

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

第二名

080115

真不是蓋的，誰能比我會飛！

學校名稱：臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者： 小五 余書百 小五 賴禹婕 小四 陳伯書 小四 張聿廷	指導老師： 戴郁奇 陳昱勳
---	---------------------

關鍵詞：刻紋間距、空氣浮力、攻角

摘要

盤緣的刻紋間距真的會影響塑膠蓋飛行距離嗎？經過我們實驗測試證明，**答案是肯定的**。第 59 屆中小學科學展覽會作品—**變化多端的瓶蓋棒球**，**評審評語**提到兩點：

- 1、挑選大、中、小瓶蓋後，有**確認瓶蓋大小不同**，**刻紋間距**、**材質是否相同**？
- 2、人為發射會有許多誤差，若能**設計簡易旋轉發射機會更佳**。

利用**設計的塑膠蓋自動發射器**來測試，可以把**每次塑膠蓋發射出去力道的變數影響降低**。理論上物體在做**水平拋射運動**，**初速度會決定它運動後距離的遠近**。為什麼**塑膠蓋會飛得這麼遠**？這是因為塑膠蓋多了「**空氣浮力**」這個因素可以支撐它飛行。

壹、研究動機

曾經有好幾天連續下著雨，戶外一片溼答答的，所以不能去操場打球，走廊便成了大家的遊戲場。我們把塑膠蓋放在地上踢，如果能攻破對方的防線就算得分，在踢塑膠蓋的過程中，塑膠蓋有時會翻滾，但有時竟然會飛起來。我們發現**踢到塑膠蓋的側邊會讓它旋轉**，而且如果角度踢對了，**旋轉中的塑膠蓋便會短暫飛起來**，雖然飛行的距離並沒有很遠，但是這個短暫的飛行現象激發了我們的研究興趣，跟隊員和老師討論後，「**如何讓塑膠蓋可以飛最遠**」就成了我們這次研究的主題。



圖 1-1：踢塑膠蓋側邊的角度對了，它便會旋轉飛起來。

貳、研究目的


放在地上的塑膠蓋如果角度踢對了，它竟然會旋轉飛起來。是什麼力量可以讓它飛起來呢？我們**利用電鑽機設計了一台塑膠蓋自動發射器**，觀察塑膠蓋的外觀構造，手動和**3D 列印**來改變影響塑膠蓋飛行的各種條件來測試。

- 研究一、**不同重量**塑膠蓋對飛行距離遠近的影響。
- 研究二、刻紋數目和**刻紋間距**是否會影響飛行距離？
- 研究三、盤緣**刻紋深度**和飛行距離的關係。
- 研究四、塑膠蓋的**盤內深度**會不會影響飛行距離遠近？
- 研究五、**盤面直徑不一樣**的塑膠蓋飛行比較。
- 研究六、改變**藍色塑膠蓋發射角度**的飛行情形。

參、研究設備及器材

一、設備器材

表 3-1-1：各式實驗器材

			
自動發射器	雷射切割機	水平儀	3D 列印機
			
游標卡尺	市售塑膠蓋	3D 列印塑膠蓋	自製距離量尺
			
電子磅秤	攻角量角器	高階手機	FDR-AX700 高速攝影機

二、輔助軟體：Autodesk、Excel、威力導演 18

三、塑膠蓋自動發射器設計製作過程

表 3-3-1：塑膠蓋自動發射器設計與改良

第 1 代		我們把電鑽機直立，利用膠輪和木板軌道把塑膠蓋發射出去。而盤面軌道為 1/4 圓周長，雖然塑膠蓋有被發射出去，但距離大約 105cm，並沒有飛行的感覺。
第 2 代		利用方格紙來設計、定位並量測各部位。構造圖，盤面軌道黏貼防撞膠條以增加摩擦力，增長木板軌道到 1/2 圓周長，側邊裝月亮觀測器概念的攻角量角器。

第 3 代



第 2 代軌道用電鋸切割，木板圓周面不太平整，塑膠蓋飛行有時會偏離直線軌道。利用 AUTODESK 精準定位與雷射切割機，大大提高塑膠蓋飛行穩定性。

1、塑膠蓋自動發射器各部位的構造介紹。

2、以下所有塑膠蓋飛行實驗，都是以這一台自動發射器來測試。

膠輪旋轉發射塑膠蓋



攻角角度量角器



自動發射器



發射器正面



控制旋轉方向
(逆時針旋轉)

轉速調整鈕

電源開關鈕



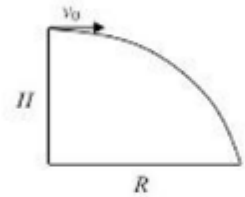
持續旋轉
固定鈕

四、塑膠蓋的飛行原理：水平拋射運動

表 3-4-1：重力場裡的水平拋射，是單純的水平拋射，沒有空氣浮力或其他力量的作用。

H = 高度 g = 重力加速度 = 9.8m/s^2 t = 物體從發射到著地的時間

$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad \therefore t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$



1、確定高度，便可算出理論性的飛行時間是 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，可是實際飛行時間如果大於 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，那麼代表塑膠蓋在飛行時就有「空氣浮力」的作用。

飛行距離 $R = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$

初速度

2、接著繼續算出發射出去時的初速度，可計算理論距離 $R = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，如果實際飛行距離大於 $v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，那麼就更進一步證明塑膠蓋在飛行時有「空氣浮力」的作用。

實心塑膠塊：重量 47.55 公克、直徑 6.5cm、寬度 1.2cm

上下都密封 發射高度 1.25m

理論落地時間 0.505 秒，
用慢動作錄影測量到
落地時間是 0.50 秒。

平均 2.977 m



空心塑膠塊：重量 14.60 公克、直徑 6.5cm、寬度 1.2cm

上下都密封 發射高度 1.25m

理論落地時間 0.505 秒，
用慢動作錄影測量到
落地時間是 0.50 秒。

平均 3.844 m

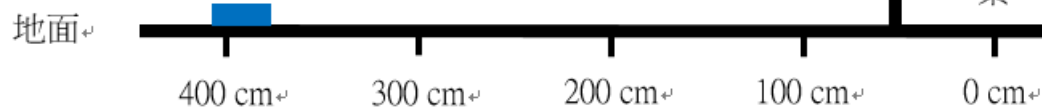


圖 3-4-1：塑膠塊飛行示意圖

- 1、FDR-AX700 高畫質數位攝影機的高速攝影，影片錄影 1 秒鐘有 960 張照片，可以將影片放慢 40 倍，進而計算出從飛行到落地的時間長度。
- 2、高速錄影實心和空心塑膠塊飛行 10 次，然後計算它們平均飛行時間，兩種飛行時間平均都是接近 0.50 秒。

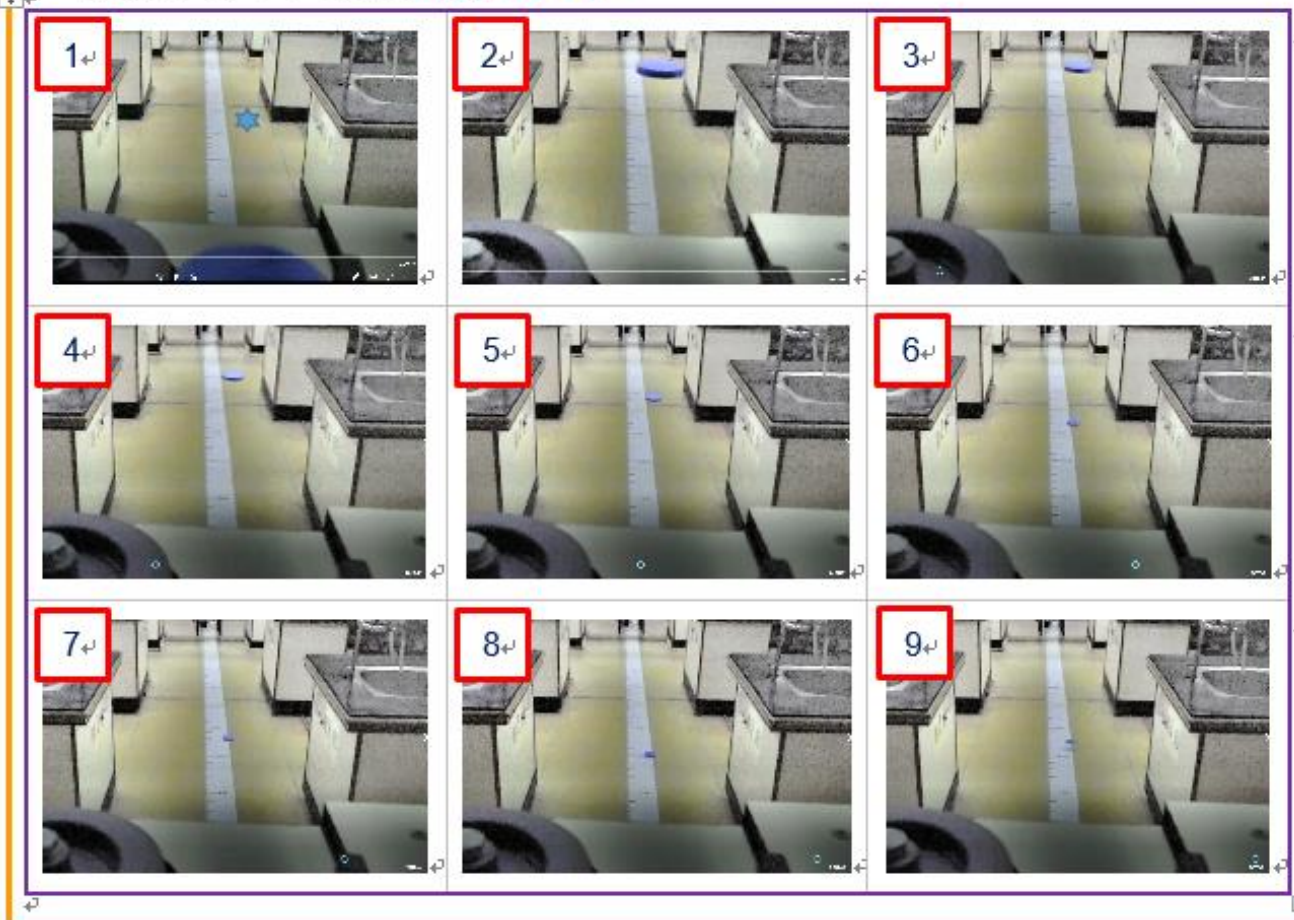


圖 3-4-2：塑膠塊慢動作飛行分析圖

表 3-4-2：利用電鑽機轉動動能來證明質量與初速度的關係

$$\therefore R = V_0 t \quad \therefore V_0 = R \div t$$

實心塑膠塊

$$V_{0 \text{ 實}} = 2.977 \text{ m} \div 0.505 \text{ s} = 5.895 \text{ m/s}$$

空心塑膠塊

$$V_{0 \text{ 空}} = 3.844 \text{ m} \div 0.505 \text{ s} = 7.612 \text{ m/s}$$

數據呈現 $V_{0 \text{ 空}} > V_{0 \text{ 實}}$ 空心塑膠塊的初速度比較大

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

E_k = 電鑽機提供的動能

m = 質量

v = 初速度

實驗結論：因為電鑽機提供的動能都是一樣，根據動能公式可再次證明，質量大的、初速度小；質量小的、初速度大。

肆、實驗過程與方法

一、使用電鑽機當動力的塑膠蓋發射器，進行的實驗限制有：

- (一)使用慢動作錄影設備，我們觀察到有些塑膠蓋會有被擠壓的情形，它被擠壓的程度是我們無法控制的變因。
- (二)電鑽機的轉速會隨著使用時間的長短而有所變化。

二、研究一：不同重量的塑膠蓋對飛行距離遠近的影響。

(一)在五金行買到兩種直徑 6.5cm，盤內深度是 1.0cm，不同重量的白色和紅色塑膠蓋。

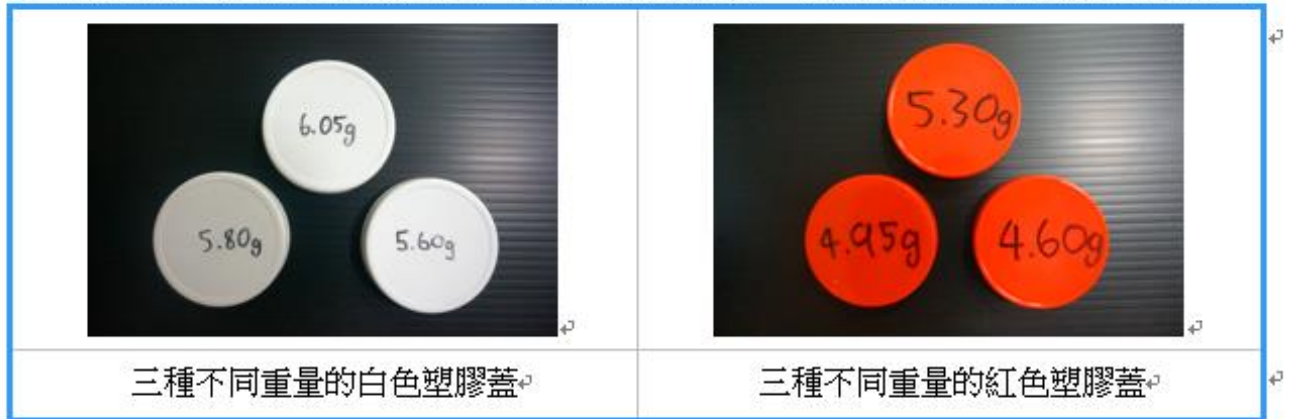


圖 4-2-1：形狀外觀、盤面直徑和盤內深度相同的塑膠蓋。

(二)進行實驗測試時，把自然教室裡的門窗緊閉而且不開空調風扇，利用塑膠蓋自動發射器、錄影設備、捲尺和自製量尺來量測塑膠蓋飛行的距離。



圖 4-2-2：測試塑膠蓋飛行的場地

(三)開啟電鑽機帶動膠輪並且持續旋轉，測試並記錄塑膠蓋飛行 20 次數據，最小單位取到公分，去除最多和最少極端值數據各 2 次，有效數據總計 16 次並加以平均，四捨五入到小數點第一位，以下所有飛行實驗都以這樣的模式來測試。

三、研究二：刻紋數目和刻紋間距是否會影響飛行距離？

(一)盤緣的**刻紋數目**和**刻紋間距**是否會影響飛行距離的遠近，我們把重量相差 1.00g 的**白色(144 齒、5.60g)**和**紅色(180 齒、5.30g)**塑膠蓋拿來做飛行距離測試。



圖 4-3-1：刻紋數目不同、間距寬度也不一樣。

(二)用圓規刀切割圓形的卡典西德貼紙，貼在塑膠蓋的盤面上，**盡量不要改變塑膠蓋的外觀**，幫紅色(5.30g)的塑膠蓋加卡典西德貼紙(0.30g)到跟白色 5.60g 一樣重。



圖 4-3-2：把紅色增加到跟白色相同重量。

(三)開啟電鑽機帶動膠輪持續旋轉，測試並記錄塑膠蓋飛行 20 次數據，去除最多和最
少極端值各 2 次，**有效數據總計 16 次並加以平均**，四捨五入到小數點第一位。

(四)把白色和紅色塑膠蓋盤緣貼上一層透明膠帶，**讓塑膠蓋被發射時比較不會受到齒緣刻紋的影響**，而兩種塑膠蓋都各增加 0.10g，到 5.70g，利用塑膠蓋自動發射器重複實驗，一測試塑膠蓋飛行的步驟。



圖 4-3-3：盤緣用膠帶把刻紋貼掉。

四、研究三：盤緣刻紋深度跟飛行距離的關係。

- (一)在實驗二裡我們證明了刻紋數目會影響塑膠蓋飛行的距離，但是盤緣刻紋的深度是否會影響飛行距離的遠近呢？
- (二)利用 Autodesk 軟體程式來設計塑膠蓋圖形的尺寸，規格是直徑 6.5cm，盤緣刻紋數目都是 60 齒，而刻紋深度分別有 0.5mm、1.0mm 和 2.0mm，最後搭配 3D 列印機來印出我們要實驗的塑膠蓋規格。
- (三)因為三種不同盤緣刻紋深度塑膠蓋的重量並不相同，所以用卡典西德貼紙增加到一樣重(8.40g)，重複實驗一測試塑膠蓋飛行的步驟。

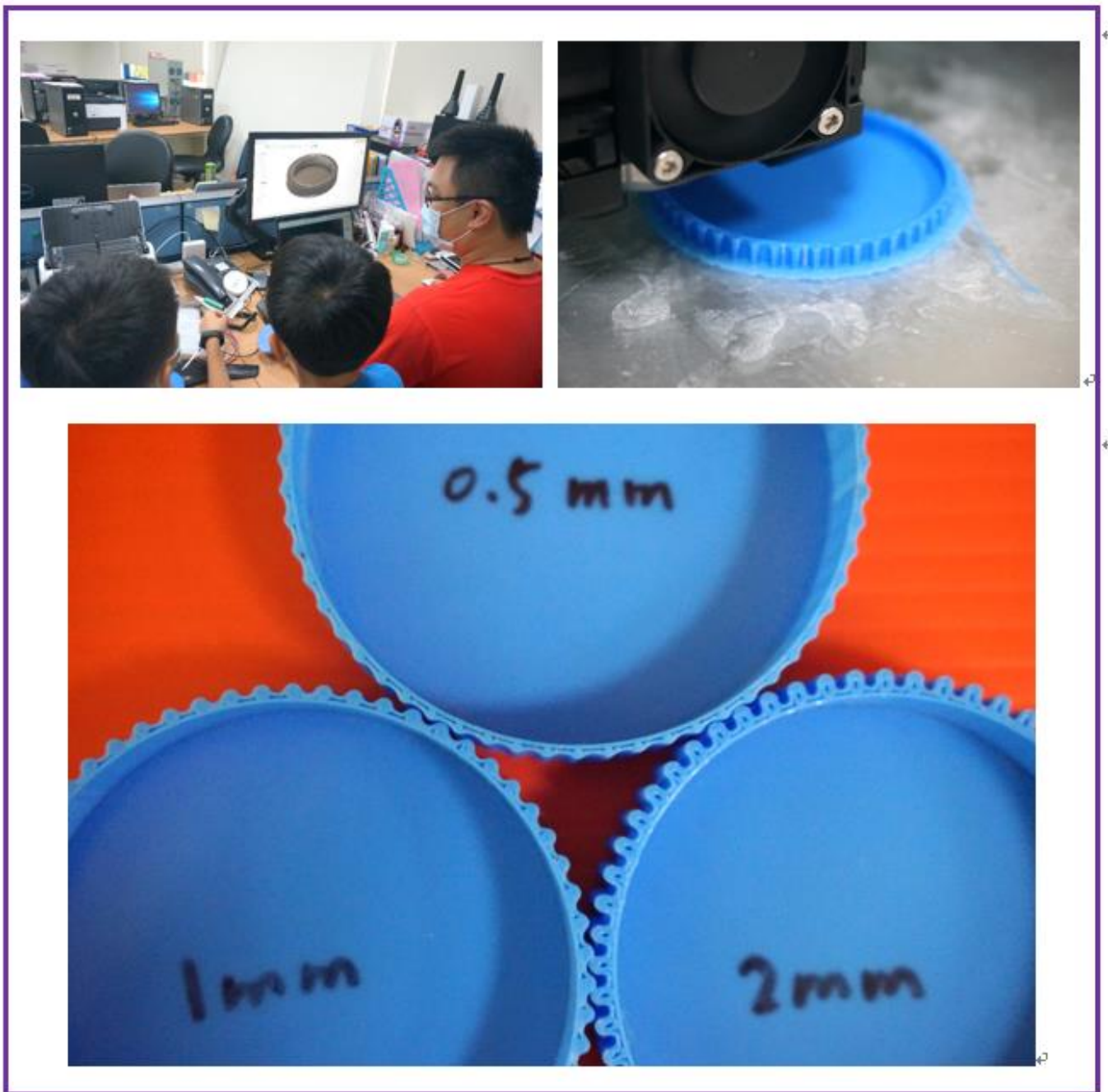


圖 4.4-1：不同的盤緣刻紋深度

五、研究四：塑膠蓋的盤內深度會不會影響飛行距離遠近？

(一)盤內深度 1.0cm 的塑膠蓋飛行距離平均是 540.7cm，**塑膠蓋在被發射出去後，主要受到三個力量的作用，支撐它飛行的空氣浮力，另外是阻擋它飛行的空氣阻力和重力。**



圖 4-5-1：塑膠蓋飛行的受力分析圖。

(二)在實驗一時我們已經證明了**重量輕的塑膠蓋初速度大，所以就飛得比較遠**。那麼如何**減少它的空氣阻力**，就是我們可以思考的另一個方向。

(三)把原本盤內深度 1.0cm 調整到 0.8cm、0.6cm、0.4cm 和 0.2cm，用卡典西德貼紙把其他四種白色和紅色塑膠蓋調整到 5.60g 和 4.60g，重複實驗一測試塑膠蓋飛行的步驟，**不過因為不同盤內深度塑膠蓋的飛行時間差異很大，所以加上測量各種塑膠蓋在空中飛行的時間並加以計算平均。**



