1	0.1	0.7	0	0	0
第二次	1.1	1.2	1.4	0.9	1.2	1.2	0.1	0.7	0.1	0	0	0
第三次	1.2	1.3	1.4	0.9	1.1	1.3	0.0	0.1	0.8	0	0	0
第四次	1.2	1.3	1.3	0.9	1.2	1.2	0.1	0.1	0.8	0	0	0
第五次	1.2	1.2	1.4	0.9	1.1	1.1	0.7	0.7	0.8	0	0	0
第六次	1.3	1.2	1.3	0.9	1.1	1.2	0.1	0.7	0.8	0	0	0
第七次	1.2	1.2	1.4	1.0	1.1	1.3	0.7	0.7	0.8	0	0	0
第八次	1.2	1.3	1.4	0.9	1.1	1.2	0.1	0.1	0.8	0	0	0
第九次	1.2	1.3	1.4	0.9	1.2	1.2	0.0	0.0	0.9	0	0	0
第十次	1.3	1.3	1.2	0.9	1.1	1.2	0.0	0.7	0.8	0	0	0

	4個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第二次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第三次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第四次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第五次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第六次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第七次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第八次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第九次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第十次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	直徑4公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.8	1.0	1.1	0.0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0
第二次	0.9	1.0	1.1	0.0	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0
第三次	0.9	1.0	1.1	0.1	0.7	0.8	0	0	0	0	0	0
第四次	0.9	1.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0
第五次	0.9	1.0	1.1	0.0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0
第六次	0.9	1.0	1.0	0.1	0.7	1.0	0	0	0	0	0	0
第七次	0.8	0.9	1.0	0.0	0.1	0.9	0	0	0	0	0	0
第八次	0.9	1.0	1.1	0.0	0.7	0.8	0	0	0	0	0	0
第九次	0.9	1.0	1.1	0.0	0.1	0.9	0	0	0	0	0	0
第十次	0.8	1.0	1.2	0.0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0

	5個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.1	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
第二次	0.7	0.7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
第三次	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0
第四次	0.7	0.9	1.0	0.7	0.8	0.9	0.1	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0
第五次	0.1	0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
第六次	0.1	0.8	0.8	0.1	0.8	0.9	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
第七次	0.1	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
第八次	0.7	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
第九次	0.1	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0
第十次	0.7	0.8	0.8	0.1	0.8	0.9	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0

	直徑5公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.1	0.9	1.0	0.0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0
第二次	0.8	0.9	1.1	0.0	0.7	0.9	0	0	0	0	0	0
第三次	0.7	0.9	1.0	0.0	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0
第四次	0.8	0.9	1.0	0.0	0.7	0.7	0	0	0	0	0	0
第五次	0.8	0.9	1.0	0.0	0.1	0.9	0	0	0	0	0	0
第六次	0.7	0.8	1.0	0.0	0.7	0.8	0	0	0	0	0	0
第七次	0.7	0.8	1.0	0.0	0.7	0.8	0	0	0	0	0	0
第八次	0.8	1.0	1.0	0.1	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0
第九次	0.8	0.9	1.0	0.0	0.1	0.7	0	0	0	0	0	0
第十次	0.8	0.9	0.9	0.0	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0

(二)每一個空氣砲只測試 15 次，每測完一個放置位子、三種拉力長度就換一個空氣砲，也就是下列每一個表格會用到四個空氣砲，所以這一輪測試總共使用了三十六個空氣砲。

(風速單位：m/s；測量模式：AVG 平均風速)

直徑 1 公分的洞和左列 1 個洞
的空氣砲是一樣的，所以不重覆測試。

	1個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.1	1.2	1.4	1.1	1.4	1.4	0.7	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0
第二次	1.1	1.2	1.3	1.1	1.3	1.4	0.1	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0
第三次	1.1	1.3	1.3	1.1	1.3	1.5	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0
第四次	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.4	0.7	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0
第五次	1.2	1.2	1.4	1.2	1.3	1.4	0.7	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

	2個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第二次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第三次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第四次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第五次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	3個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.9	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0
第二次	0.9	1.0	1.1	0.8	0.9	0.9	0.1	0.7	0.8	0.0	0.0	0.1
第三次	0.8	0.9	1.1	0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	0.0	0.0	0.1
第四次	0.8	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0
第五次	0.8	1.0	1.1	0.8	0.9	0.9	0.1	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0

	4個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第二次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第三次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第四次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第五次	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	5個洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.1	0.8	0.9	0.1	0.7	0.9	0.1	0.7	0.7	0.0	0.1	0.0
第二次	0.7	0.7	1.0	0.8	0.7	0.9	0.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
第三次	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.8	0.0	0.1	0.7
第四次	0.7	0.9	1.0	0.8	0.8	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
第五次	0.1	0.8	1.0	0.8	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.0	0.0	0.1

	直徑2公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.5	1.6	1.5	1.3	1.4	1.5	0.9	1.1	1.2	0.7	0.8	0.9
第二次	1.4	1.5	1.6	1.2	1.3	1.6	1	1.1	1.2	0.1	0.8	0.9
第三次	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	0.9	1.2	1.2	0.1	0.8	0.8
第四次	1.4	1.5	1.7	1.3	1.4	1.6	1	1.1	1.1	0.8	0.8	0.8
第五次	1.5	1.7	1.6	1.3	1.4	1.5	1	1.1	1.2	0.1	1	0.9

	直徑3公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	1.1	1.4	1.4	1.1	1.2	1.4	0.1	0.9	1	0	0	0
第二次	1.1	1.2	1.4	0.9	1.2	1.4	0.1	0.8	1	0	0	0.1
第三次	1.2	1.3	1.4	1	1.2	1.4	0.8	0.8	1	0	0	0.1
第四次	1.2	1.3	1	1	1.3	1.4	0.1	0.8	1	0	0	0
第五次	1.2	1.2	1.4	1	1.2	1.3	0.8	0.8	0.9	0	0.1	0