圖 4-5-2：不同盤內深度的白、紅色塑膠蓋。

六、研究五：盤面直徑不一樣的塑膠蓋飛行比較。

- (一)藍色塑膠蓋和實驗一其中一種的白色塑膠蓋重量都是 5.80g，盤內深度也是 1.0cm，
不一樣的是兩種塑膠蓋的直徑(7.2cm、6.5cm)和盤緣刻紋數目。

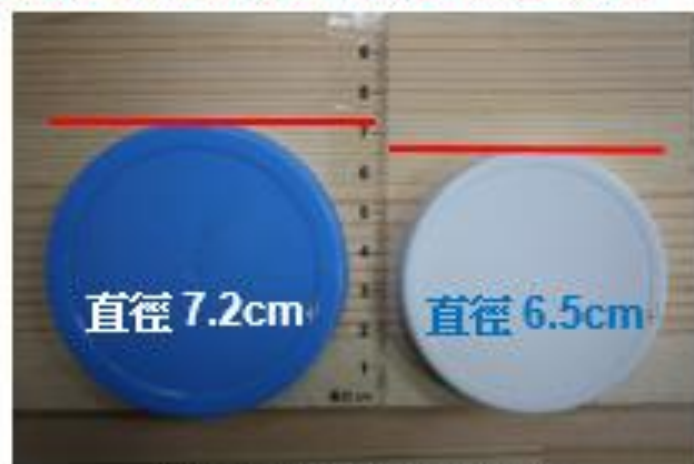


圖 4-6-1：不同直徑的塑膠蓋。

- (二)因盤緣刻紋數目不一樣，用透明膠帶把刻紋貼起來，兩種塑膠蓋都增加到 5.95g。



圖 4-6-2：塑膠蓋盤緣貼透明膠帶。

- (三)利用 Autodesk 設計和雷射切割機，精準切出能飛直徑 7.2cm 塑膠蓋的軌道盤面。



圖 4-6-3：直徑 7.2cm 塑膠蓋的盤面軌道。

七、研究六：改變藍色塑膠蓋發射角度的飛行情形。

(一)從實驗一到實驗五，都是讓塑膠蓋在水平的角度發射出去。



圖 4-7-1：塑膠蓋攻角-水平 0 度。



圖 4-7-2：利用木梯墊高來調整攻角的角度。

(二)我們試著改變塑膠蓋發射出去的角度，原本有水平 0 度的數據，再來分別是向下 5 度、向上 2 度、向上 4 度和向上 3 度共 5 種不同的攻角。而且自然教室的距離已經不夠，讓塑膠蓋來飛行了，所以選擇旁邊的走道做測試，一樣把周圍的門窗緊閉。



圖 4-7-3：塑膠蓋攻角-水平向下 5 度。



圖 4-7-4：塑膠蓋攻角-水平向上 2 度。



圖 4-7-5：塑膠蓋攻角-水平向上 3 度。



圖 4-7-6：塑膠蓋攻角-水平向上 4 度。

伍、研究結果與討論

實驗一：不同重量的塑膠蓋對飛行距離遠近的影響。

自然教室的門窗緊閉並關掉風扇，讓塑膠蓋在飛行時盡量不受到空氣氣流的影響。塑膠蓋自動發射器的盤面軌道距離地面有 1.25m 的高度，啟動開關讓發射器能持續旋轉，測試塑膠蓋飛行 20 次，去除最多和最少的極端值各 2 次，距離最小單位取到公分，取 16 次距離的平均數值，並用攝影機記錄每一次飛行的情形。之後實驗都是在這種環境下測試，而且計算平均飛行距離的方式也是一樣。

實驗一結果： 表 5-1-1：不同重量白色和紅色塑膠蓋的飛行距離數據。

次數	種類	白色 5.60g	白色 5.80g	白色 6.05g	紅色 4.60g	紅色 4.95g	紅色 5.30g
1		539	530	518	542	532	525
2		542	526	523	538	539	527
3		543	535	521	537	534	531
4		545	531	524	540	531	524
5		538	533	515	545	533	526
6		542	528	523	543	534	530
7		535	530	525	539	532	524
8		542	532	524	541	529	521
9		536	529	522	537	536	527
10		534	528	517	538	531	524
11		539	534	520	542	532	522
12		544	531	523	542	534	528
13		545	532	526	541	537	525
14		538	529	526	539	530	525
15		543	536	524	541	529	524
16		545	532	522	537	530	527
平均		540.6cm	531.0cm	522.1cm	540.1cm	532.7cm	525.6cm

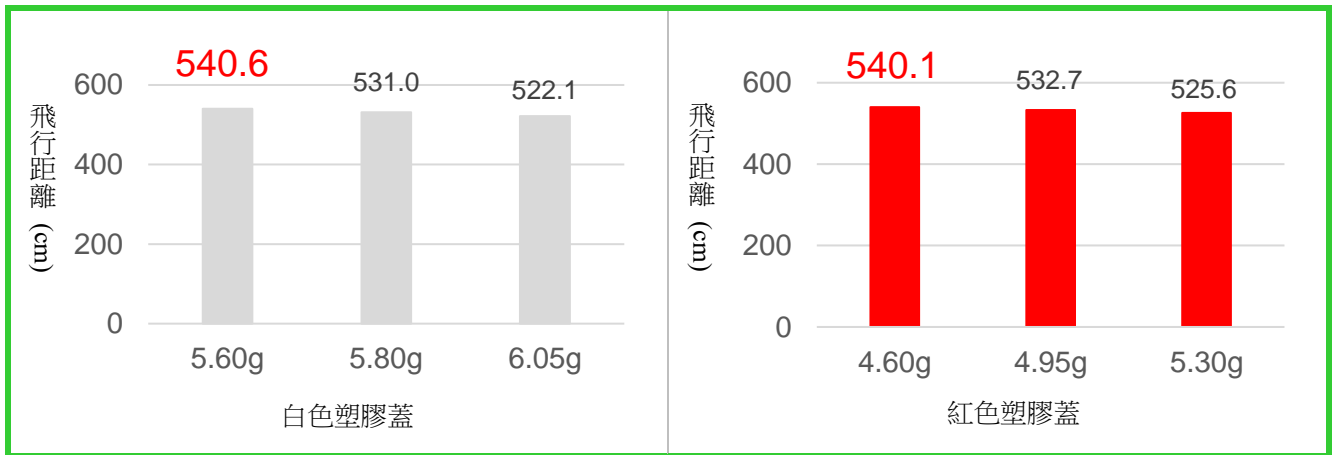


圖 5-1-1：不同重量白色和紅色塑膠蓋與飛行距離遠近的關係

實驗一討論：

圖 5-1-1 的數據分析，白色(5.60g)的塑膠蓋平均飛行距離是 540.6cm，而紅色(4.60g)的塑膠蓋平均飛行距離是 540.1cm。不管是白色或是紅色的塑膠蓋，都是重量比較輕的飛行距離會比較遠。但是我們在圖 5-1-1 發現了一個有趣現象，對應白色和紅色兩種塑膠蓋的重量，兩種的重量分別相差了 1g、0.85g 和 0.75g 這麼多，但飛行距離的平均數據為什麼卻如此接近？

實驗二：刻紋數目和刻紋間距是否會影響飛行距離的遠近？

白色(5.60g)和紅色(4.60g)的塑膠蓋外型很相似，重量卻相差了 1.00g 這麼多，但是平均飛行距離卻只差了 0.6cm。仔細觀察以後，我們發現兩種塑膠蓋不同的地方，就在盤緣的刻紋數目和刻紋的間距不太一樣。為了證明刻紋是否會影響塑膠蓋飛行，用膠帶把盤緣刻紋貼掉，讓兩種塑膠蓋盤緣都是光滑面來測試。

實驗二結果：

表 5-2-1：相同重量、刻紋數目和間距不同的白色和紅色的飛行距離比較。

次數\種類	白色 5.60g	紅色 5.60g
1	539	514
2	542	511
3	543	509
4	545	513
5	538	519
6	542	521
7	535	516
8	542	518
9	536	517
10	534	510
11	539	512
12	544	510
13	545	518
14	538	515
15	543	517
16	545	519
平均	540.6cm	514.9cm

表 5-2-2：白色和紅色塑膠蓋貼掉盤緣刻紋的飛行距離數據比較。

次數\種類	白色 5.70g	紅色 5.70g
1	496	501
2	493	492
3	497	498
4	498	499
5	493	495
6	500	495
7	494	497
8	498	499
9	491	495
10	501	498
11	495	502
12	496	496
13	495	501
14	497	498
15	497	501
16	499	499
平均	496.3cm	497.9cm

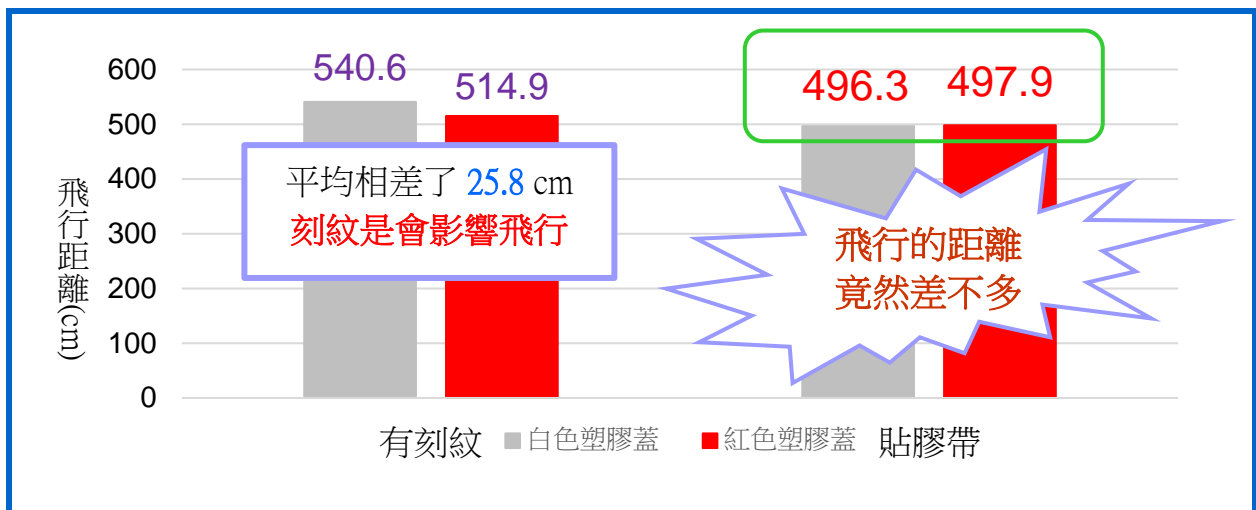


圖 5-2-1：白色和紅色塑膠蓋盤緣有無刻紋與飛行距離的關係

實驗二討論：

第 59 屆中小學科學展覽會作品一編號 080123—變化多端的瓶蓋棒球，評審評語提到刻紋間距是否會影響飛行距離。針對刻紋間距這個變因，把紅色塑膠蓋貼卡典西德調整到和白色(5.60g)一樣重來做飛行測試，白色平均飛行距離是 540.6cm，而紅色是 514.9cm，相差了 25.8cm。但是如果把盤緣刻紋用膠帶貼掉，白色和紅色的飛行距離卻只差 1.6cm，幾乎沒有差異，所以證明了刻紋間距是真的會影響塑膠蓋飛行距離的遠近。

【評語】 080123

1. 挑選大、中、小瓶蓋後，有確認瓶蓋大小不同，刻紋間距、材質是否相同？
2. 人為發射會有許多誤差，若能設計簡易旋轉發射機會更佳。
3. 能以各種變數探討瓶蓋飛行穩定性及轉彎特性。

圖 5-2-2：第 59 屆「變化多端的瓶蓋棒球」評審評語

實驗三：盤緣刻紋的深度會不會影響飛行距離的遠近？

和資訊老師討論我們所需要的塑膠蓋尺寸，資訊老師用 Autodesk 軟體先設計盤緣的深度，尺寸分別有 0.5mm、1.0mm 和 2.0mm 三種，再用 3D 列印出塑膠蓋成品。因為三種尺寸的重量不一樣，所以盤面上方再貼卡點西德貼紙加重到 8.40g。

實驗三結果：

表 5-3-1：不同盤緣深度塑膠蓋的飛行比較

次數—深度	0.5 mm	1.0 mm	2.0 mm
1	446	429	408
2	448	432	409
3	451	431	406
4	447	426	405
5	449	428	405
6	446	430	408
7	449	429	411
8	451	425	407
9	449	431	409
10	452	429	411
11	448	429	406
12	448	426	409
13	446	429	408
14	451	432	410
15	450	431	409
16	450	428	408
平均	448.8cm	429.1cm	408.1cm

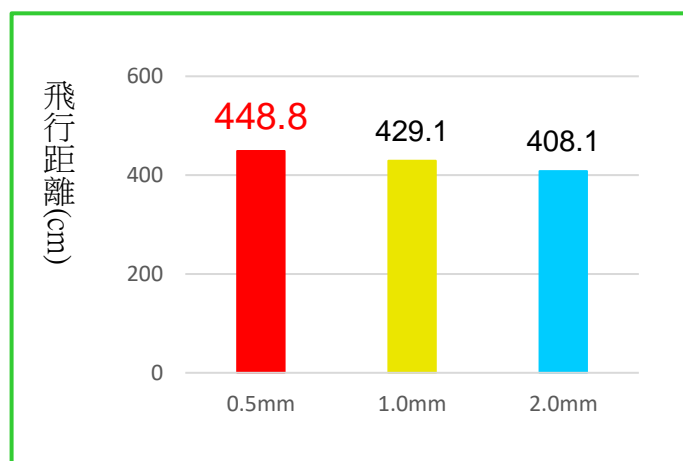


圖 5-3-1：不同的盤緣刻紋深度飛行距離比較

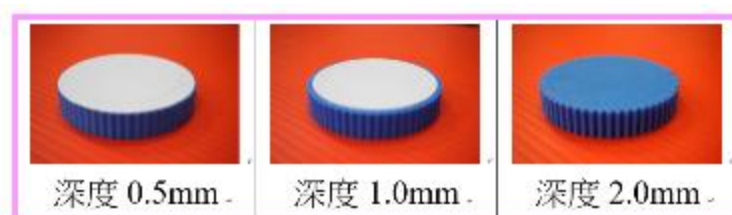


圖 5-3-2：不同的盤緣刻紋深度塑膠蓋

實驗三討論：

和資訊老師討論後，利用 Autodesk 和 3D 列印機設計三種不同的盤緣深度的塑膠蓋，從盤緣外側分別往內縮 0.5mm、1.0mm 和 2.0mm，用卡典西德貼紙把它們增加到一樣重(8.40g)，實驗測試飛行後的數據 448.8cm、429.1cm 和 408.1cm，我們原本認為應該是盤緣較粗糙的深度 2.0mm 會飛比較遠，但是最後竟然是盤緣深度比較淺的塑膠蓋(0.5mm) 反而飛得比較遠。

實驗四：塑膠蓋側邊的盤內深度，會不會影響飛行距離的遠近？

塑膠蓋在空中飛行時，自動發射器提供它飛出去時的初速度，支撐它飛行的是空氣浮力，但阻礙它飛行的有重力和盤緣的空氣阻力，我們把塑膠蓋盤緣用美工刀削掉，原本盤內的深度是 1.0cm，分別再做成 0.8cm、0.6cm、0.4cm 和 0.2cm 的盤內深度，用卡典西德增重到和原本的重量一樣。還有我們發現不同盤內深度的塑膠蓋飛行時間不太一樣，所以這次實驗測試多加了一項飛行時間紀錄。

實驗四結果： 表 5-4-1：不同盤內深度的白色塑膠蓋飛行比較

次數 \ 深度	0.2 mm		0.4 mm		0.6 mm		0.8 mm		1.0 mm	
	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離
1	1.23	652	1.23	631	1.10	590	1.07	568	1.00	539
2	1.22	647	1.23	631	1.13	596	1.08	571	1.02	542
3	1.23	649	1.18	625	1.17	602	1.01	560	1.02	543
4	1.27	659	1.21	628	1.15	598	1.09	571	1.05	545
5	1.28	660	1.14	621	1.10	588	1.06	567	0.98	538
6	1.27	657	1.20	627	1.10	588	1.02	562	1.02	542
7	1.23	651	1.21	629	1.11	592	1.01	561	0.97	535
8	1.21	644	1.24	632	1.11	591	1.08	570	1.02	542
9	1.22	648	1.20	628	1.13	597	1.10	572	0.97	536
10	1.24	653	1.16	622	1.15	598	1.05	566	0.96	534
11	1.24	655	1.15	621	1.12	594	1.03	562	1.00	539
12	1.21	646	1.15	622	1.11	591	1.08	570	1.03	544
13	1.25	656	1.17	624	1.11	593	1.09	572	1.04	545
14	1.29	661	1.20	628	1.12	595	1.06	567	0.99	538
15	1.24	654	1.19	627	1.14	598	1.04	563	1.03	543
16	1.27	658	1.14	620	1.10	590	1.06	566	1.03	545
平均飛行時間	1.242 秒		1.188 秒		1.121 秒		1.058 秒		1.011 秒	
平均飛行距離	653.1cm		626.0cm		593.8cm		566.8cm		540.6cm	



圖 5-4-1：利用威力導演 18 計算塑膠蓋飛行時間。

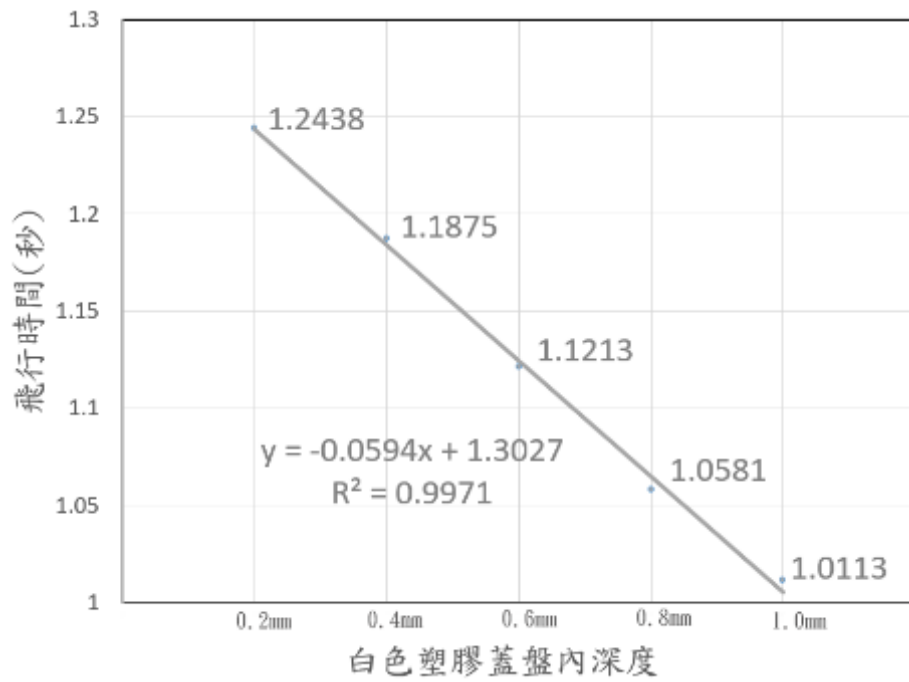


圖 5-4-2：白色塑膠蓋不同盤內深度和飛行時間的關係

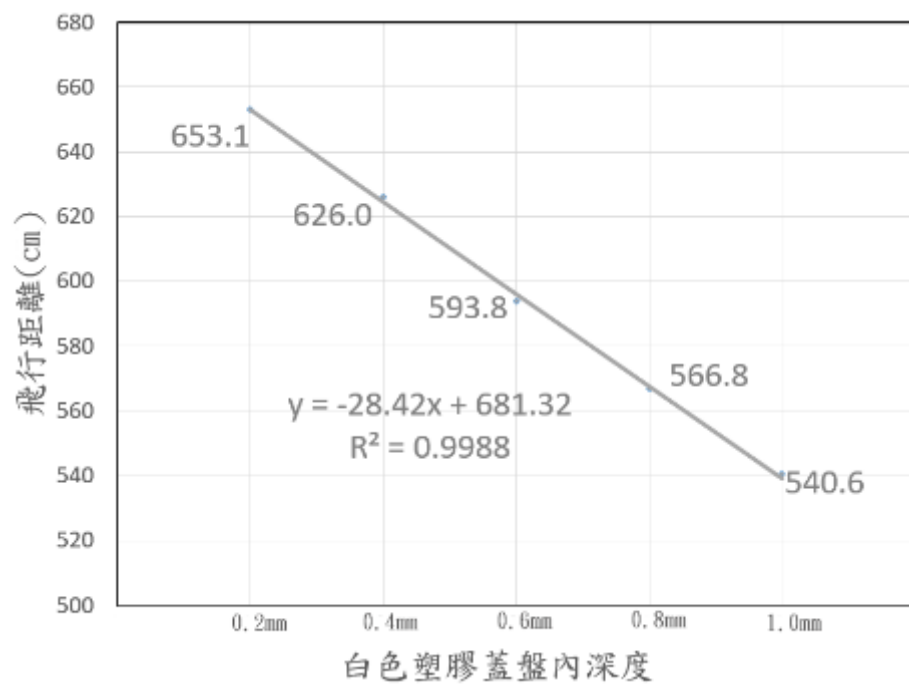


圖 5-4-3：白色塑膠蓋不同盤內深度和飛行距離的關係

表 5-4-2：不同盤內深度的紅色塑膠蓋飛行比較

次數 \ 深度	0.2mm		0.4mm		0.6mm		0.8mm		1.0mm	
	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離
1	1.26	669	1.26	657	1.26	613	1.15	573	1.10	542
2	1.30	678	1.30	663	1.23	606	1.10	564	1.04	538
3	1.27	672	1.28	661	1.20	601	1.13	571	1.02	537
4	1.23	664	1.22	652	1.17	597	1.17	576	1.07	540
5	1.23	663	1.21	650	1.21	603	1.12	569	1.11	545
6	1.26	670	1.24	654	1.20	602	1.10	563	1.10	543
7	1.27	673	1.28	660	1.25	611	1.14	572	1.06	539
8	1.31	679	1.28	660	1.23	607	1.11	566	1.07	541
9	1.29	675	1.23	652	1.21	603	1.12	569	1.01	537
10	1.32	680	1.26	657	1.19	600	1.15	574	1.03	538
11	1.29	677	1.22	651	1.17	596	1.12	568	1.10	542
12	1.28	673	1.27	658	1.21	604	1.08	561	1.09	542
13	1.32	680	1.29	661	1.25	611	1.09	563	1.08	541
14	1.25	669	1.23	652	1.27	615	1.11	567	1.05	539
15	1.28	673	1.24	654	1.23	608	1.13	571	1.09	541
16	1.29	676	1.26	658	1.19	601	1.15	574	1.02	537
平均飛行時間	1.278 秒		1.254 秒		1.217 秒		1.123 秒		1.065 秒	
平均飛行距離	673.2cm		656.3cm		604.9cm		568.8cm		540.1cm	

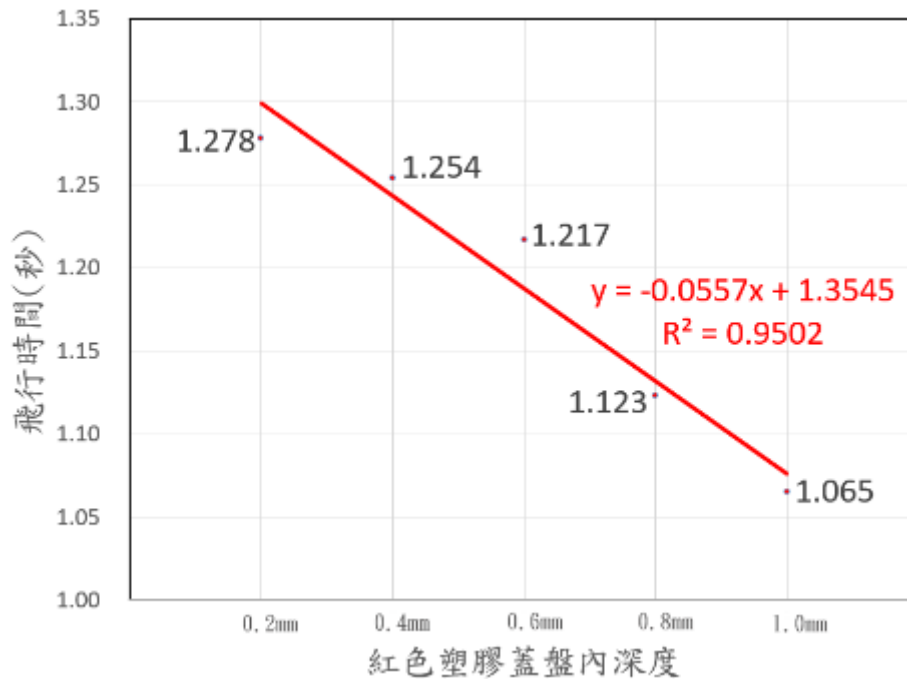


圖 5-4-4：紅色塑膠蓋不同盤內深度和飛行時間的關係

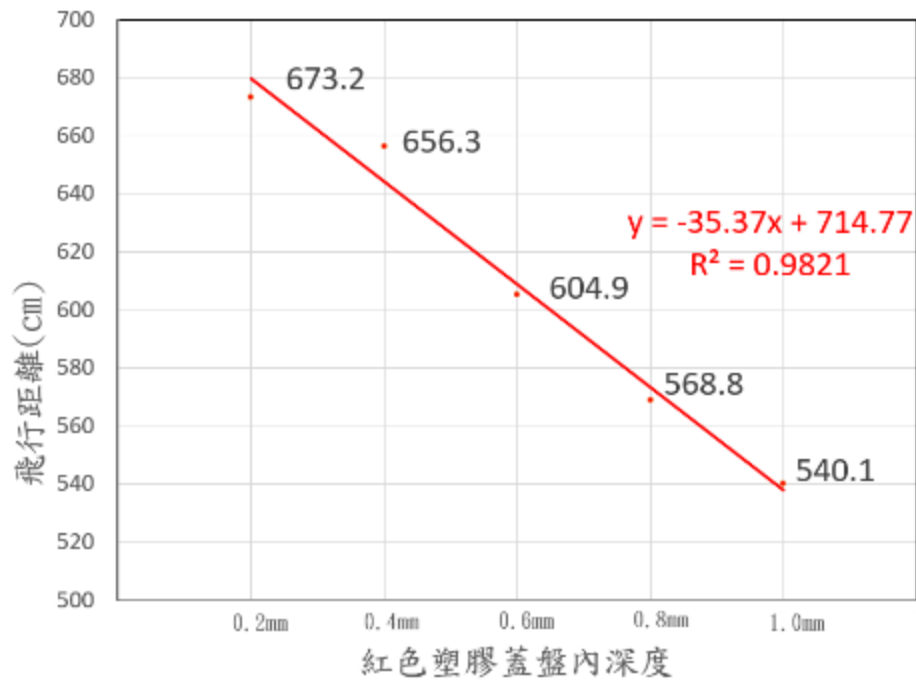


圖 5-4-5：紅色塑膠蓋不同盤內深度和飛行距離的關係

實驗四討論：

表 3-4-2 的公式告訴我們，如果要讓塑膠蓋飛行距離比較遠的話，不是增加它飛出時的初速度，就是延長在空中飛行的時間。調整塑膠蓋側邊的盤內深度，依照實驗數據所呈現的，可以知道盤內深度最淺的 0.2cm 塑膠蓋，飛行距離和在空中飛行時間都是最久的。觀察白色和紅色不同盤內深度和飛行時間、距離的結果，以及根據線性迴歸分析，我們可以歸納出

(一)白色盤內深度與飛行時間的關係：

$$\text{【}y = -0.0594x + 1.3027; x = \text{盤內深度(mm)}, y = \text{飛行時間(秒)}\text{】}$$

(二)白色盤內深度與飛行距離的關係：

$$\text{【}y = -28.42x + 681.32; x = \text{盤內深度(mm)}, y = \text{飛行距離(秒)}\text{】}$$

(三)紅色盤內深度與飛行時間的關係：

$$\text{【}y = -0.0557x + 1.3545; x = \text{盤內深度(mm)}, y = \text{飛行時間(秒)}\text{】}$$

(四)紅色盤內深度與飛行距離的關係：

$$\text{【}y = -35.37x + 714.77; x = \text{盤內深度(mm)}, y = \text{飛行距離(秒)}\text{】}$$

實驗五：盤面直徑不一樣的塑膠蓋，會不會影響飛行距離的遠近？

藍色(7.2cm、5.80g)和白色(6.5cm、5.80g)塑膠蓋的重量相同，還有盤內深度都是1.0cm，但是盤面直徑和盤緣刻紋數量卻有些不一樣，把盤緣刻紋用透明膠帶貼掉，調整到只有盤面直徑不一樣的條件。盤面直徑越大的塑膠蓋，它的飛行情形會是如何？空氣浮力會不會讓它飛得更久更遠呢？

實驗五結果：

表 5-5-1：盤面直徑不同塑膠蓋的飛行比較

次數	種類	藍色 5.95g		白色 5.95g	
		飛行時間	飛行距離	飛行時間	飛行距離
1.		1.05	525	1.00	480
2.		1.07	532	1.02	486
3.		1.06	529	1.06	492
4.		1.02	523	1.03	488
5.		1.05	526	1.03	487
6.		1.03	524	1.03	487
7.		1.06	530	1.00	481
8.		1.06	531	1.00	482
9.		1.05	528	1.05	489
10.		1.05	525	1.05	490
11.		1.02	523	1.05	488
12.		1.05	526	1.00	482
13.		1.05	528	1.05	490
14.		1.04	525	1.07	493
15.		1.06	530	1.01	484
16.		1.06	530	1.01	485
平均飛行時間		1.064 秒		1.029 秒	
平均飛行距離		527.2cm		486.5cm	

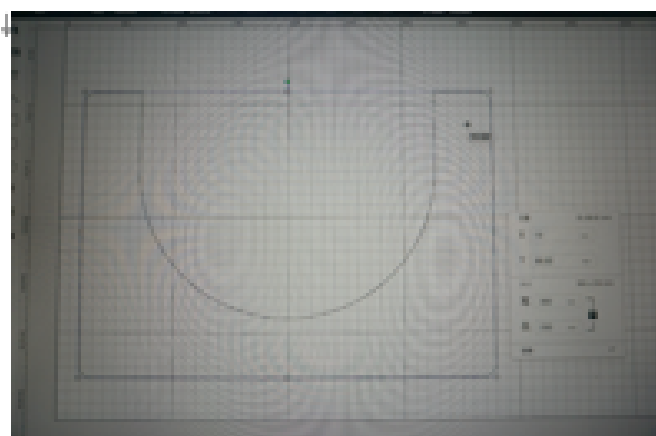


圖 5-5-1：盤面直徑 7.2cm 軌道設計圖

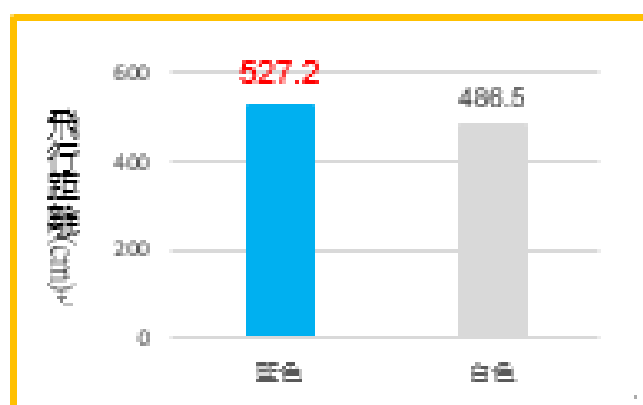


圖 5-5-2：直徑不同塑膠蓋的飛行距離比較

實驗五討論：

盤面直徑不同的塑膠蓋，實驗測試後的數據分析顯示，盤面直徑越大的塑膠蓋(7.2cm)，不管是在飛行時間和飛行距離上，都是比盤面直徑小一點的塑膠蓋(6.5cm)來得比較久和比較遠。在空中平均飛行時間多了 0.035 秒，而平均飛行距離多了 40.7cm。

實驗六：改變塑膠蓋發射的角度，會不會影響飛行距離的遠近？

塑膠蓋在被發射出去是類似水平拋射的原理，但是如果利用木條墊高發射器底部的前後端來調整角度，塑膠蓋被發射就會是有角度的飛行，會不會因為結合著拋物線的概念，讓塑膠蓋的飛行時間或距離而有所變化？

實驗六結果：

表 5-6-1：藍色塑膠蓋盤內深度 0.2mm，在各種不同攻角的飛行比較。

次 數	水平 0°(基準)		水平向下 5°		水平向上 2°		水平向上 4°		水平向上 3°	
	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)
1	1.36	724	1.27	599	1.41	745	1.45	730	1.37	822
2	1.30	710	1.21	589	1.33	729	1.38	718	1.44	836
3	1.27	704	1.20	586	1.35	732	1.36	709	1.37	825
4	1.30	707	1.23	592	1.31	725	1.40	724	1.48	850
5	1.37	726	1.21	587	1.39	734	1.42	727	1.40	829
6	1.35	721	1.29	603	1.40	741	1.37	718	1.49	854
7	1.38	727	1.26	596	1.37	732	1.39	721	1.45	840
8	1.38	728	1.23	592	1.30	724	1.39	720	1.35	815
9	1.32	711	1.18	583	1.29	716	1.47	735	1.33	809
10	1.34	720	1.25	595	1.32	729	1.40	723	1.36	822
11	1.28	704	1.27	600	1.35	731	1.36	712	1.47	846
12	1.27	701	1.20	586	1.40	740	1.43	730	1.41	834
13	1.33	716	1.25	596	1.39	736	1.45	732	1.31	808
14	1.36	725	1.28	603	1.38	734	1.40	723	1.33	810
15	1.33	715	1.17	581	1.44	749	1.37	714	1.35	818
16	1.40	730	1.24	592	1.38	733.0	1.47	735	1.41	831
平均	1.33	716.8	1.23	592.5	1.36	733.1	1.41	723.2	1.40	828.1



圖 5-6-1：教室長度已經不夠測試，更換飛行測試場地。

表 5-6-2：藍色塑膠蓋盤內深度 0.4mm，在各種不同攻角的飛行比較。

次 數	水平 0°(基準)		水平向下 5°		水平向上 2°		水平向上 4°		水平向上 3°	
	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)
1	1.31	656	1.20	589	1.27	730	1.32	716	1.41	776
2	1.33	660	1.18	584	1.29	731	1.37	722	1.36	759
3	1.26	647	1.26	600	1.30	731	1.43	728	1.39	769
4	1.22	643	1.21	590	1.31	734	1.47	744	1.40	776
5	1.26	650	1.22	591	1.39	750	1.40	723	1.37	759
6	1.25	647	1.26	598	1.40	751	1.38	723	1.38	765
7	1.28	653	1.28	602	1.38	742	1.40	725	1.43	782
8	1.33	661	1.24	596	1.36	740	1.45	732	1.35	753
9	1.30	654	1.20	587	1.33	736	1.46	736	1.39	765
10	1.27	650	1.23	593	1.39	742	1.42	725	1.41	780
11	1.28	650	1.21	589	1.41	764	1.34	716	1.43	781
12	1.25	647	1.22	593	1.33	736	1.43	728	1.34	748
13	1.22	645	1.29	606	1.36	740	1.34	717	1.36	757
14	1.29	653	1.21	589	1.40	760	1.35	720	1.40	774
15	1.30	656	1.19	586	1.34	739	1.43	730	1.35	748
16	1.34	661	1.26	600	1.41	761	1.47	737	1.37	763
平均	1.28	652.1	1.23	593.3	1.35	742.9	1.40	726.4	1.38	765.9

表 5-6-3：藍色塑膠蓋盤內深度 0.6mm，在各種不同攻角的飛行比較。

次 數	水平 0°(基準)		水平向下 5°		水平向上 2°		水平向上 4°		水平向上 3°	
	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)
1	1.26	625	1.19	584	1.29	683	1.39	681	1.38	704
2	1.29	639	1.12	578	1.25	672	1.40	686	1.42	710
3	1.27	626	1.21	587	1.28	681	1.41	687	1.34	699
4	1.21	617	1.12	576	1.36	693	1.32	676	1.31	694
5	1.19	610	1.23	591	1.40	696	1.31	670	1.35	701
6	1.30	639	1.17	582	1.35	691	1.39	684	1.42	710
7	1.23	620	1.23	589	1.35	693	1.42	692	1.39	705
8	1.28	634	1.26	596	1.37	694	1.33	676	1.37	702
9	1.27	629	1.21	588	1.26	679	1.37	679	1.30	690
10	1.18	610	1.17	583	1.33	688	1.42	690	1.40	708
11	1.26	621	1.13	578	1.39	696	1.40	684	1.37	703
12	1.26	623	1.19	584	1.32	687	1.35	676	1.36	701
13	1.31	643	1.25	596	1.29	685	1.38	679	1.37	702
14	1.29	637	1.21	586	1.33	688	1.40	687	1.34	698
15	1.31	645	1.22	589	1.34	691	1.43	694	1.38	705
16	1.20	615	1.18	584	1.38	696	1.39	682	1.32	697
平均	1.26	627.1	1.19	585.7	1.33	688.3	1.38	682.7	1.36	701.8

表 5-6-4：藍色塑膠蓋盤內深度 0.8mm，在各種不同攻角的飛行比較。

次 數	項 目	水平 0°(基準)		水平向下 5°		水平向上 2°		水平向上 4°		水平向上 3°	
		時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)
1		1.20	594	1.13	550	1.20	609	1.32	616	1.26	642
2		1.14	581	1.20	560	1.25	621	1.37	626	1.35	670
3		1.17	589	1.19	559	1.29	634	1.33	619	1.32	660
4		1.23	607	1.17	555	1.28	625	1.23	601	1.29	656
5		1.26	612	1.15	555	1.23	613	1.28	610	1.26	642
6		1.20	591	1.21	565	1.24	618	1.23	604	1.26	644
7		1.15	583	1.11	548	1.29	630	1.28	606	1.23	635
8		1.18	590	1.10	542	1.31	640	1.35	620	1.22	630
9		1.12	576	1.14	550	1.23	616	1.37	628	1.24	638
10		1.16	586	1.21	562	1.18	602	1.29	615	1.24	640
11		1.23	603	1.20	560	1.23	618	1.21	595	1.23	638
12		1.16	583	1.22	570	1.29	628	1.26	606	1.32	658
13		1.22	595	1.11	542	1.20	608	1.30	616	1.27	645
14		1.19	590	1.13	548	1.30	635	1.36	622	1.23	636
15		1.24	608	1.15	554	1.31	643	1.29	614	1.29	650
16		1.20	590	1.19	556	1.24	619	1.26	605	1.34	664
平均		1.19	592.4	1.16	554.8	1.25	622.4	1.30	612.7	1.27	646.8

表 5-6-5：藍色塑膠蓋盤內深度 1.0mm，在各種不同攻角的飛行比較。

次 數	項 目	水平 0°(基準)		水平向下 5°		水平向上 2°		水平向上 4°		水平向上 3°	
		時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)	時間(秒)	距離(cm)
1		1.13	558	1.02	514	1.20	595	1.18	575	1.22	601
2		1.10	554	1.00	503	1.25	605	1.22	585	1.26	617
3		1.18	576	1.01	504	1.19	595	1.16	573	1.29	628
4		1.16	567	0.99	501	1.15	589	1.19	580	1.19	598
5		1.13	563	1.01	507	1.17	590	1.24	598	1.14	587
6		1.05	550	1.00	503	1.11	584	1.23	590	1.18	594
7		1.12	558	0.97	496	1.26	606	1.20	582	1.28	626
8		1.18	576	1.02	512	1.09	581	1.21	584	1.30	631
9		1.13	561	1.01	508	1.14	587	1.24	594	1.16	591
10		1.07	551	0.98	499	1.22	599	1.27	604	1.26	612
11		1.17	571	1.01	504	1.16	589	1.19	579	1.23	603
12		1.04	548	0.99	501	1.14	587	1.14	567	1.24	608
13		1.05	551	0.94	490	1.18	590	1.16	575	1.14	585
14		1.02	540	1.01	504	1.13	586	1.22	584	1.12	581
15		1.16	567	0.98	500	1.20	597	1.23	588	1.18	598
16		1.02	546	0.94	492	1.24	602	1.15	569	1.16	591
平均		1.11	558.6	0.99	502.4	1.18	592.6	1.20	582.9	1.21	603.2