	直徑4公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.8	1	1.1	0.9	1	1.2	0	0	0	0	0	0
第二次	0.9	1	1.1	0.9	1	1.2	0	0	0.1	0	0	0
第三次	0.9	1	1.1	0.9	1	1.2	0	0	0	0	0	0
第四次	0.9	1	1	0.8	1	1.1	0	0	0	0	0	0
第五次	0.9	1	1.1	0.9	1.1	1.2	0	0	0	0	0	0

	直徑5公分的洞											
儀器和砲口距離	5 CM			10 CM			15 CM			20 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
第一次	0.1	0.9	1.1	0	0.1	0.7	0	0	0	0	0	0
第二次	0.8	0.9	1.1	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
第三次	0.7	0.9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第四次	0.8	0.9	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
第五次	0.8	0.9	1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0

由上數據很明顯可以看出，我準備的風速計為迷你型，風葉只有 2.5 公分，小於 2 個洞和 4 個洞的空氣砲的洞距(4 公分)，導致測不出任何數據，而且空氣砲本身就小，威力也不大，無法有力的吹動風葉，所以數據也就不太準確，風速計不太適合用在這次實驗上。

八、使用砝碼測量推的力量

1 個砝碼為 1 公克，先測量氣球拉至 10 公分，測到無法移動才測量 15 公分，最後才是 20 公分(以下重量不含盛裝砝碼用小紙盒 7 公克)

氣球拉扯長度	1個洞			2個洞			3個洞			4個洞			5個洞			直徑2CM			直徑3CM			直徑4CM			直徑5CM		
	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
25公克	●			●			●			●			●			●			●			●			●		
26公克	●			●			●			●			●			●			●			●			●		
27公克	●			●			●			●			●			●			●			●			●		
28公克	●			●			●			●			●			●			●			●			●		
29公克	●			●			●			●			●			●			●			●			●		
30公克	●			●			●			●			●			●			●			●			●		
31公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
32公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
33公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
34公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
35公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
36公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
37公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
38公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
39公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
40公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
41公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
42公克		●		●			●			●			●			●			●			●			●		
43公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
44公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
45公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
46公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
47公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
48公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
49公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
50公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
51公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
52公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
53公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
54公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
55公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
56公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
57公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
58公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
59公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
60公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
61公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
62公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
63公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
64公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
65公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
66公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
67公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
68公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
69公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
70公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
71公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
72公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
73公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
74公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
75公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
76公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
77公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
78公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
79公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
80公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
81公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
82公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
83公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
84公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
85公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
86公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
87公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
88公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
89公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		
90公克			●	●			●			●			●			●			●			●			●		

由上數據可知，威力最大、可以推動最重砝碼的空氣砲還是 3 個洞和直徑 2 公分的洞。

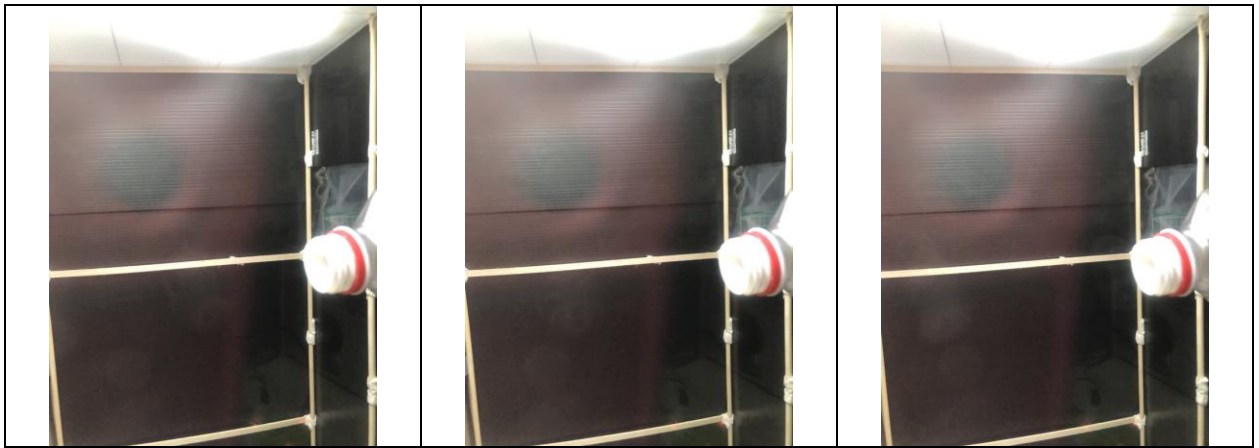
九、模擬電梯內飛沫噴散的狀態

原本打算在密閉箱裡用空氣砲模擬在電梯裡打噴涕後飛沫在空氣中飛散情形，我在空氣砲裡加了顏料水，結果射擊後，噴出來的水只有弄濕正前方的透明膠片留下水漬，飛沫飛散情形完全看不出來，我又改放亮片粉在空氣砲裡，結果亮片粉又太重，一噴出去就掉落，也沒有飛散情形，因為一直無法成功觀察到，所以改成觀察衛生紙屑噴飛情形，增加一些娛樂性。