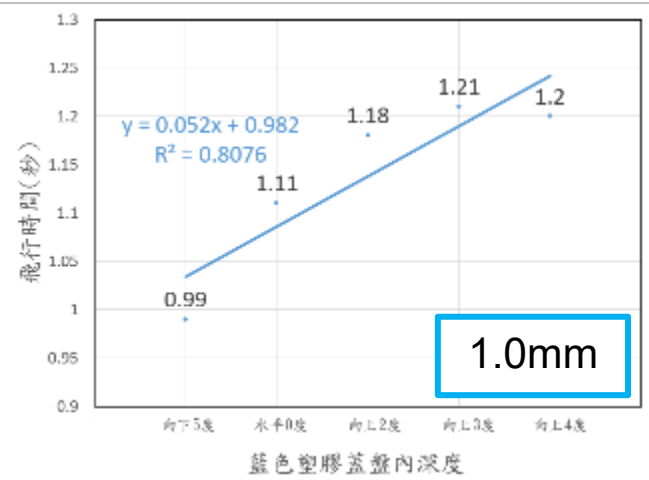
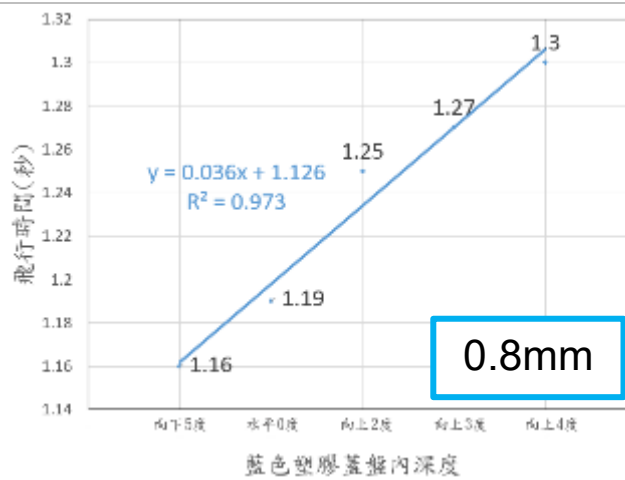
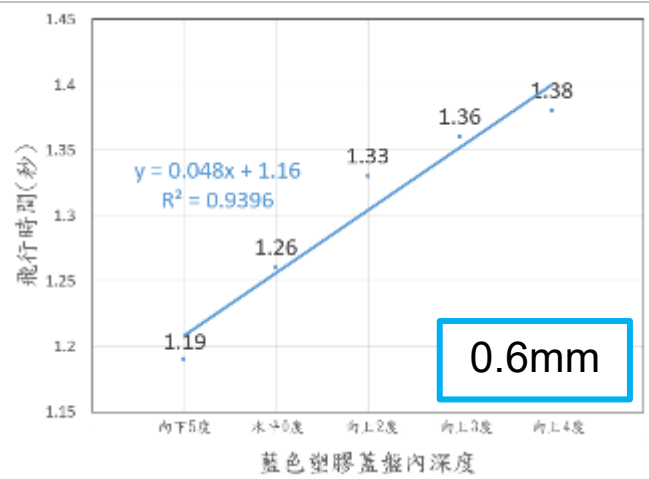
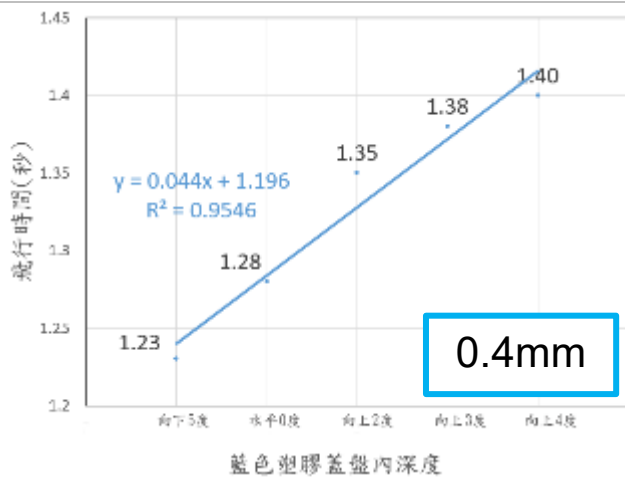
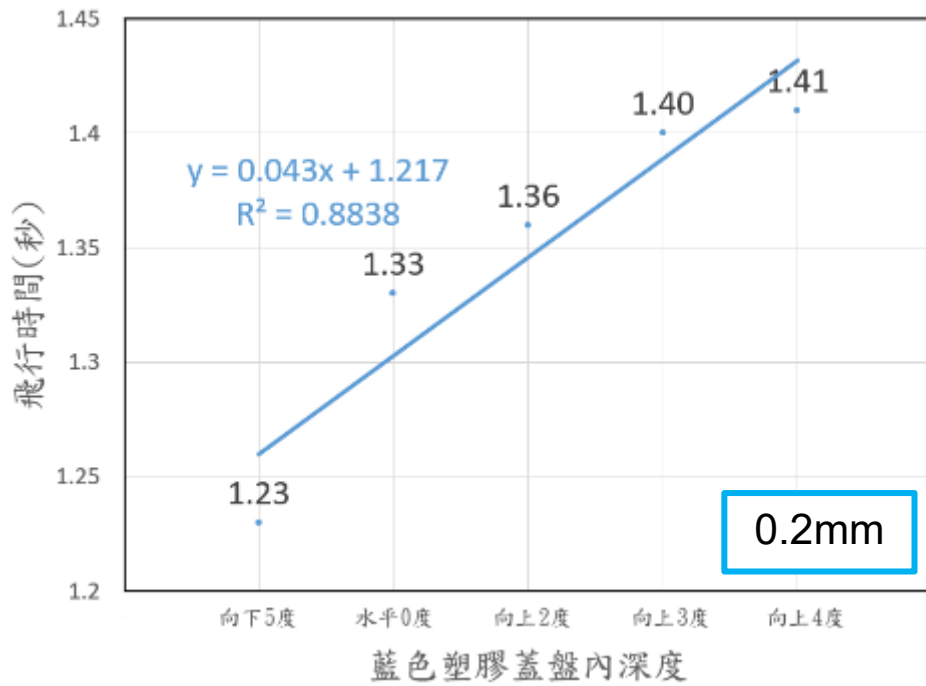


圖 5-6-2：藍色塑膠蓋在不同盤內深度，對應不同攻角的關係圖。

實驗六討論：

測試藍色塑膠蓋飛行情形，攻角水平向下 5°的平均飛行距離都是最近的，而攻角水平向上的 2°、3°、4°平均飛行距離都會比水平 0°的平均飛行距離還要遠。測試到的最佳攻角是 3°，搭配盤緣寬度 0.2cm 時的平均飛行距離竟然有 828.1cm，整間自然教室都不夠它飛行。

觀察圖 5-6-2，對藍色塑膠蓋做不同盤內深度和不同攻角的對應實驗測試，五種的線性分析呈現了向上 3°飛行時間比較久，雖然向上 4°的飛行時間更久一些，但經錄影觀察可看出向上 4°因為與空氣接觸面積變大，相對空氣阻力也增加，滯留在空中時間稍久，但卻有往回飛的現象。

陸、實驗結論

一、實驗一

在比較不同重量白色和紅色塑膠蓋的飛行情形之前，先做了圖 3-4-1 的水平拋射實驗，利用高速攝影紀錄兩個不同重量的塑膠塊落地時間和位置。利用公式得到了質量小的塑膠蓋，發射出去時的初速度大；質量大的塑膠蓋，發射出去時的初速度小。測試飛行後得到的結論，重量輕的塑膠蓋初速度比較大，相對地飛行的距離就會比較遠。

二、實驗二

白色(5.60g)和紅色(4.60g)最輕的塑膠蓋相差了 1.00g 這麼多，但是平均飛行距離卻只差了 0.6cm。跟實驗一的結論便產生了矛盾，仔細觀察後發現盤緣的刻紋數目和刻紋間距不太相同，兩種塑膠蓋的盤緣刻紋間距相差了 0.0283cm，把所有條件調整到一樣再來做飛行測試。實驗測試後的結論，白色塑膠蓋比紅色塑膠蓋平均多飛行了 25.8cm。

在五年級的力與運動單元裡曾經學過，在接觸面有紋路或表面粗糙的材質，可以增加物體的摩擦力。為了更確認刻紋間距會不會影響飛行距離遠近，我們把盤緣刻紋用透明膠帶貼成光滑面，測試後的結果，兩種塑膠蓋的平均飛行距離只差了 1.6cm，幾乎沒有差異，所以證明刻紋間距是真的會影響飛行距離的遠近。

三、實驗三

為了增加和膠輪、防撞膠條的摩擦力，利用 Autodesk 和 3D 列印設計三種不同盤緣深度的塑膠蓋，把它們的條件也調整到一樣。測試後的結果竟然是盤緣深度 0.5mm 的飛行距離比較遠，我們的結論是雖然 2.0mm 和發射器膠輪、防撞膠條的摩擦力比較大，但是它在空中飛行時盤緣和空氣的接觸面積相對增加很多，所以空氣阻力也跟著變大，導致 2mm 的塑膠蓋飛行距離就會比較近一些。

四、實驗四

在表 3-4-2 裡的理論分析，如果要讓塑膠蓋飛行的距離比較遠的話，一個是增大它的初速度，另外一個便是**延長它落地的時間**，經過我們的實驗測試，**改變塑膠蓋的盤內深度**便可以做到延長落地時間。

根據圖 3-4-1 的理論分析，物體做水平拋射運動的落地時間是 0.50 秒，跟它們相同外觀的**白色和紅色塑膠蓋**平均分別飛行了 1.011 秒和 1.065 秒，**多出來的 0.511 秒和 0.565 秒的飛行時間就是空氣浮力所造成的。**

觀察迴歸分析圖的到兩個結論：

- (一)由圖 5-6-1、圖 5-6-2 的迴歸數據來分析，白色和紅色塑膠蓋的**不同盤內深度**，**對應飛行時間(秒)和飛行距離(cm)的線性狀態有著高度的正相關。**
- (二)再分析各種相同深度的迴歸圖形，得到每組實驗也都是正相關的關係。

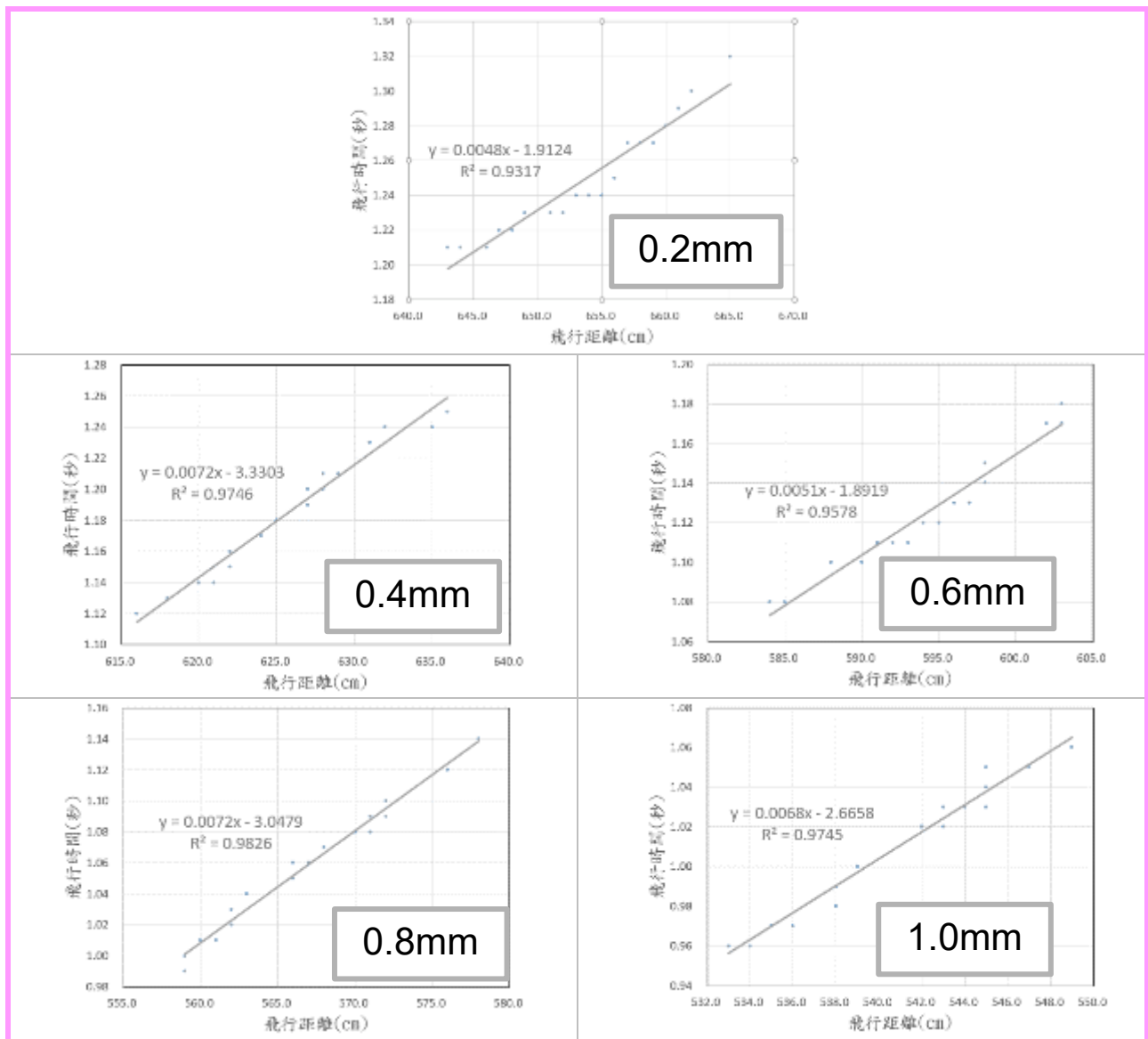


圖 6-4-1：不同深度白色塑膠蓋的飛行時間(秒)和飛行距離的對應關係

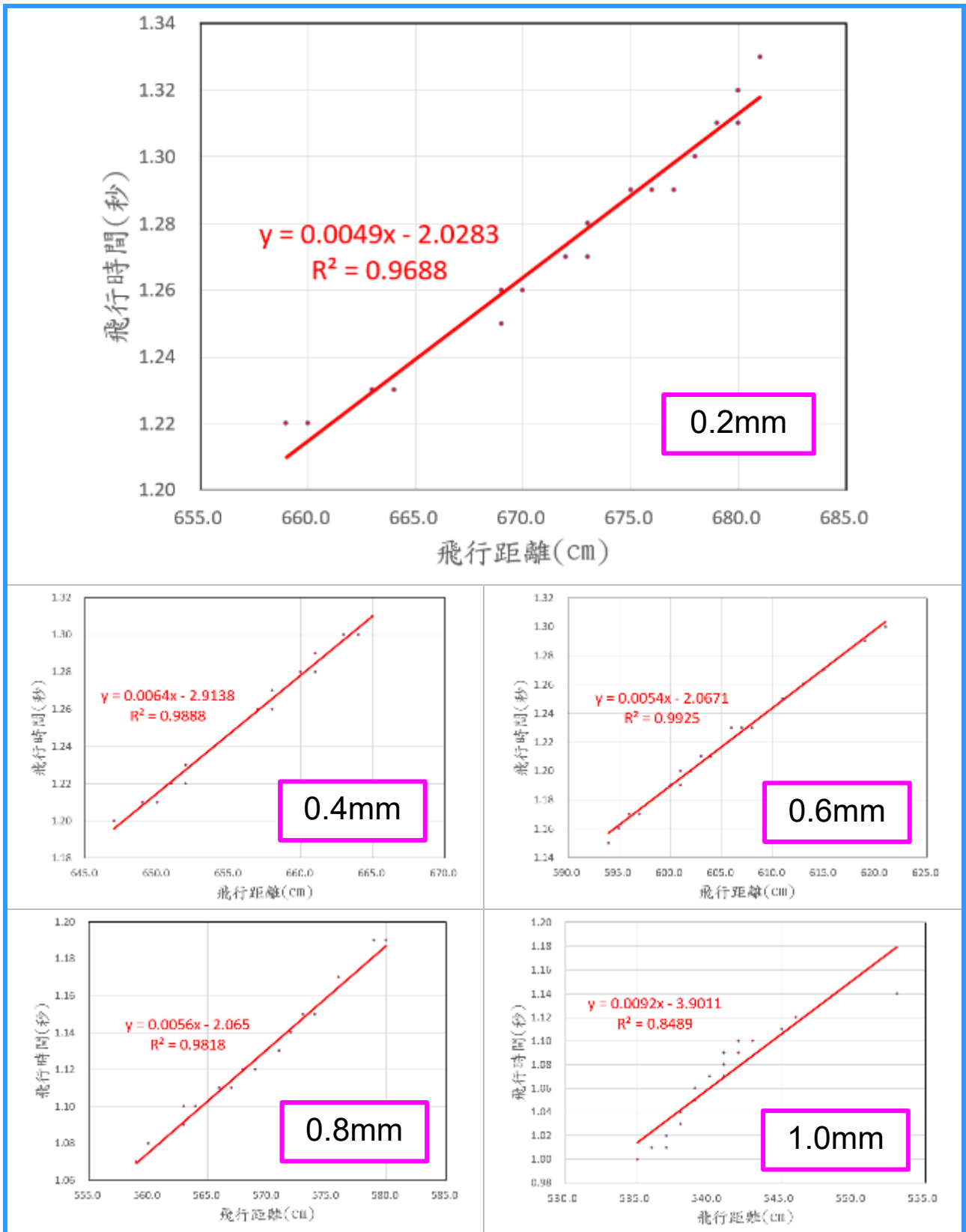
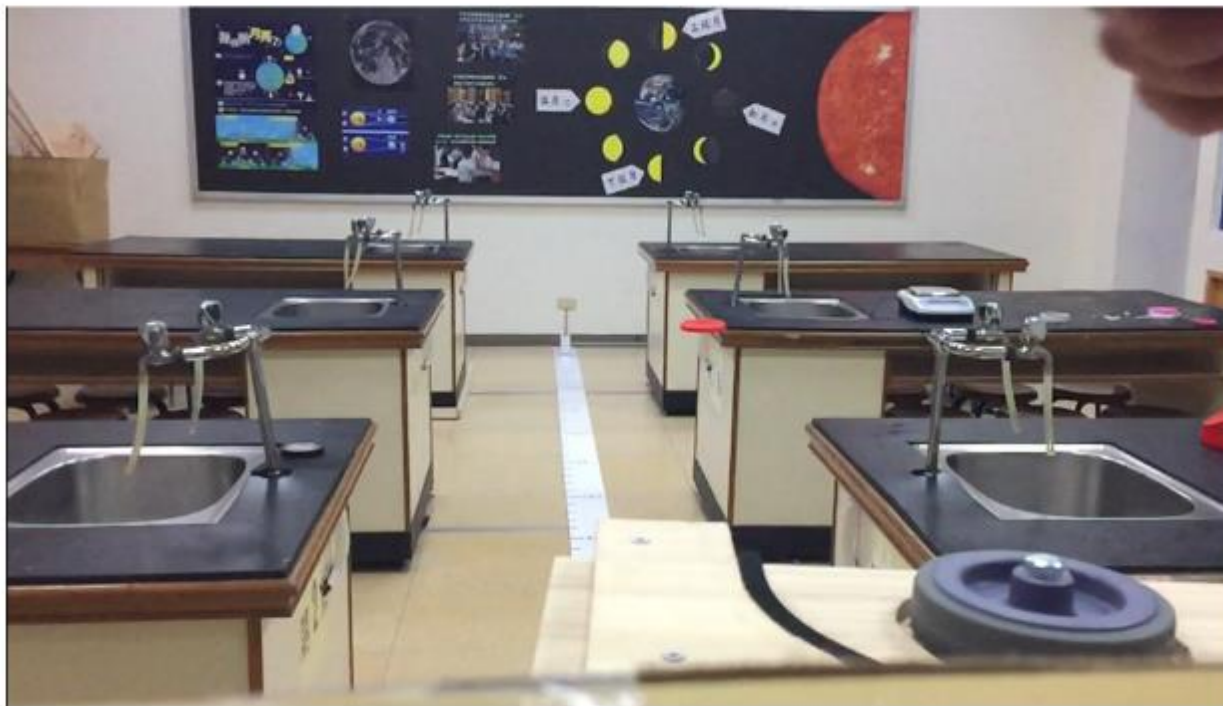


圖 6-4-2：不同深度紅色塑膠蓋的飛行時間(秒)和飛行距離的對應關係

五、實驗五

盤面直徑大的塑膠蓋在飛行時，它的空氣浮力相對的比盤面直徑小的塑膠蓋來得大一些，所以相同重量和光滑盤緣的藍白色塑膠蓋來比較，藍色塑膠蓋便飛得比較遠。



六、實驗六

不同盤內深度藍色塑膠蓋在做不同攻角的測試時，水平向上的 2° 、 3° 、 4° 、都比水平向下 5° 和水平 0° 來得遠，而且攻角 3° 又是最佳的發射角度，我們認為塑膠蓋在做斜向拋射的時候，除了發射器提供它飛行時的初速度，另外又結合了拋物線的概念，所以它才會飛得這麼遠。我們還觀察到一個有趣的現象，就是塑膠蓋在水平向上 4° 的攻角時，飛行時間是比較久的，但是飛行距離卻不是最遠的。為什麼會這樣呢？透過錄影設備，我們看到塑膠蓋在 4° 攻角發射出去後，塑膠蓋和空氣的接觸面積變大，所以阻擋它往前飛行的空氣阻力會增加，它在空中飛行出去後，便會再往回飛一點點。