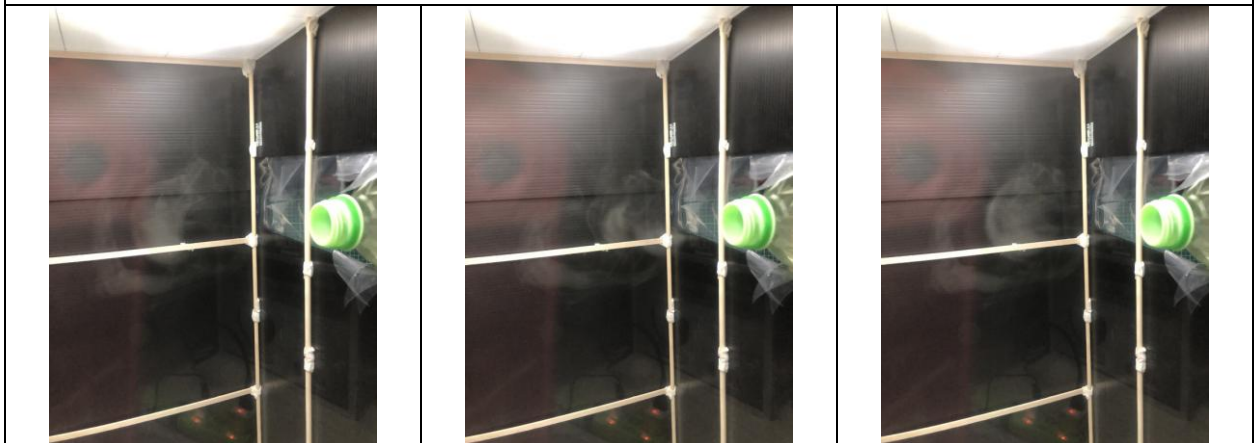


(因為這裡的實驗有用到水、還有用到拜拜的香，衛生紙筒的空氣砲不適合水，用香又怕燒到，所以改用寶特瓶製作空氣砲)

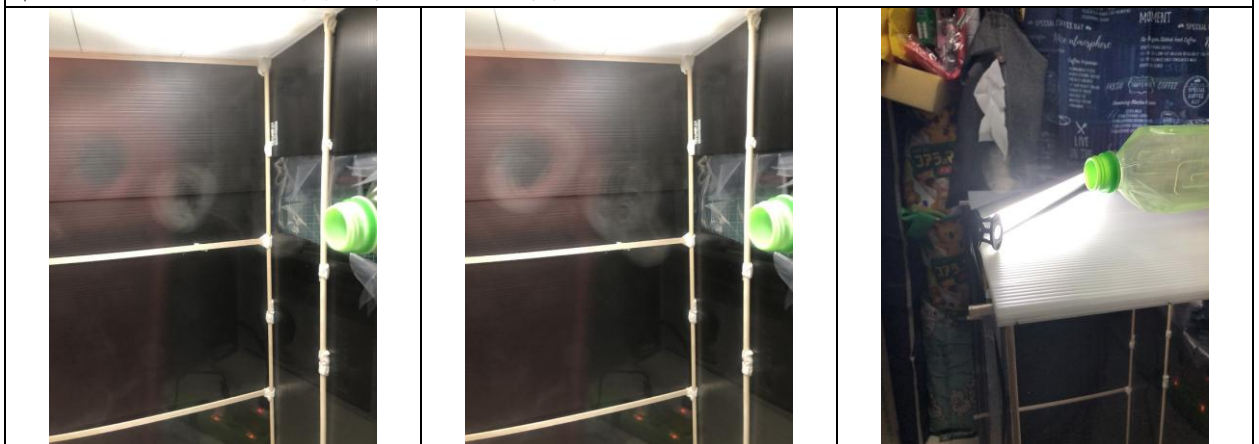
後來我拿拜拜用的香插入寶特瓶內收集煙霧，可以用來觀察煙圈



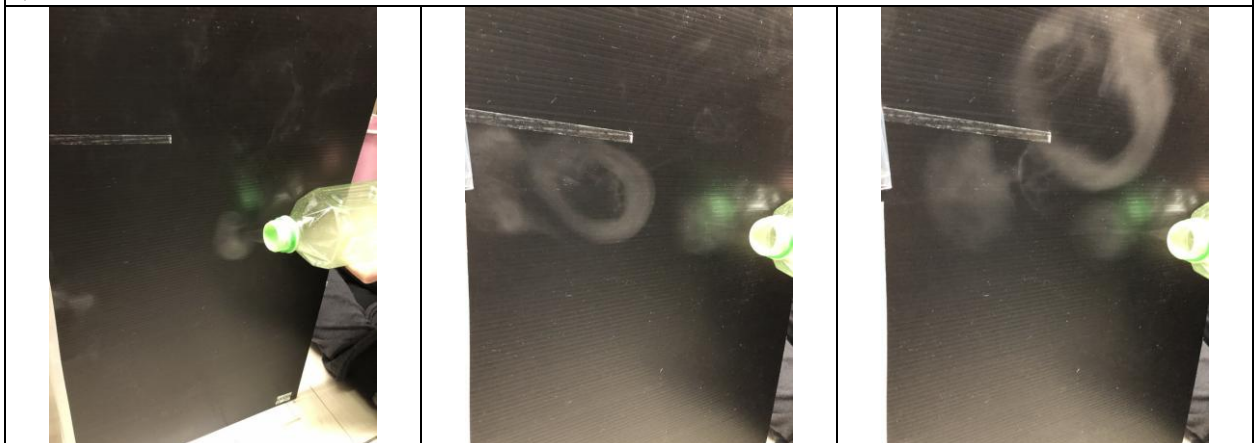
↑ 一開始收集的煙太少，噴射出來的煙圈非常不清楚(上圖真的有煙)



↑ 太過於用力發射，噴出來的煙無法形成好看的煙圈



↑ ↓ 慢慢抓到訣竅後，可以開始做出比較圓的煙圈



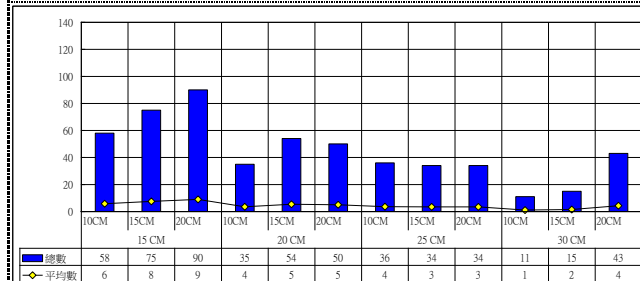
伍、討論

一、統計

(一)紙片實驗

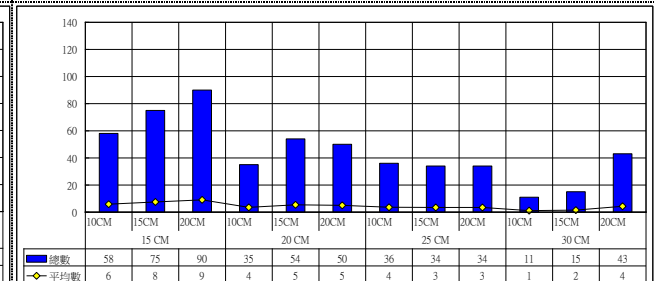
1. 砲口洞數

(1)一個洞

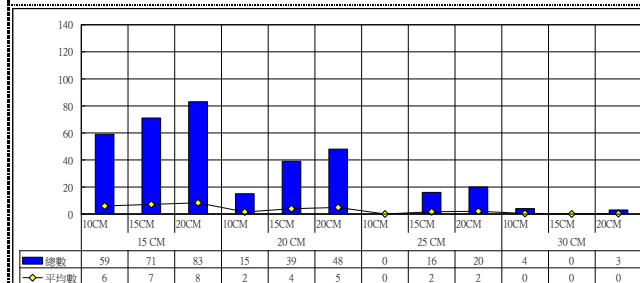


2. 砲口洞的直徑

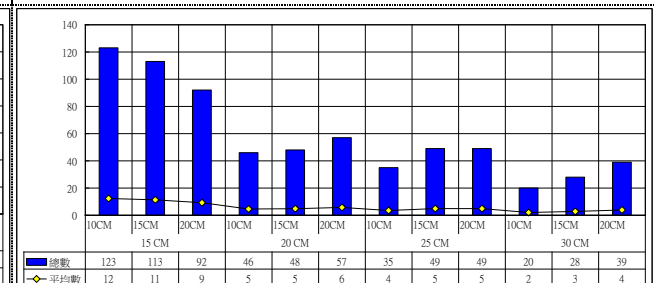
(1)一公分



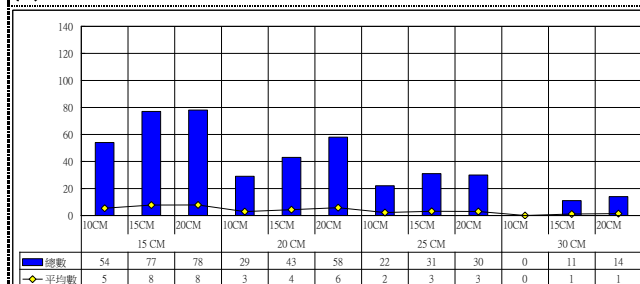
(2)二個洞



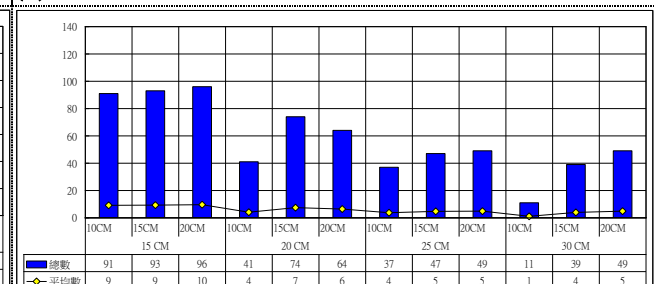
(2)二公分



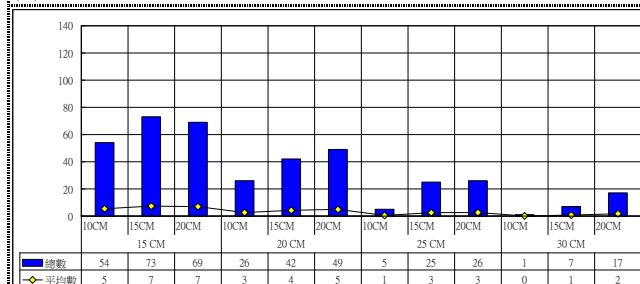
(3)三個洞



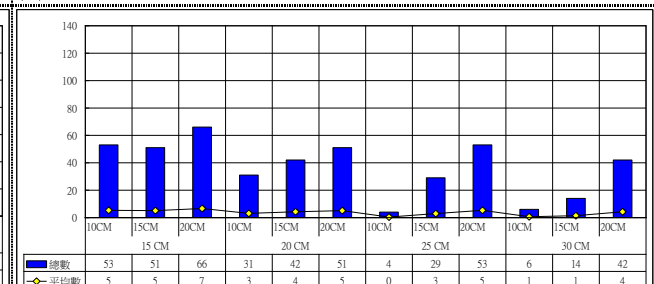
(3)三公分



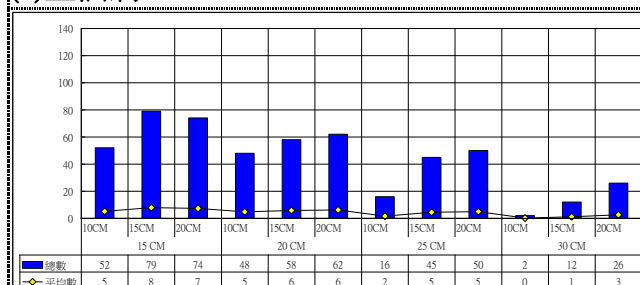
(4)四個洞



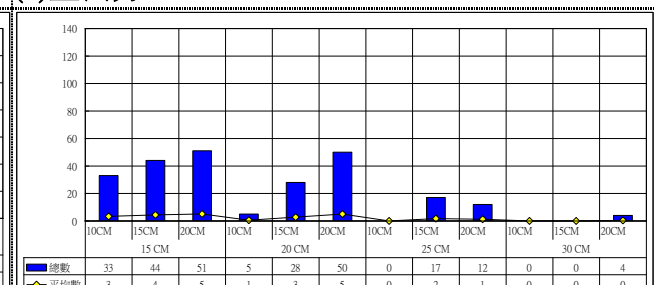
(4)四公分



(5)五個洞



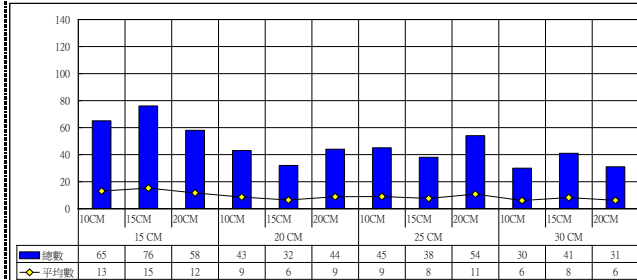
(5)五公分