柒、未來展望

- 一、塑膠蓋在旋轉飛行出去，主要會受到三種不同的力作用影響，由空氣浮力來對抗重力和空氣阻力的相互關係。這次實驗雖然是針對塑膠蓋的重力和盤緣的空氣阻力來做討論。但是藉由公式和實際量測飛行時間，證明了塑膠蓋的飛行是有空氣浮力的幫助。如果想要更深入的討論，空氣浮力的大小和盤內深度的深淺，還是盤面直徑的大小，會不會跟塑膠蓋飛行有什麼樣的關聯性。再來有沒有辦法設計實驗來計算空氣浮力的大小，並且能把它量化，這是未來我們可以去思考的方向。
- 二、我們利用上述實驗的結論，不管是重量、盤緣刻紋數目、刻紋間距，或是盤內深度的條件，試著綜合這些可以飛行很遠的優點，利用 3D 列印來做出一個可以符合最佳條件的塑膠蓋。但是測試後飛行的距離還是不如藍色盤內深度 0.2cm 的塑膠蓋，我們認為有兩個條件必須想辦法來突破解決，第一、3D 列印的塑料材質密度比較大，所以重量較重。所以可以去比較各種 3D 列印塑料的材質，找到比較適合飛行的。第二、盤緣刻紋數目最多只能畫到 60 齒。未來是否可以加大發射器的軌道，那麼 3D 列印的盤緣齒數應該也可以隨之增加。



捌、參考資料及其他

一、自然與生活科技三上－康軒版、第三單元：看不見的空氣。

二、自然與生活科技五上－康軒版、第四單元：力與運動。

三、網路資料：

1、第 59 屆中小學科學展覽會國小組物理科－變化多端的瓶蓋棒球

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-080123.pdf>

2、2-2 水平拋射運動-邱博文物理 <http://www.e-physics.net/Download/chap02demo.pdf>

3、空氣動力學-

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A9%BA%E6%B0%94%E5%8A%A8%E5%8A%9B%E5%AD%A6>

【評語】 080115

本作品欲探究刻紋間距對於塑膠蓋飛行距離的影響，動機源自先前科展作品得評審評語。利用雷射切割改進發射器穩定與精確性，並運用 3D 列印機設計不同的盤緣深度與密度，達到對於材質、形狀與刻紋間距等性質的的多元性與精確度，屬於控制變因方面的改善與延伸。

摘要

盤緣的刻紋間距真的會影響塑膠蓋的飛行距離嗎？經過設計過的實驗測試，證明**答案是肯定的**。第59屆中小學科學展覽會作品—**變化多端的瓶蓋棒球**，評審評語有提到兩點：

- 1、挑選大、中、小瓶蓋後，有**確認瓶蓋大小不同**，**刻紋間距**、**材質是否相同**？
- 2、人為發射會有許多誤差，若能**設計簡易旋轉發射機會更佳**。

利用設計的塑膠蓋自動發射器來測試，可以**把每次塑膠蓋發射出去力道的變數影響盡量降低**。理論上物體在做水平拋射運動時，**初速度會決定它運動後距離的遠近**。可是為什麼塑膠蓋會飛得這麼遠？這是因為塑膠蓋多了「**空氣浮力**」這個因素可以支撐它飛行。

壹、研究動機

曾經有好幾天連續下著雨，戶外一片溼答答的，所以不能去操場打球，走廊便成了大家的遊戲場。我們把塑膠蓋放在地上踢，如果能攻破對方的防線就算得分，在踢塑膠蓋的過程中，塑膠蓋有時會翻滾，但有時竟然會飛起來。我們發現**踢到塑膠蓋的側邊會讓它旋轉**，而且如果角度踢對了，**旋轉中的塑膠蓋便會短暫飛起來**，雖然飛行的距離並沒有很遠，但是這個短暫的飛行現象激發了我們的研究興趣，跟隊員和老師討論後，「**如何讓塑膠蓋可以飛最遠**」就成了我們這次研究的主題。

貳、研究目的

- 研究一、**不同重量**塑膠蓋對飛行距離遠近的影響。
- 研究二、刻紋數目和**刻紋間距**是否會影響飛行距離？
- 研究三、盤緣**刻紋深度**和飛行距離的關係。
- 研究四、塑膠蓋的**盤內深度**會不會影響飛行距離遠近？
- 研究五、**盤面直徑不一樣**的塑膠蓋飛行比較。
- 研究六、改變**藍色塑膠蓋發射角度**的飛行情形。

參、研究設備與器材

塑膠蓋自動發射器、雷射切割機、3D列印機、水平儀、攻角量角器、游標卡尺、市售塑膠蓋、3D設計列印塑膠蓋、高階手機、電子磅秤、照相攝影機、自製測距離量尺、電子計算機、Excel、Autodesk、FDR-AX700高速攝影機、威力導演18。

塑膠蓋自動發射器各部位構造

水平拋射運動原理

塑膠蓋發射器的軌道與盤面

有紋路的膠輪

防撞膠條

攻角量角器

底部貼粗砂紙

電動鑽孔機的轉速鈕、方向鈕、持續鈕、開關鈕

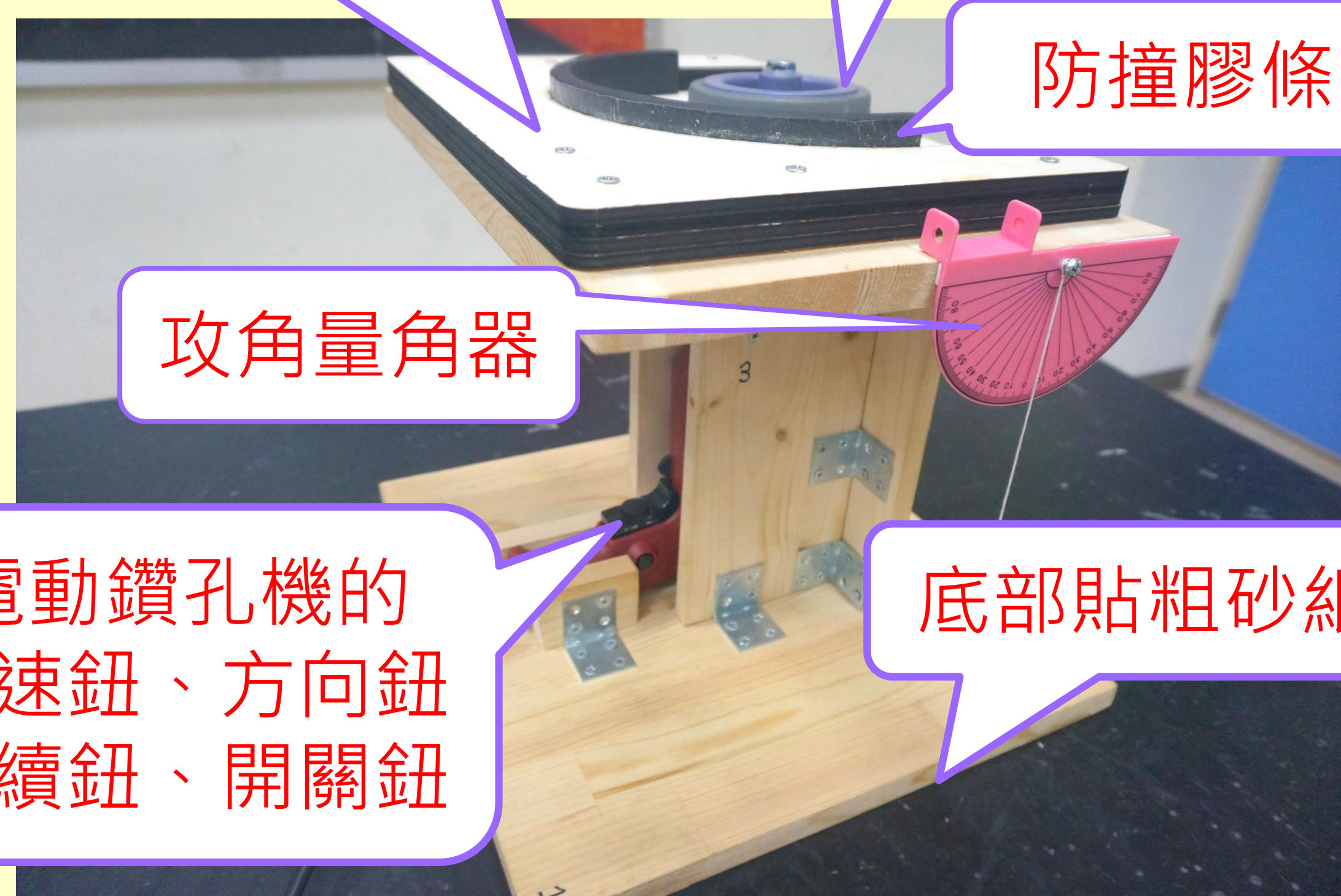
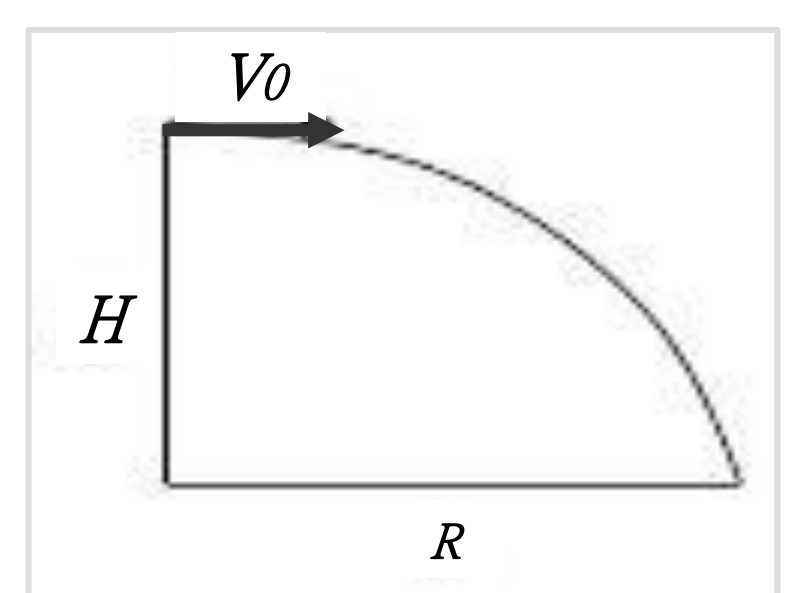


表3-3-1：塑膠蓋自動發射器各部位構造解說

- H = 塑膠蓋發射高度
- R = 塑膠蓋飛行的距離
- V_0 = 塑膠蓋飛出時初速度
- g = 重力加速度 = 9.8m/s^2
- t = 物體從發射到著地的時間



$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad \therefore t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

- 1、確定發射高度，便可算出理論的飛行時間 t 是 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，可是**實際飛行時間如果大於 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$** ，那麼代表塑膠蓋在飛行時就有「**空氣浮力**」的作用。
- 2、水平拋射理論落地時間0.505秒，實心和空心塑膠蓋落地時間接近0.50秒，如果**塑膠蓋飛行時間可以超過0.50秒**，代表有「**空氣浮力**」支撐著它飛行。

$$\text{距離}(R) = \text{初速度}(V_0) \times \text{時間}(t)$$

- 3、接著繼續算出發射出去時的初速度，可計算出理論距離 $R = V_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，如果**實際飛行距離大於 $V_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$** ，那麼就更進一步證明塑膠蓋飛行時有「**空氣浮力**」的作用了。
- 4、**實心**塑膠塊的初速度是 **5.954 m/s**
空心塑膠塊的初速度是 **7.688 m/s**
- 5、**重量較輕**的塑膠蓋，**初速度會比較大**。
重量較重的塑膠蓋，**初速度會比較小**。

表3-4-1、表3-4-2：塑膠塊水平拋射原理

肆、研究方法、過程與討論

研究一：不同重量塑膠蓋對飛行距離影響。

(一)在五金行買到兩種直徑6.5cm，盤內深度是1.0cm，不同重量的白色和紅色塑膠蓋。



圖4-2-1：不同重量白色和紅色塑膠蓋

(二)進行實驗測試時，把自然教室的門窗緊閉而且不開空調風扇，利用塑膠蓋自動發射器、錄影設備、捲尺和自製量尺來量測塑膠蓋飛行的距離。

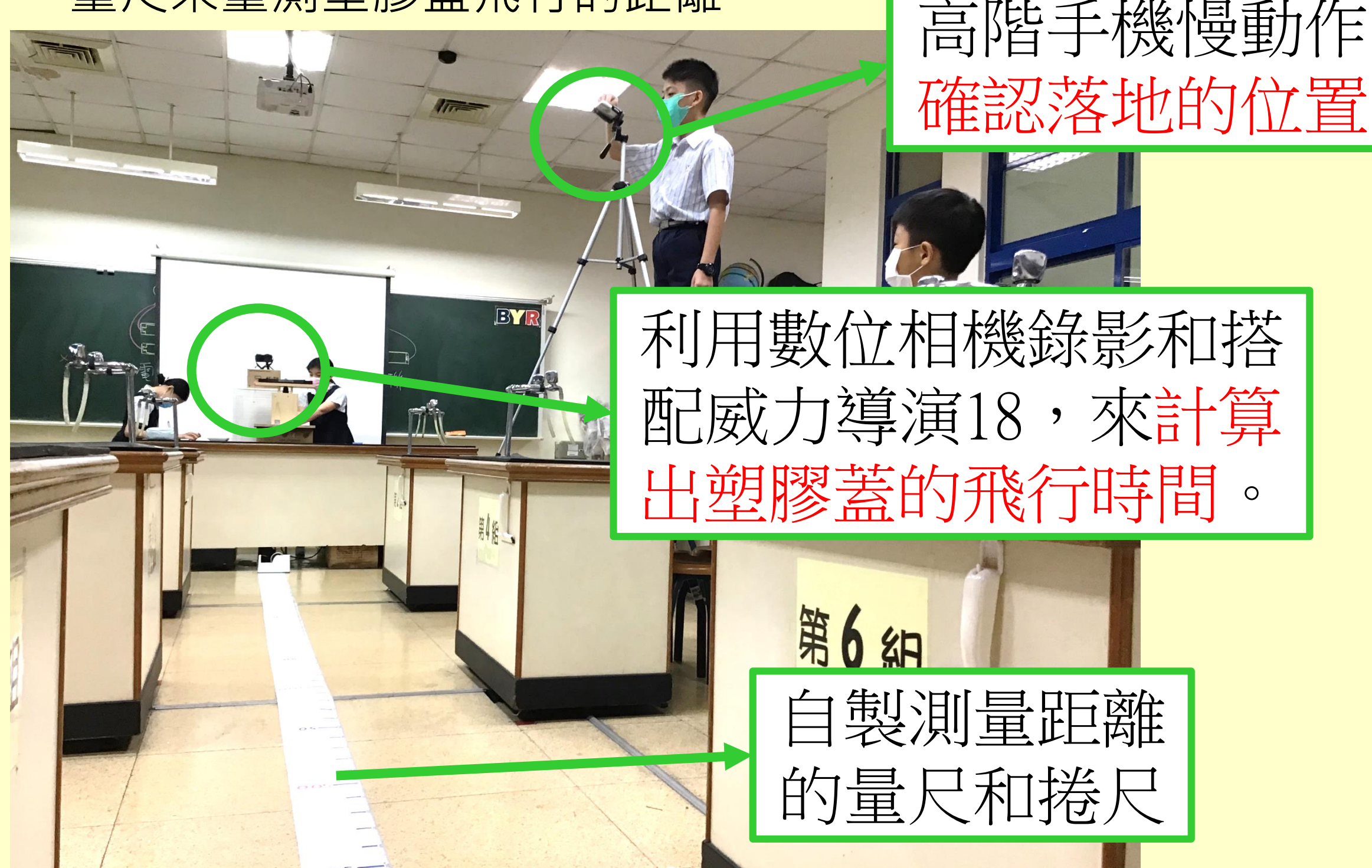


圖4-2-2：塑膠蓋測試飛行場地

(三)不同重量白色和紅色塑膠蓋飛行距離的比較。

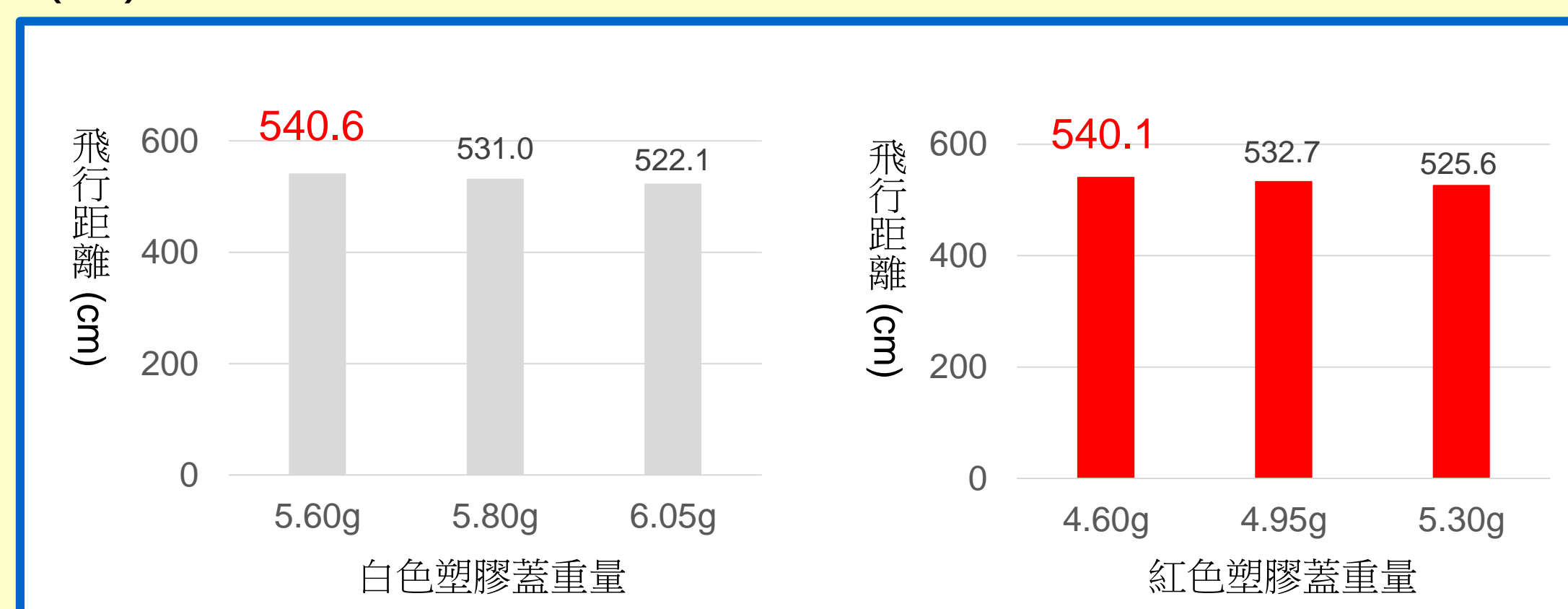


圖5-1-1：不同重量白色和紅色塑膠蓋飛行距離

實驗一討論：

白色最輕的塑膠蓋平均飛行距離是540.6cm，而紅色最輕的塑膠蓋平均飛行距離是540.1cm。不管是白色或是紅色的塑膠蓋，都是**重量比較輕的飛行距離會比較遠**。但是我們發現了一個有趣現象，對應白色和紅色兩種塑膠蓋的重量，**兩種的重量分別相差了1.00g這麼多**，但**平均飛行距離的數據為什麼會如此接近，只有差0.5cm呢？**

研究二：刻紋數目和刻紋間距是否會影響飛行距離的遠近？

- (一)盤緣刻紋數目和刻紋間距是否會影響飛行距離，重量相差1.00g的**白色(144齒、5.60g)**和**紅色(180齒、5.30g)**塑膠蓋拿來做飛行距離測試。
- (二)用卡典西德把紅色(4.60g)貼到跟白色(5.60g)一樣重來測試。
- (三)用透明膠帶把紅色和白色的盤緣刻紋貼掉來測試。

180齒 刻紋間距 0.1134 cm

相差 0.0283 cm

144齒 刻紋間距 0.1417 cm

圖4-3-1、圖4-3-2、圖4-3-3：不同刻紋數目的白色和紅色塑膠蓋

【評語】080123

1. 挑選大、中、小瓶蓋後，有確認瓶蓋大小不同，刻紋間距、材質是否相同？
2. 人為發射會有許多誤差，若能設計簡易旋轉發射機會更佳。
3. 能以各種變數探討瓶蓋飛行穩定性及轉彎特性。

圖5-2-2：「變化多端的瓶蓋棒球」評審評語

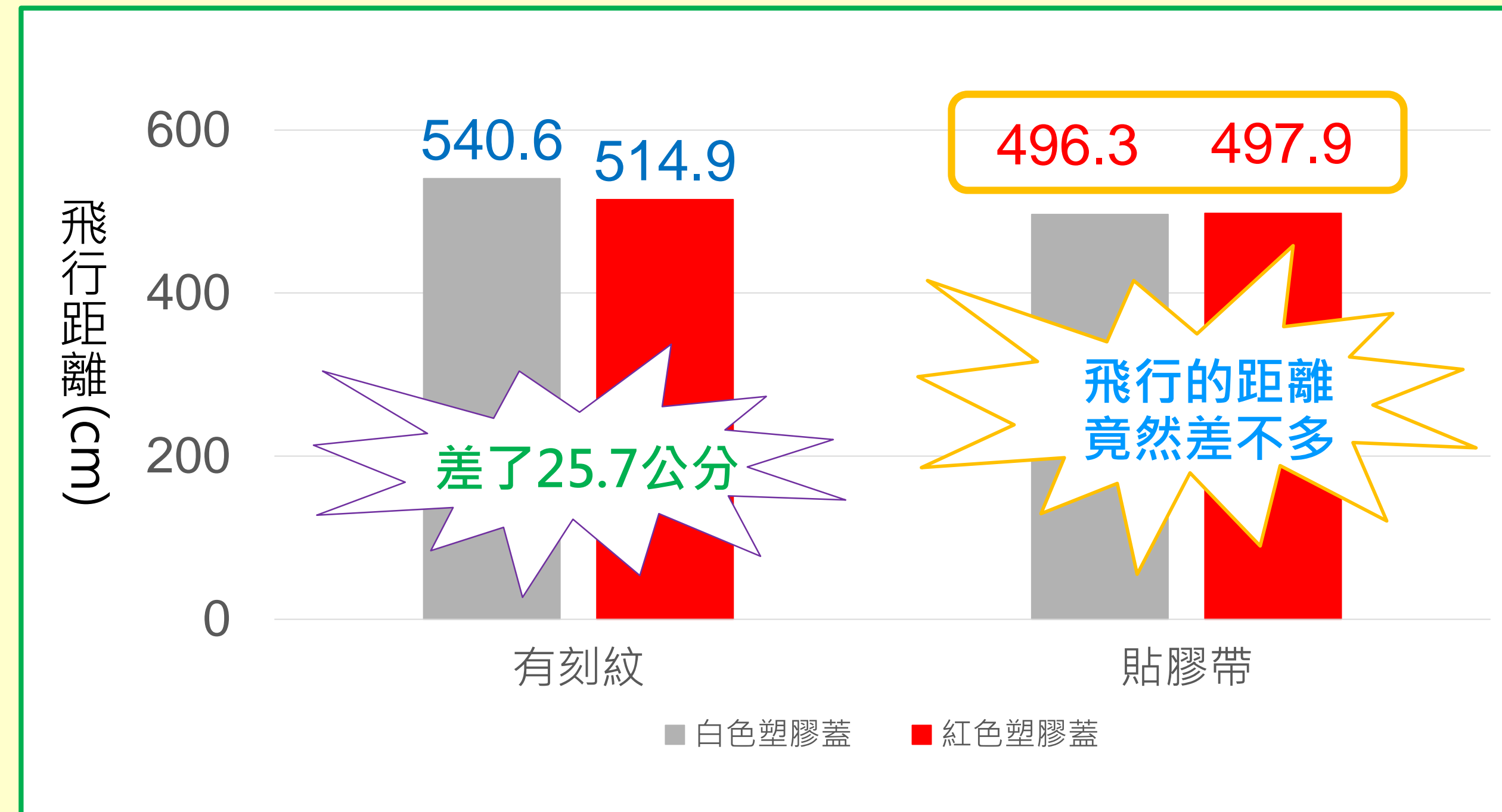


圖5-2-1：刻紋間距和有無刻紋對塑膠蓋飛行的影響

實驗二討論：

第59屆中小學科學展覽會作品—編號080123—變化多端的瓶蓋棒球，評審評語提到刻紋間距是否會影響飛行距離。針對刻紋間距這個變因，把紅色塑膠蓋貼卡典西德調整到和白色(5.60g)一樣來做飛行測試，白色平均飛行距離是540.6cm，而紅色是514.9cm，相差了25.7cm。但是如果把盤緣刻紋用膠帶貼掉，白色和紅色的飛行距離卻只差1.6cm，幾乎沒有差異，所以證明了刻紋間距是真的會影響塑膠蓋飛行距離的遠近。

研究三：盤緣刻紋深度和飛行距離的關係。

- (一)利用Autodesk和3D列印設計盤緣深度，尺寸分別有0.5、1.0和2.0mm三種。

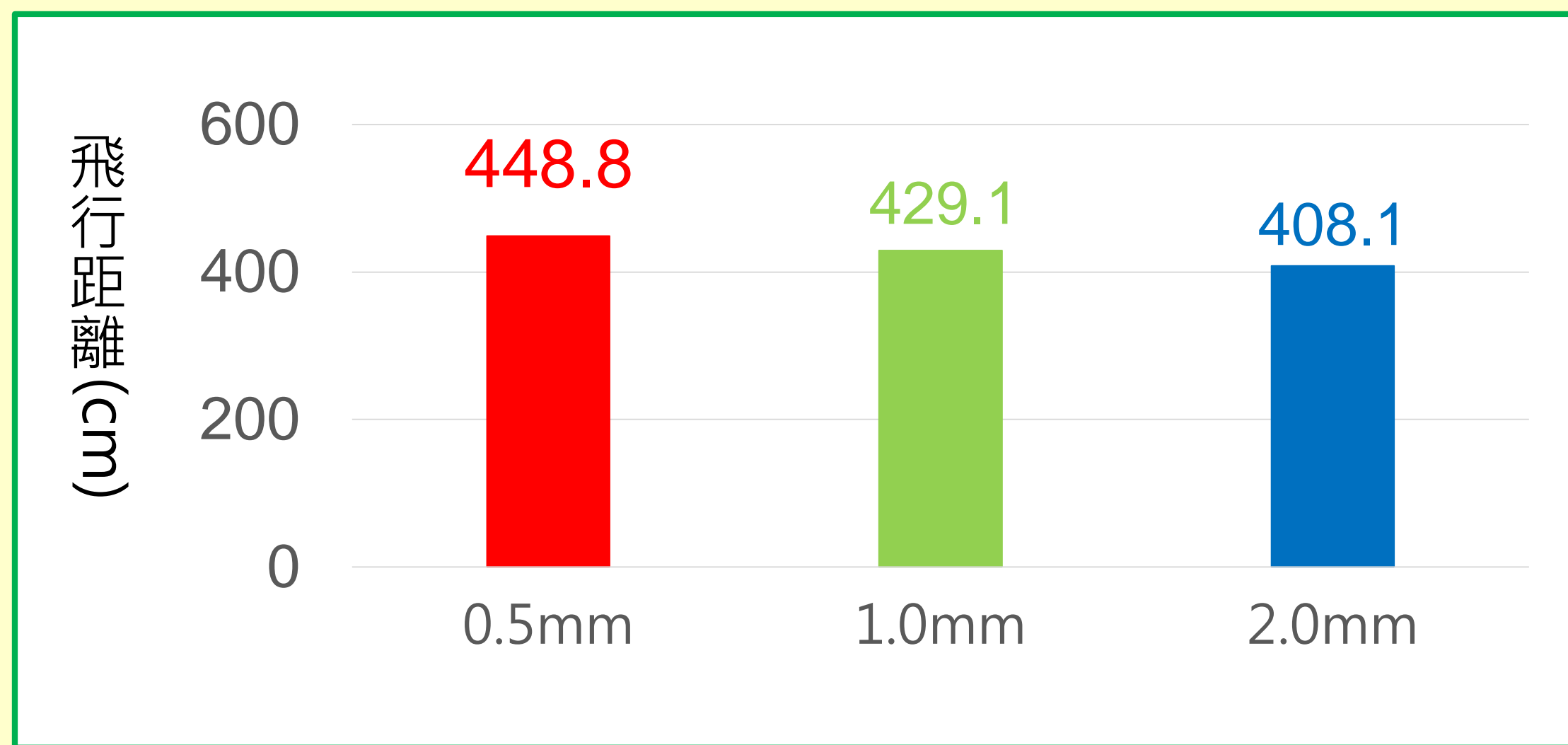


圖5-3-1：3D列印的不同盤緣深度塑膠蓋



圖4-4-1：3D列印不同盤緣深度塑膠蓋

實驗三討論：

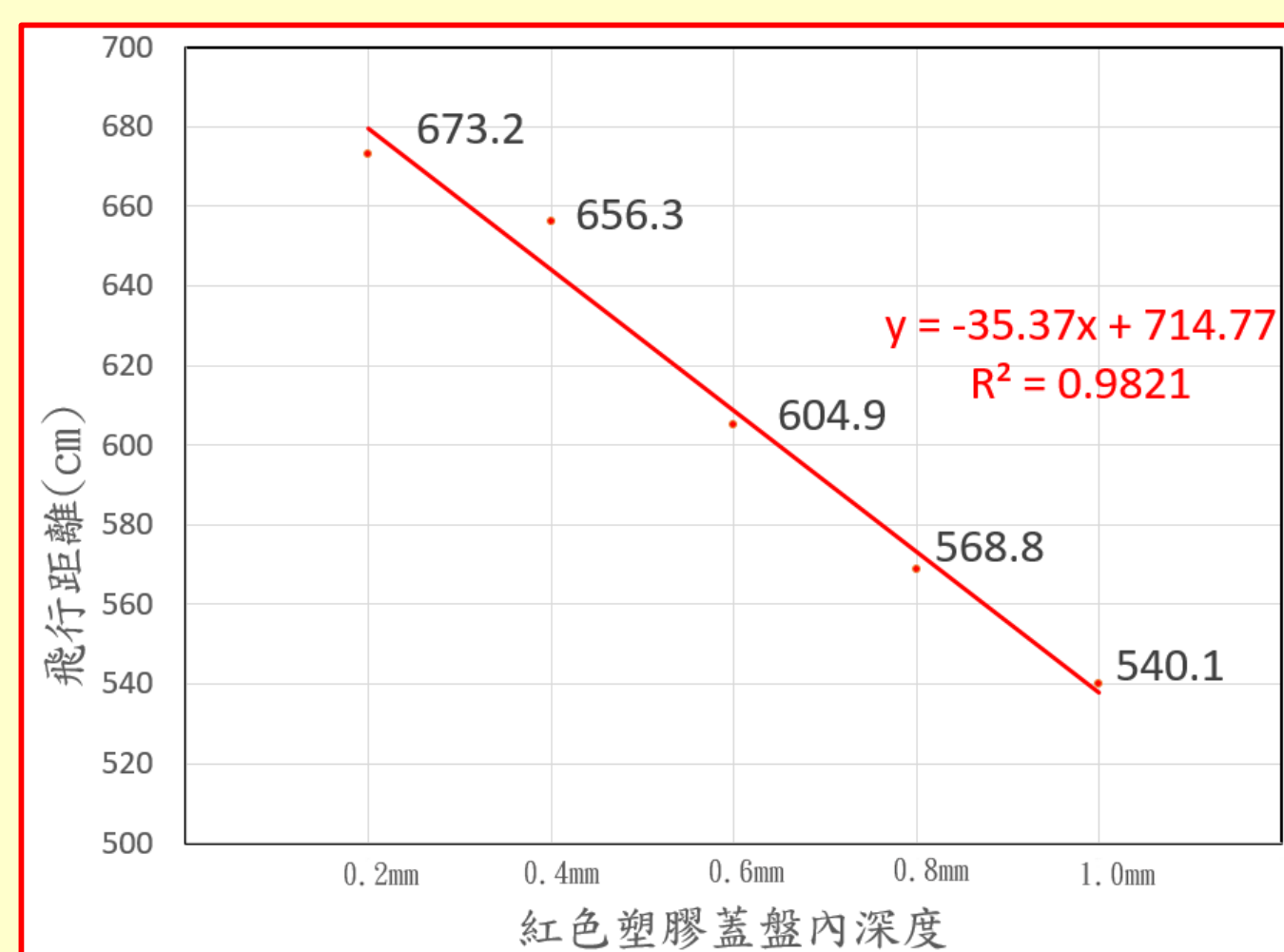
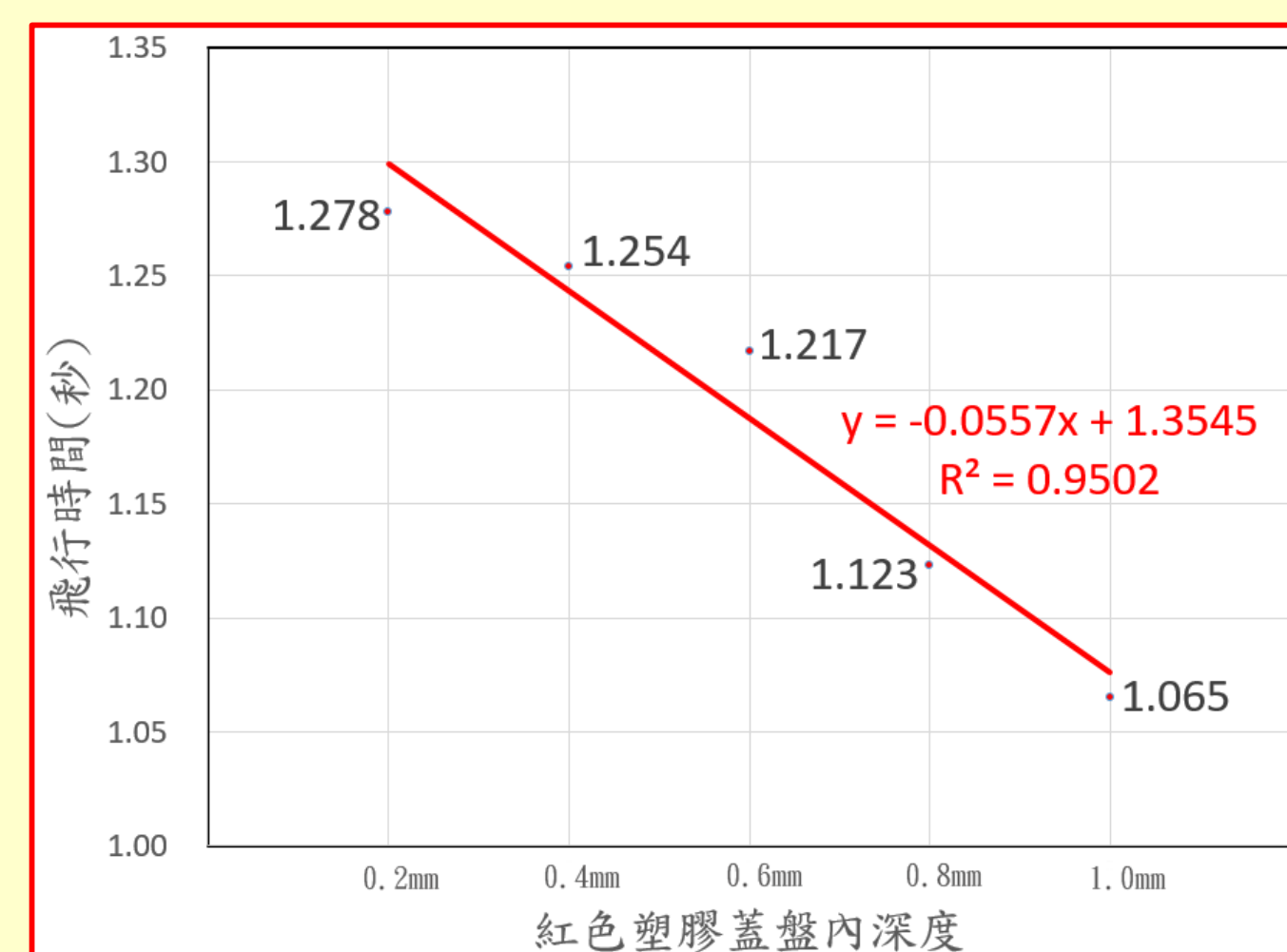
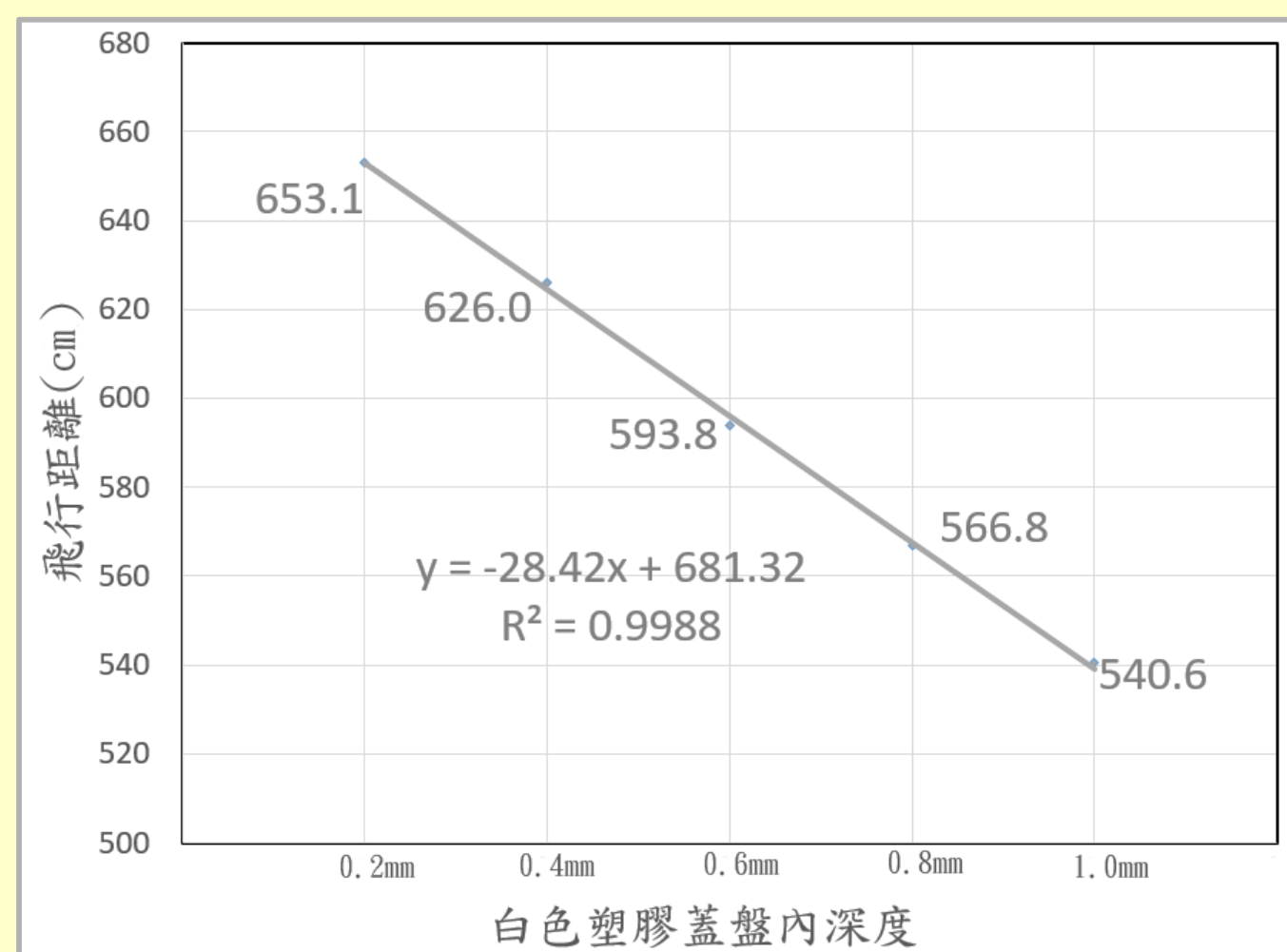
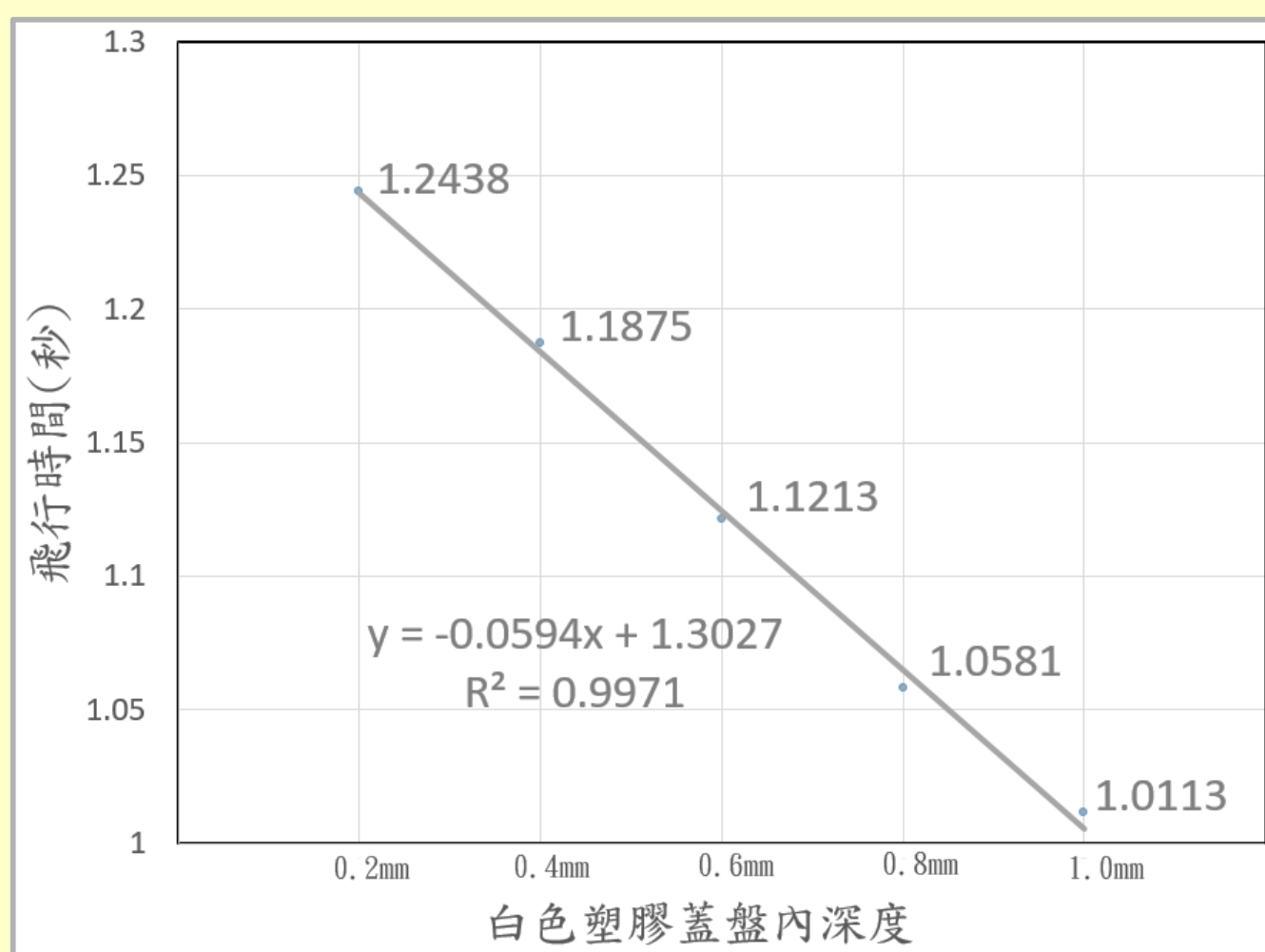
和資訊老師討論後，利用Autodesk和3D列印機設計三種不同的盤緣深度的塑膠蓋，從盤緣外側分別往內縮0.5、1.0和2.0mm，用卡典西德貼紙把它們增加到一樣重(8.40g)，實驗測試飛行後的數據448.8、429.1和408.1cm，我們原本認為應該是盤緣較明顯的深度(2.0mm)會飛比較遠，但是最後竟然是盤緣深度比較淺的塑膠蓋(0.5mm)反而飛得比較遠。