(二)蠟燭實驗

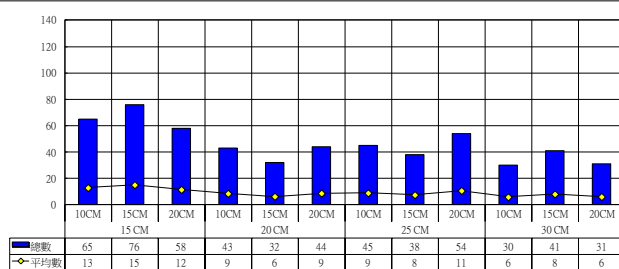
1. 砲口洞數

(1)一個洞

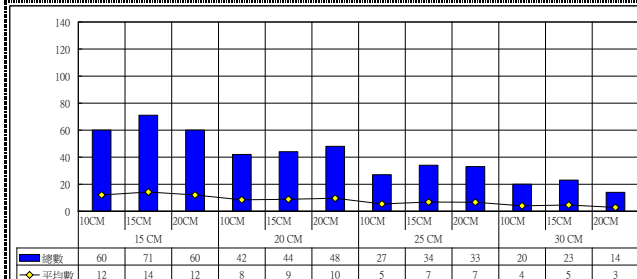


2. 砲口洞的直徑

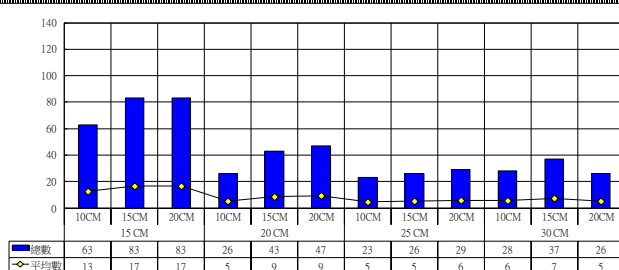
(1)一公分



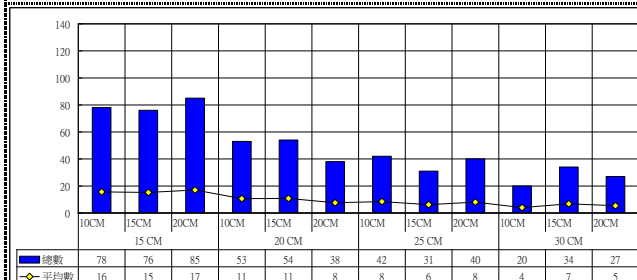
(2)二個洞



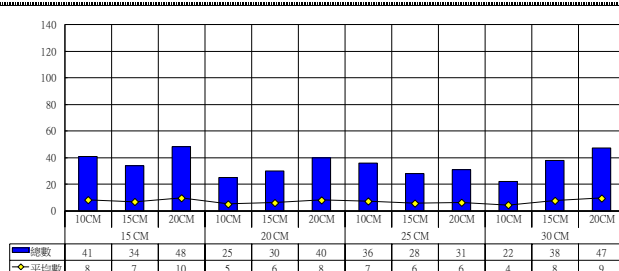
(2)二公分



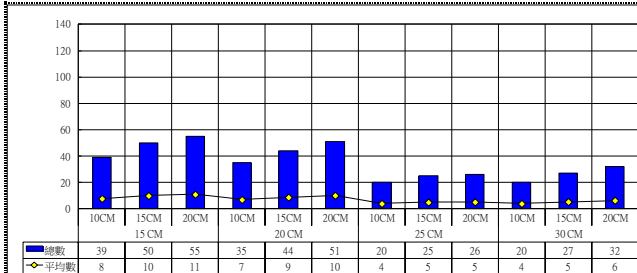
(3)三個洞



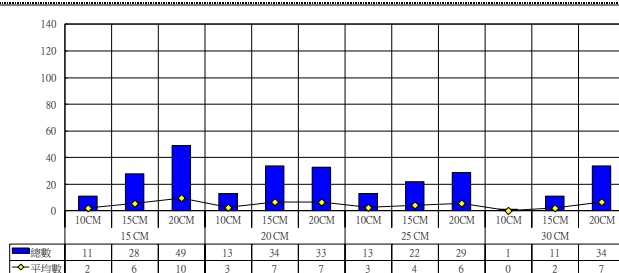
(3)三公分



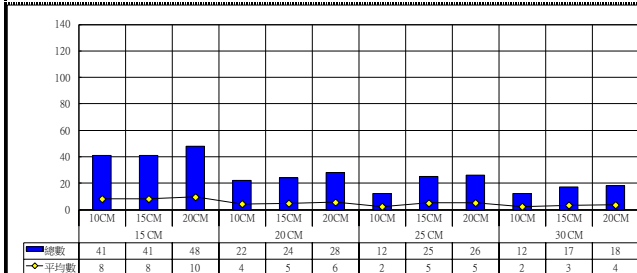
(4)四個洞



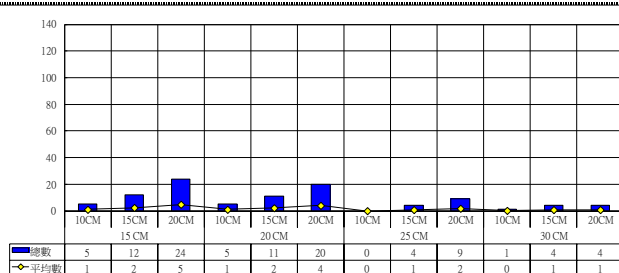
(4)四公分



(5)五個洞



(5)五公分



(三)拉力、風速、衝力

1. 拉力

砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
平均	0.942	1.200	1.477	0.700	1.015	1.164	0.669	0.917	1.180	0.655	0.954	1.198

上方的平均數據是只使用一個空氣砲完成測試，下方的平均數據則是使用了四個空氣砲(1 個砲口放置位子使用一個空氣砲)測試。(詳細數據請見肆、六)

砲口放置位子	15 CM			20 CM			25 CM			30 CM		
氣球拉扯長度	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM	10CM	15CM	20CM
平均	1.069	1.274	1.658	1.190	1.715	2.083	1.217	1.693	1.871	1.192	1.569	1.952

從二個表格可以看出，若實驗過程沒有更換空氣砲，操作完一整輪實驗後，氣球的拉力就會越來越小，和有更換新的空氣砲相比，拉力還是有差別的。

2. 風速

風速計小，空氣砲的威力也不大，測出來的數據過小甚至為 0，所以風速的數據僅供參考。

3. 推的力量(單位：公克，不含盒子 7 公克)

和前面的蠟燭實驗結果一致，力量最大的還是 3 個洞和直徑 2 公分的空氣砲。

空氣砲 氣球長度	1個洞	2個洞	3個洞	4個洞	5個洞	直徑2CM	直徑3CM	直徑4CM	直徑5CM
10CM	30	31	46	28	32	50	42	27	25
15CM	42	47	52	48	46	62	52	38	25
20CM	50	62	67	51	49	90	75	49	27

二、問題&解決方式

(一) 因為疫情的關係，我選擇自己一個人做實驗，並請家人幫忙協助，例如道具製作的切割(動用刀片、圓規刀)、蠟燭的點燃(動用打火機)、衛生紙筒的收集(家用的紙筒通常直徑比較小、紙板也比較薄而軟，商用的紙筒直徑比較大且又厚又硬，比較適合拿來做空氣砲，所以紙筒是從家人的工作場所收集而來)等。

(二) 原本一開始想到要拿衛生紙筒來做空氣砲時，是只準備實驗蠟燭，但測試空氣砲後，發現威力沒有想像中那麼大，擔心蠟燭會滅不掉，所以就改成射擊小紙片，可是開始實驗後，卻又發現，準備的紙片太輕了(只有 0.5 公克)，幾個比較近距離的射擊，前排的紙片都會被射飛，翻到後排去，而且被射飛的紙片還會打到後排的紙片，導致無法確定紙片是被射飛的？還是被打到的？反而影響了數據的統計，所以在紙片實驗全部完成後，又再一次重新操作蠟燭實驗。

(三) 開始製作空氣砲時，在砲口的部份，有選用了幾種紙材來測試，有丹迪紙、雲彩紙、粉彩紙、200P、120P、80P、70P，測試幾次過後，發現越厚的紙質反而破的越快，無法撐過太久、太多次的實驗，所以最後選擇平常就會使用到也比較容易取得的 80

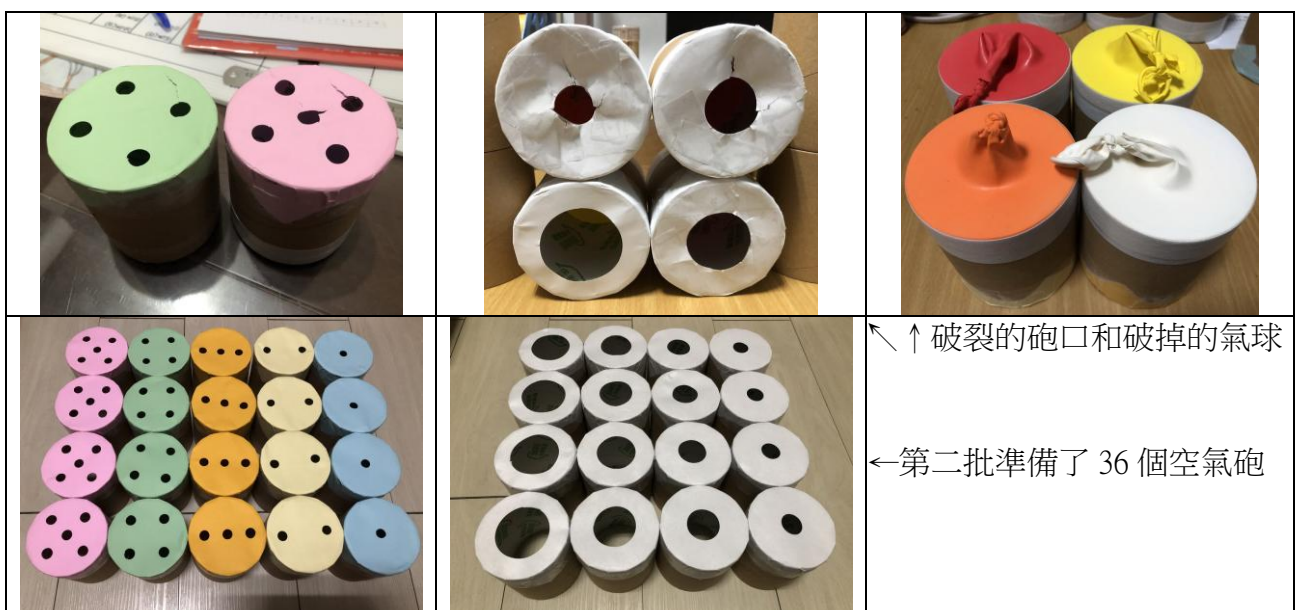
磅影印紙。

一開始我是只有準備 10 個空氣砲(一個洞、二個洞、三個洞、四個洞、五個洞、1 公分洞、2 公分洞、3 公分洞、4 公分洞、5 公分洞，各一個)，但我從紙片實驗開始操作後發現，每一個空氣砲都要射擊 120 次(四種距離、三種拉力、各 10 次)，射擊到某個階段後，砲口就會開始破裂(如下圖示)，而且洞數越多破得越快，小裂縫時還可以用膠帶補一下，但做越久破越大，就要重做一次砲口，反而影響了統計數據。