研究四：塑膠蓋的盤內深度會不會影響飛行距離遠近？

- (一)把塑膠蓋盤緣用美工刀削掉，原本盤內的深度是1.0cm，分別再做成0.8、0.6、0.4和0.2cm的盤內深度，用卡典西德增加到和原本的重量一樣。
- (二)不同盤內深度的塑膠蓋飛行時間不太一樣，所以測試多加一項飛行時間紀錄。



圖4-5-2：塑膠蓋不同的盤內深度



實驗四討論：

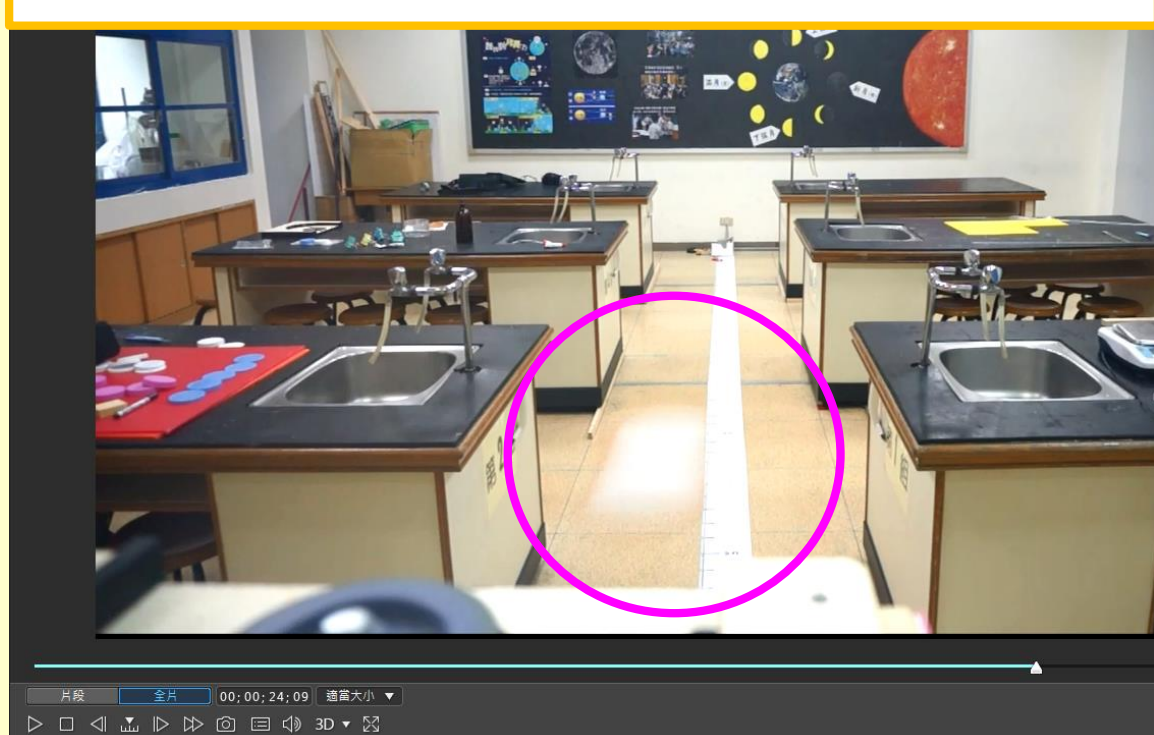
圖5-4-2、圖5-4-3：白色塑膠蓋不同盤內深度

圖5-4-4、圖5-4-5：紅色塑膠蓋不同盤內深度

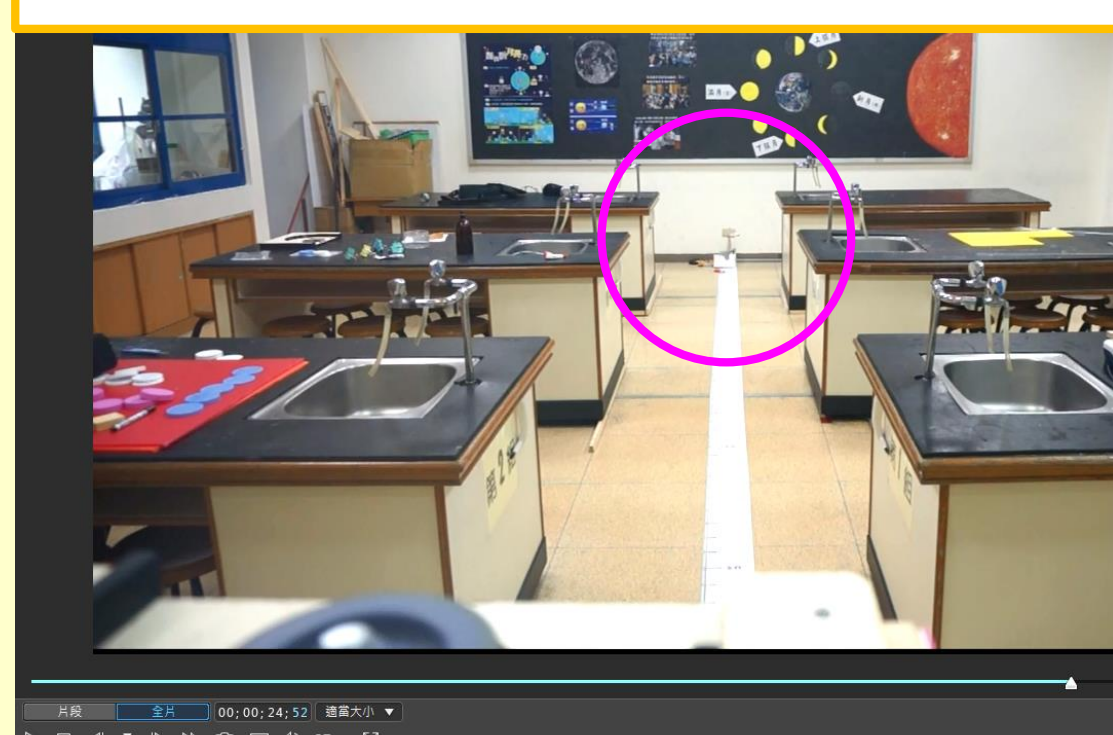
如果要讓塑膠蓋飛行距離比較遠的話，不是增加它飛出時的初速度，就是延長在空中飛行的時間。調整塑膠蓋側邊的盤內深度，依照實驗數據所呈現的，可以知道盤內深度最淺的0.2cm塑膠蓋，飛行距離和在空中飛行時間都是最久的。觀察白色和紅色不同盤內深度和飛行時間、距離的結果，以及根據線性迴歸分析，我們可以歸納出

- (一) 白色盤內深度與飛行時間的關係：【 $y = -0.0594x + 1.3027$ ； $x =$ 盤內深度(cm)， $y =$ 飛行時間(秒)】
- (二) 白色盤內深度與飛行距離的關係：【 $y = -28.42x + 681.32$ ； $x =$ 盤內深度(cm)， $y =$ 飛行距離(秒)】
- (三) 紅色盤內深度與飛行時間的關係：【 $y = -0.0557x + 1.3545$ ； $x =$ 盤內深度(cm)， $y =$ 飛行時間(秒)】
- (四) 紅色盤內深度與飛行距離的關係：【 $y = -35.37x + 714.77$ ； $x =$ 盤內深度(cm)， $y =$ 飛行距離(秒)】

出發 00:00:24:09



飛行 00:00:24:52



落地 00:00:25:32

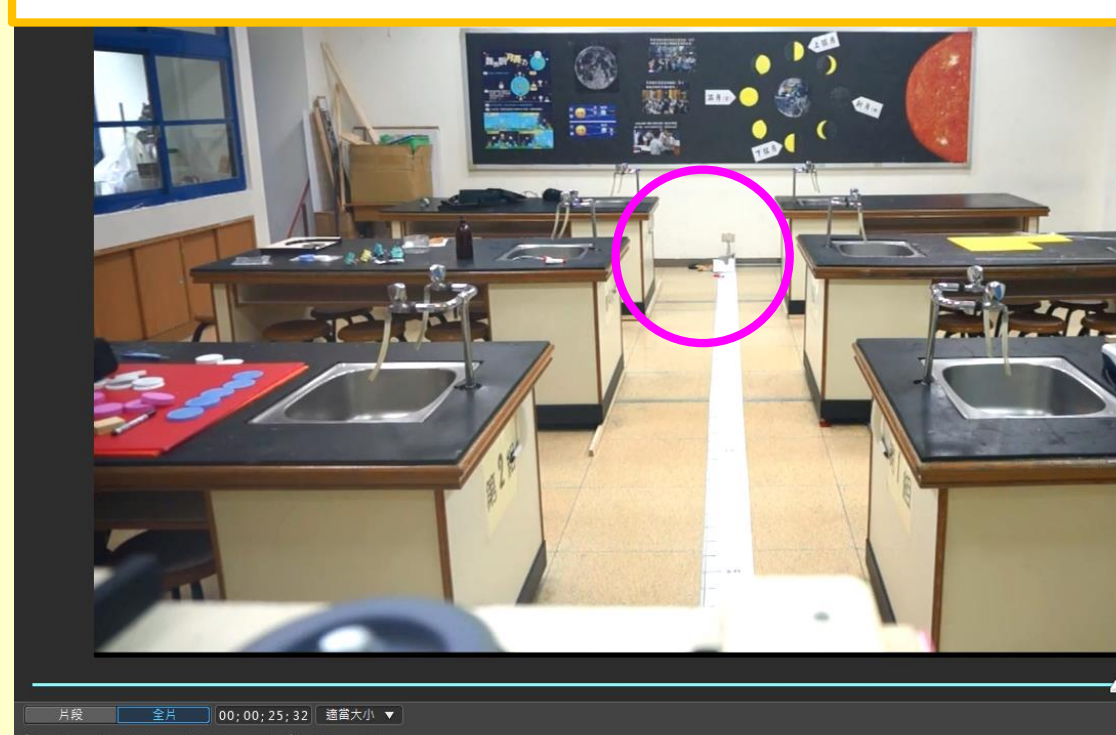


圖5-4-1：利用威力導演18計算塑膠蓋在空中飛行的時間

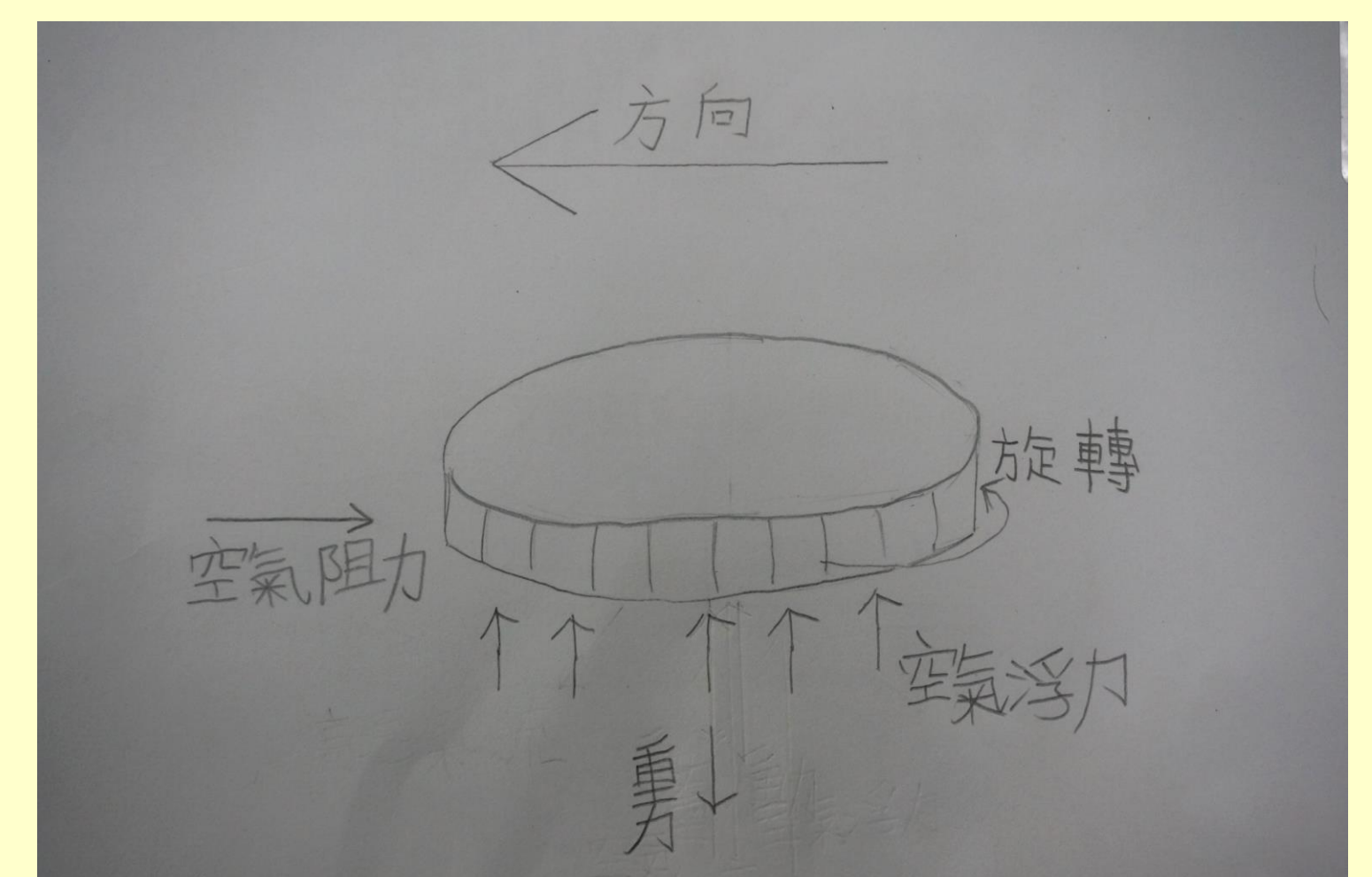


圖4-5-1：塑膠蓋飛行時的受力分析圖

研究五：盤面直徑不一樣的塑膠蓋飛行比較。

- (一)藍色(7.2cm)和白色(6.5cm)塑膠蓋的重量相同(5.80g)，還有盤內深度都是1.0cm，但是盤面直徑和盤緣刻紋數目卻有些不一樣。
- (二)把盤緣刻紋用透明膠帶貼掉，調整到只有盤面直徑不一樣的條件。

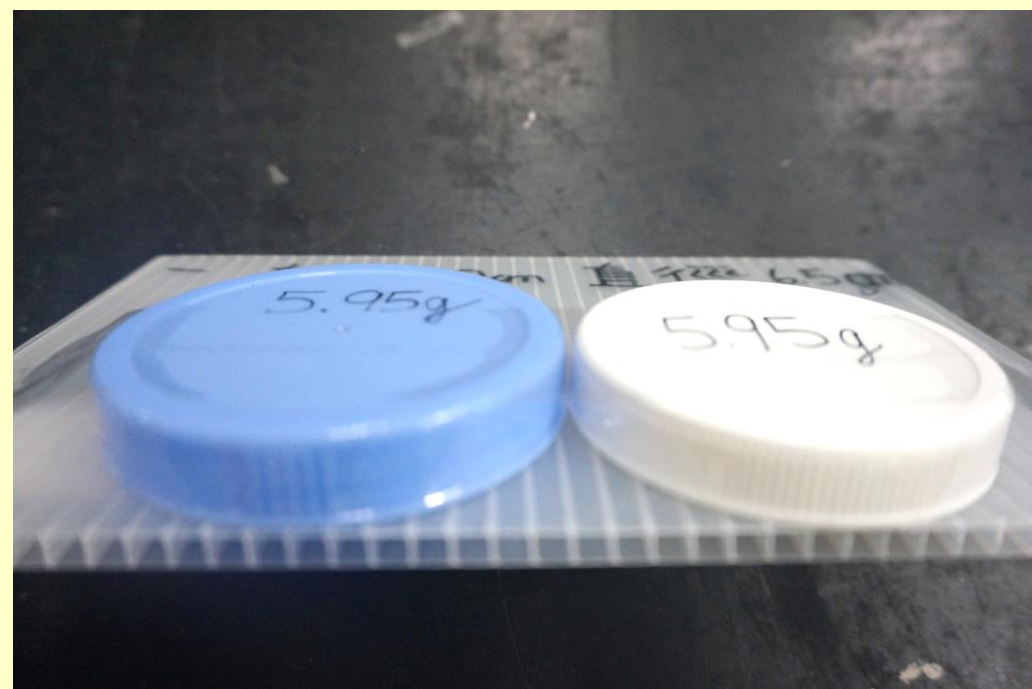


圖4-6-2、圖6-5-1：設計盤面直徑7.2公分軌道

實驗五討論：

盤面直徑不同的塑膠蓋，實驗測試後的數據分析顯示，盤面直徑越大的藍色塑膠蓋(7.2cm)，不管是在飛行時間和飛行距離上，都是比盤面直徑小一點的白色塑膠蓋(6.5cm)來得比較久和比較遠。平均飛行時間多0.035秒，而平均飛行距離多40.7cm。