後來換做蠟燭實驗時，我重新準備了 36 個空氣砲(五種洞數、四種直徑都各準備 4 個，如下圖示)，應付四種距離使用，一種距離射擊完畢就換一個空氣砲，因為蠟燭實驗操作記錄五次，每一個空氣砲只會射擊 15 次，所以砲口就不會破掉，數據就會比較完整。

另外，原本蠟燭實驗我也準備各操作、記錄 10 次，我也準備好了 600 顆酥油小蠟燭備用，但在實驗完一個洞、二個洞，將近快 200 次時，因為實驗過程中，怕有風會吹熄蠟燭，所以無法開電風扇也無法開冷氣，就發現客廳都是煙霧，溫度又高，而且酥油的味道很重散不掉，聞久了頭會暈，所以後來就決定後續所有蠟燭實驗都只操作、記錄 5 次，以加快實驗的速度。

(四) 除了砲口會破裂外，發射端的氣球也會破(如下圖示)，一開始我在準備第一批 10 個空氣砲(紙片實驗)時，是把所有的氣球都套好、黏好並將吹口也綁好備用，但一輪實驗下來，氣球在被拉扯 120 次的過程中會漸漸出現破洞，到後段甚至氣球會斷裂，而且紙片射擊次數太多，分成二個禮拜完成，結果綁好的氣球多放了一個禮拜，漸漸開始氧化變成脆弱更容易破，就要套新的氣球，造成拉力不同，數據也會不太準確。



所以我在準備第二批的 36 個空氣砲(蠟燭實驗)時，氣球就沒有一次全套上，一次實驗多少空氣砲，就套多少個氣球，分批套氣球，可以減少氣球破裂，而且蠟燭實驗是一個空氣砲只會實驗 15 次，所以也減少了氣球拉扯次數，氣球就不再破裂，增加統計數據的正確性。

- (五) 蠟燭部分，在實驗過程有時候會發現，空氣砲射擊後，明明蠟燭已熄滅，但正要統計時，蠟燭又悄悄自行點起來，造成統計上的混亂，後來我決定，只要射擊後，眼睛有看到已熄滅的蠟燭，一律都要計算進去。
- (六) 拉力部分，因為我只使用單一種材料-氣球做為後方拉力，雖然我準備的氣球都是同一廠牌，氣球尺寸、長度也都一致，但氣球的彈性還是無法都一樣，拉力有大有小很難控制到一模一樣，唯一能做的就是一個氣球不能操作太多次實驗，才能防止氣球彈性疲乏導致拉力越來越低的可能性。
- (七) 風速部分，我準備的風速計是迷你型的，測量的風葉直徑只有 2.5 公分，所以在測量過程中可以發現，在測試二個洞和四個洞時，因為這二種空氣砲的洞距有 4 公分寬，大於測量風葉，所以測試二個洞和四個洞時，都無法測出風速，顯示為 0，而且一開始規劃是準備二個風速計，一個放在靶座前端，一個放在靶座後端，打算測量前排和後排的風速，但幾次測試皆無法得到數據，因此放棄並拉近風速計距離砲口的距離，另外，雖然拉近了距離，我在風速計的測量模式上選擇了最大風速時，也完全得不到數據，後來改用平均風速模式才勉強得到了一些數據，但從前述表格可知，有出現的風速數據皆很小，幾乎沒有超過 1.5m/s 的，有此可知，迷你風速計不太適合拿來測試小型空氣砲，數據僅供參考。
- (八) 推力部分，我是準備推動古氏數棒砝碼以測量能推動公克數，但古氏數棒砝碼太小只有 1 公分，在空氣砲發射時可能會有對不準的可能性，而且砝碼是 1 顆 1 顆往上加，為了讓砝碼受力一致，所以另外準備了一個寬度和空氣砲直徑相近的小紙盒來盛裝砝碼(紙盒重量只有 7 公克)，而且放置砝碼時也一定要往紙盒前端集中，以免重量不平均，影響到測量出來的數據。
- (九) 在模擬電梯內飛沫噴散情形部分，原本規劃是在密閉箱內射擊裝了顏料水的寶特瓶空氣砲，模擬在電梯內打噴涕後飛沫噴散情形，但實驗結果發現，就跟人打噴涕毫無遮掩噴了正前方一臉口水一樣，空氣砲射擊後也只會留在密閉箱前面留下一片水漬，飛沫噴散情形用肉眼都很難看出來，後來我又在寶特瓶空氣砲裡改裝亮片粉，希望能觀察到飛散情形，結果亮片粉又太重，發射後連飛散都沒有就掉落，只在地面留下一片亮粉，所以亮片粉也不適合這項實驗。

(十) 在觀察煙圈部分，因為我是使用拜拜的香而且是環保香，收集的煙霧無法像煙餅形成的煙一樣濃，所以一開始打出來的煙圈很不明顯，後來在收集煙霧時，只能多點幾次香多灌幾次煙在寶特瓶裡才能達到效果；另外，在射擊產生煙圈時，後方拉力也不能過大，太大力，煙就直接衝出，無法形成漂亮的煙圈，只能慢慢拉慢慢放，煙圈就會比較圓比較明顯。

陸、結論

衛生紙筒做成的砲筒不大，威力無法和紙箱比，但經由實驗還是可以發現：

一、在孔洞數量方面(1 個洞、2 個洞、3 個洞、4 個洞、5 個洞)

本來以為洞數越多，威力會越大，但經過實驗數據發現，蠟燭熄滅最多的都落在 3 個洞，然後是 1 個洞、2 個洞，反而是洞數比較多的 5 個洞、4 個洞因為洞多、力量分散，所以熄滅的蠟燭反而比較少。

二、在孔洞直徑方面(1 公分、2 公分、3 公分、4 公分、5 公分)

本來以為洞越大，威力也會大，結果正好相反，實驗數據顯示，直徑比較小的 1 公分和 2 公分可以熄滅比較多的蠟燭，反而是直徑很大的 5 公分、4 公分和 3 公分，因為洞太大了，空氣都跑掉，力量無法集中，就無法熄滅很多的蠟燭。

三、在放置距離方面(15 公分、20 公分、25 公分、30 公分)

從所有數據可以看出，當然是距離最近的 15 公分，威力最大，可以熄滅的蠟燭最多，有時力量太大，甚至還會把蠟燭整個給吹翻；而距離最遠的 30 公分，距離太遠，有很多次都熄不掉蠟燭，數據登記為零。

四、在發射長度方面(10 公分、15 公分、20 公分)

從所有數據可以看出，當然是把氣球拉到最長的 20 公分，可以累積最多的空氣，威力最大，可以熄滅的蠟燭越多；而拉得最短的 15 公分，若再搭配上距離最遠的 30 公分，那威力最小，距離又太遠，很容易熄不掉蠟燭，數據登記只有零。

五、測試熄滅 25 顆蠟燭的秒數

為了增加實驗的樂趣，我做了測秒的實驗，結果發現，25 顆蠟燭，在使用 1 個洞、2 個洞、3 個洞時，都可以很快速的將蠟燭滅掉，但使用 4 個洞、5 個洞時，雖然洞數比較多，但太分散，反而無法集中力量，也無法對準蠟燭位子，拉長了熄滅蠟燭的秒數，實驗過程中甚至有幾次一直無法順利滅掉所有蠟燭而中斷實驗。

六、滅一直排 10 顆蠟燭

我將 10 顆蠟燭排一直線，從放置砲口的位子到最後一顆蠟燭的位子長度大約只有 40 公分左右，不論是使用幾個洞的空氣砲，也不論是氣球是拉至幾公分，都無法一次將一直線 10 顆蠟燭一次全滅掉。

七、在筒身長度的方面(1 筒長、2 筒長、3 筒長)

因為單一紙筒的長度和直徑都一樣大，為了增加變化，我連接二個紙筒和三個紙筒，加長了空氣砲筒的長度，但因為直徑不變，雖然長度變長了，可是砲筒太窄又太長，而且

氣球拉扯的長度也沒有等比例增加，反而無法累積更多的空氣，從數據看來，並沒有增加多少威力，熄滅掉的蠟燭數量還滿相近的。

八、在拉力方面

因為我一開始選用發射空氣砲的材料只有單一種氣球，而氣球的彈性不一，我唯一能控制的就是單一顆氣球不可以拉扯太多次，拉扯越多次，氣球彈性越疲乏，拉力就越小，空氣砲的威力也就越小。

九、在風速方面

從前面實驗可知，風速計不適合用在本次實驗上。

十、在推動砝碼的力量方面

我是實驗 1 個洞、2 個洞、3 個洞、4 個洞、5 個洞和直徑 2 公分、3 公分、4 公分、5 公分的洞的空氣砲，由前面實驗數據可知，和上述一、二實驗一樣，力量最大的還是 3 個洞和直徑 2 公分的洞，並不會因為洞比較多或洞比較大就產生比較大的力量。

十一、最後在密閉箱模擬電梯內打噴涕飛沫噴散方面

在這 COVID-19 疫情仍嚴峻的期間，原本是希望藉由這項實驗，模擬出密閉電梯裡的最佳站位，但實驗結果顯示，只能觀察到噴出後留下的水漬卻無法看到飛沫飛散的情形，飛沫顆粒很小肉眼看不見，我們無法預設飛沫會在空氣裡如何飛散，所以打噴涕時一定要遮掩，尤其是要把口罩戴好戴滿，才能擋住肉眼看不見的小病菌。

如前所述，因為我從一開始規劃就只有使用單一尺寸的衛生紙筒製作空氣砲，所以我只能在砲口和拉力上作變化，而拉力上我又只用單一種材質的氣球，所以在氣球的拉扯數次上是越少越好，而由所有數據得出，砲口洞數 3 個和直徑 2 公分的空氣砲威力最大(並非洞越多越好，也非洞越大就是力量大)。

柒、參考資料及其他

- 一、臺北市新興自造教育及科技中心－教師：王予豪。「新興科技中心-110 暑期科技教育營隊-自製紙箱空氣砲」上課講義。(講義是放在酷課雲由上課學生自行下載上課使用，沒有實際連結點)
- 二、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。空氣砲彈。取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-001.html>
- 三、空氣砲筒的秘密。嘉義縣第 61 屆中小學科展作品-國小組。取自 https://science.cyc.edu.tw/science/pub/workmerge_sg.php?q_year=110&s_no=180
- 四、隱形的子彈-空氣砲。嘉義市第 37 屆中小學科展作品-國小組。取自 <http://cyjesf.eduweb.tw/cyjesf37/Upfile/final/隱形的子彈-空氣砲.pdf>
- 五、薛羽硯、莊詠晴、林靖恩。空氣炮的密碼。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會國小組作品說明書。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-080108.pdf>