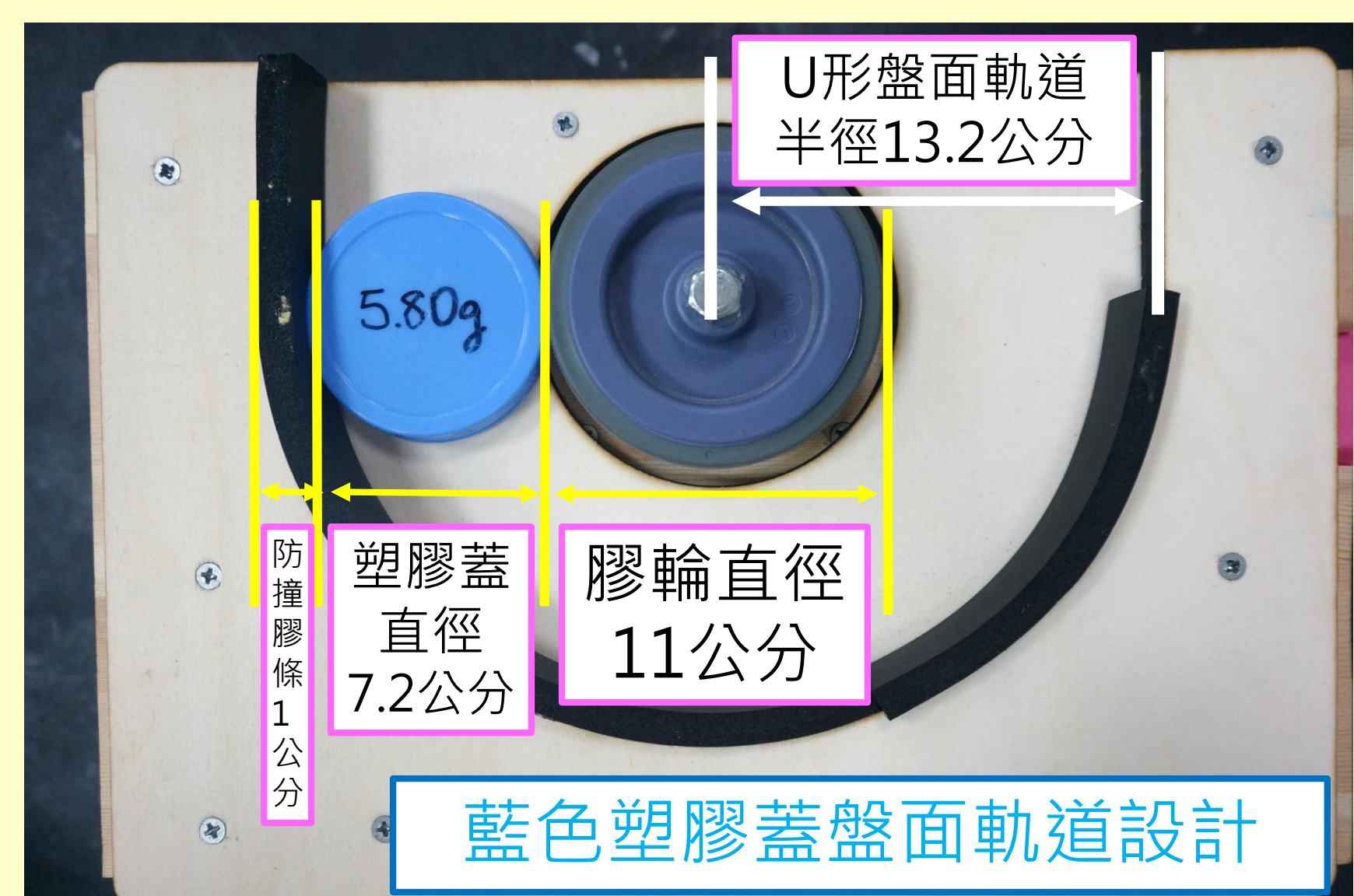


圖5-5-1：直徑7.2公分的盤面軌道

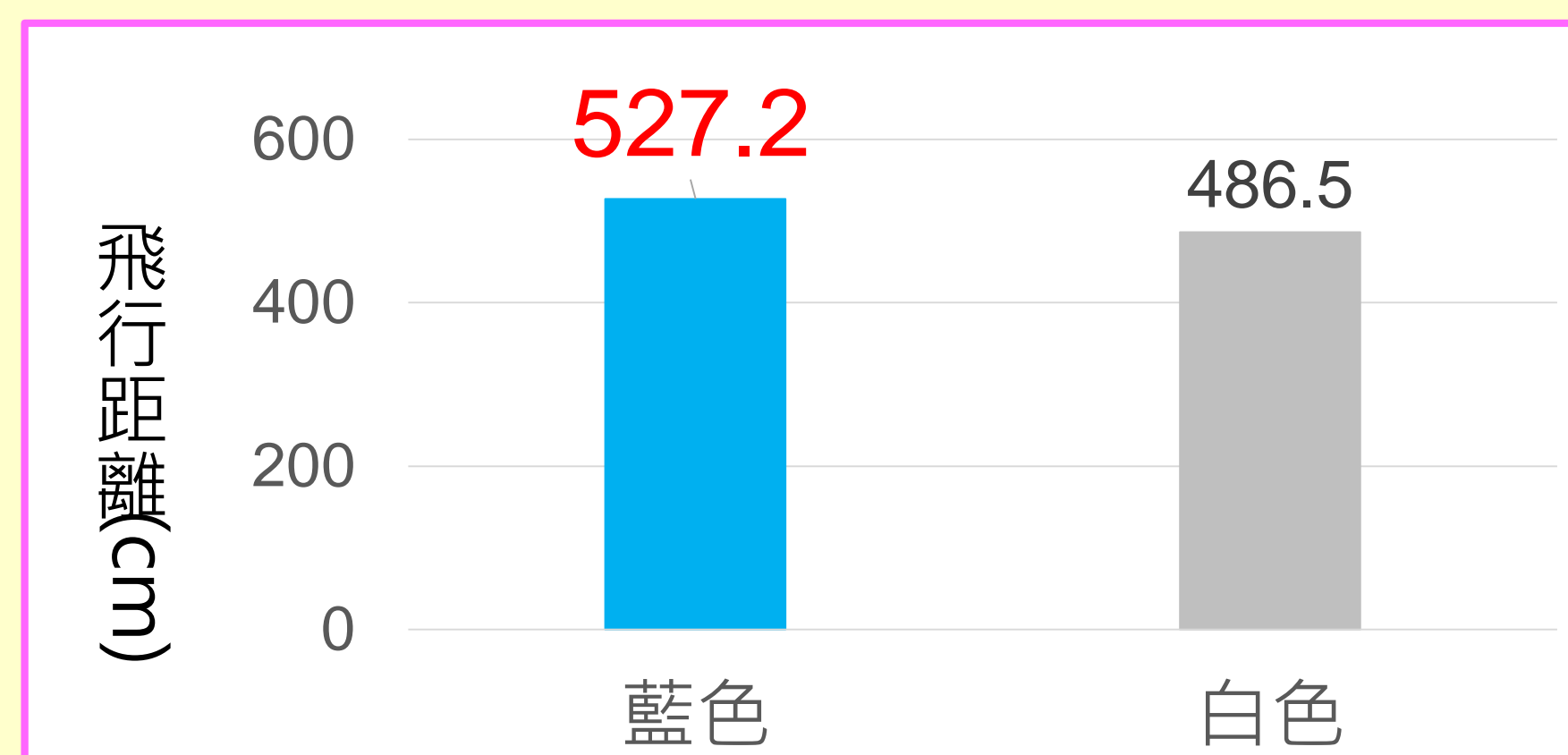


圖5-5-2：不同盤面直徑塑膠蓋飛行距離比較

研究六：改變藍色塑膠蓋發射角度的飛行情形。

- (一)改變塑膠蓋發射出去的角度，分別是向下5度、水平0度、向上2度、向上4度和向上3度共5種不同的攻角。
- (二)自然教室的距離已經不夠讓塑膠蓋飛行，所以選擇自然教室旁邊的走道做測試，一樣把周圍的門窗緊閉。

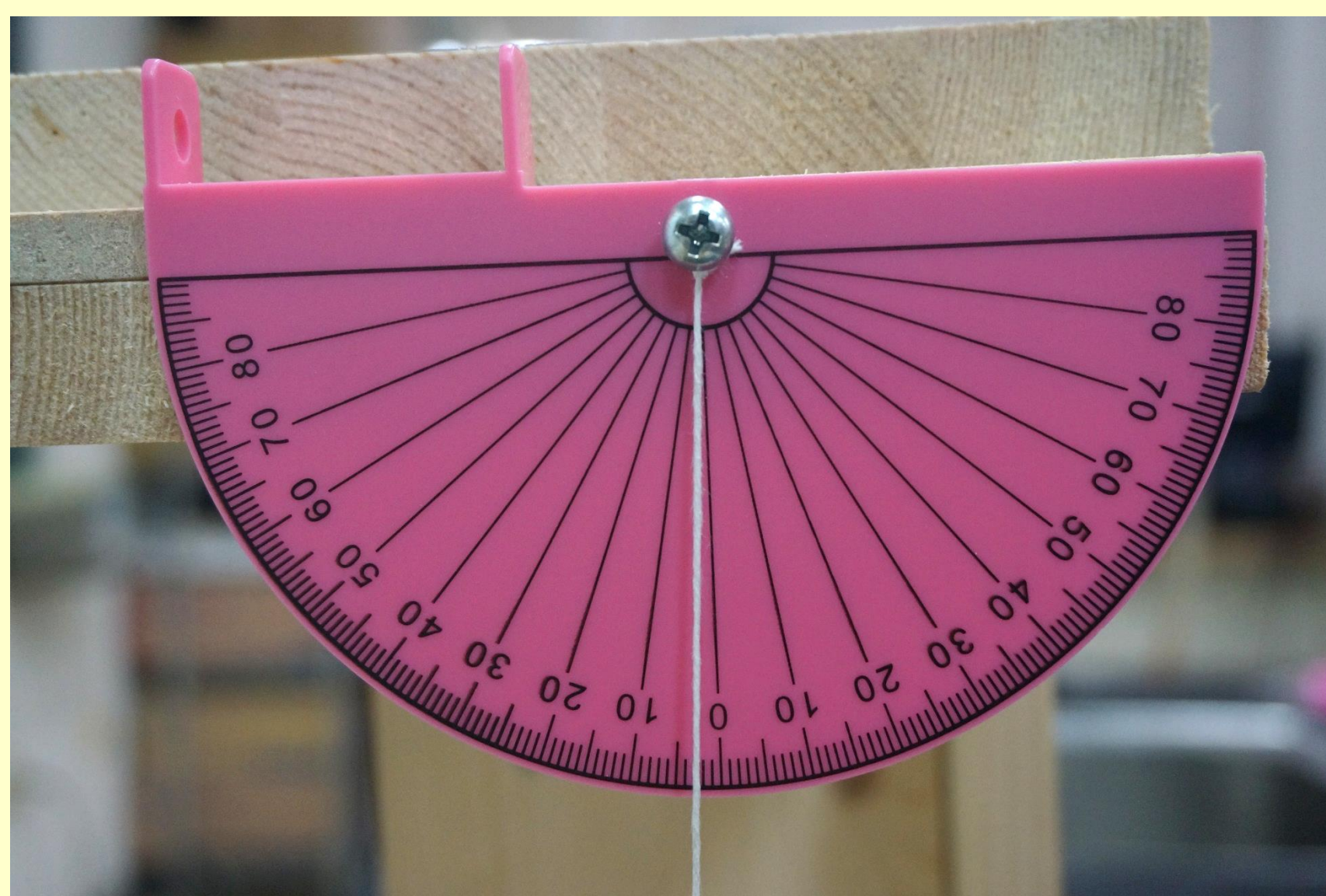


圖4-7-6：塑膠蓋攻角水平向上3度

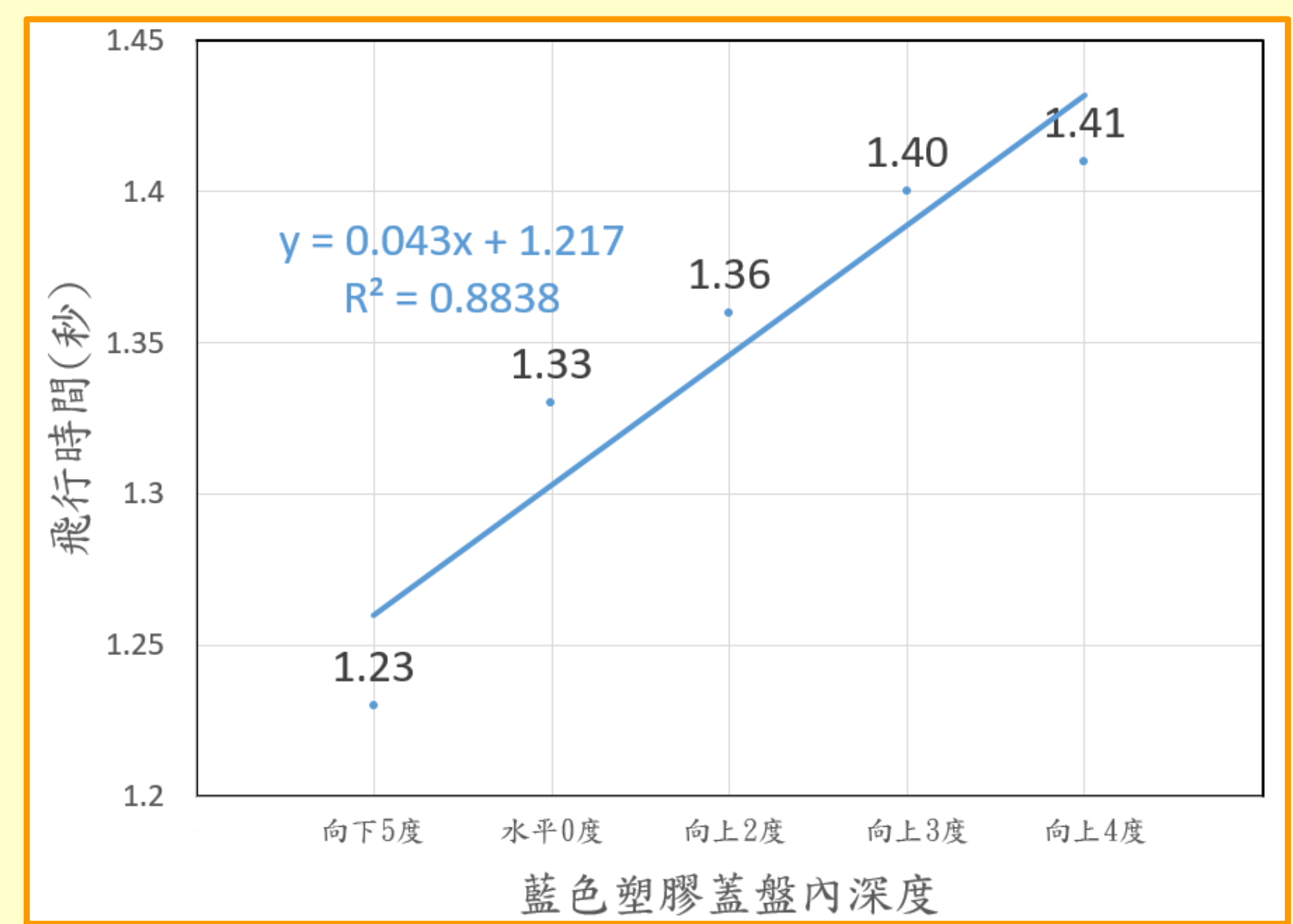
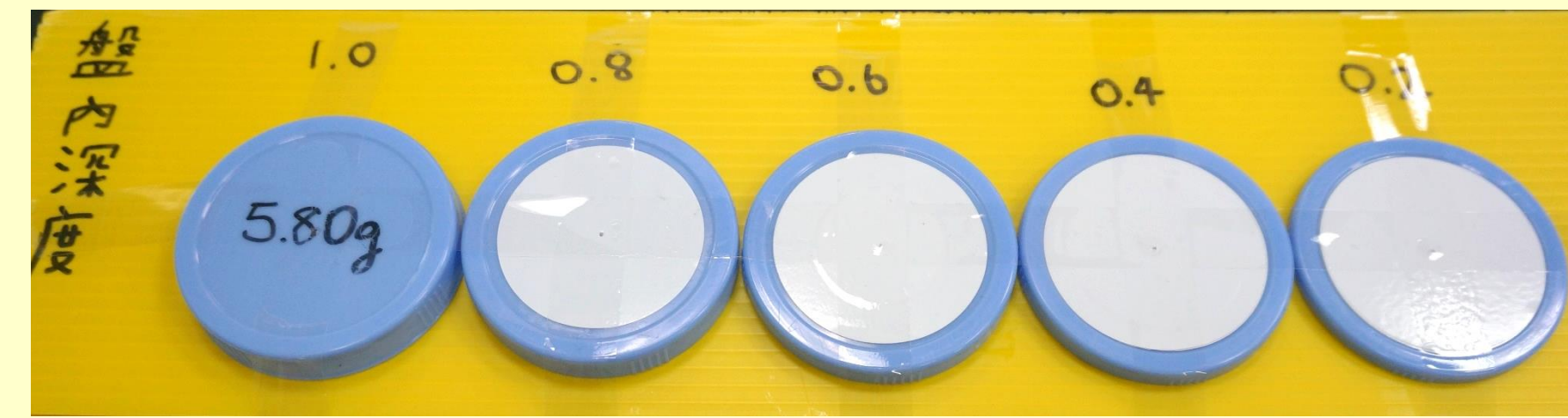


圖5-6-2：盤內深度0.2公分+水平向上3度攻角

實驗六討論：

測試藍色塑膠蓋飛行情形，攻角水平向下5°的平均飛行距離都是最近的，而水平向上的攻角2°、3°、4°平均飛行距離都會比水平0°的平均飛行距離還要遠。測試到的最佳攻角是3°，搭配盤緣寬度0.2cm時的平均飛行距離竟然有828.1cm，整間自然教室都不夠它飛行。

依據圖5-6-2，藍色塑膠蓋0.2cm盤內深度和不同攻角的對應實驗測試，線性分析是 $y=0.043x+1.217$ ， $R^2=0.8838$ 。而且我們觀察到一個有趣的情形，水平向上3°飛行距離最遠，但飛行時間卻不是最久，水平向上4°的飛行時間反而更久一些，我們觀察到向上4°滯留在空中時間比較久一點，而且有往回飛的現象。推論因為盤緣與空氣接觸面積變大，相對空氣阻力也增加，導致時間雖然增加，但距離卻比向上3°來得近。

伍、實驗結論

- 一、在比較不同重量白色和紅色塑膠蓋的飛行情形前，先做水平拋射實驗，得到了質量小的塑膠蓋，發射出去時的初速度大。測試飛行後得到的結論，重量輕的塑膠蓋初速度比較大，相對地飛行的距離就會比較遠。
- 二、白色(5.60g)和紅色(4.60g)最輕的塑膠蓋相差了1.00g這麼多，但平均飛行距離卻只差0.5cm。跟實驗一結論產生矛盾，我們發現盤緣的刻紋數目和刻紋間距不太相同，兩種塑膠蓋的盤緣刻紋間距相差0.0283cm，把條件調整到一樣再來做飛行測試，白色塑膠蓋比紅色塑膠蓋平均多飛行25.7cm。在五年級的力與運動單元裡曾經學過，在接觸面有紋路或表面粗糙的材質，可以增加物體的摩擦力。把盤緣刻紋用透明膠帶貼成光滑面，兩種塑膠蓋的平均飛行距離只差1.6cm，幾乎沒有差異，所以證明刻紋間距是真的會影響飛行距離的遠近。
- 三、用Autodesk和3D列印設計三種不同盤緣深度的塑膠蓋，測試結果竟然是盤緣深度0.5mm的飛行距離比較遠，我們的結論是雖然2.0mm和發射器膠輪、防撞膠條的摩擦力比較大，但是它在空中飛行時盤緣和空氣的接觸面積相對增加很多，所以空氣阻力也跟著變大，導致2.0mm的塑膠蓋飛行距離就會比較近一些。
- 四、如果要讓塑膠蓋飛行的距離比較遠的話，一個是增大它的初速度，另外一個便是延長它落地的時間，改變塑膠蓋的盤內深度便可以做到延長落地時間。根據圖3-4-1的理論分析，物體做水平拋射運動的落地時間是0.50秒，跟它們相同外觀的白色和紅色塑膠蓋平均分別飛行1.011秒和1.065秒，多出來的0.511秒和0.565秒的飛行時間就是「空氣浮力」所造成的。觀察迴歸分析圖的到兩個結論：
 - (一)由圖5-6-1、圖5-6-2的迴歸數據來分析，白色和紅色塑膠蓋的不同盤內深度，對應飛行時間(秒)和飛行距離(cm)的線性狀態有著高度的正相關。
 - (二)再分析各種相同深度的迴歸圖形，得到每組實驗也都是正相關的關係。
- 五、實驗五盤面直徑大的塑膠蓋在飛行時，它的空氣浮力相對的比盤面直徑小的塑膠蓋來得大一些，所以相同重量和光滑盤緣的藍、白色塑膠蓋來比較，藍色塑膠蓋便飛得比較遠。
- 六、實驗六不同盤內深度藍色塑膠蓋在做不同攻角的測試時，水平向上的2°、3°、4°、都比水平向下5°和水平0°來得遠，而且攻角3°是我們測試到的最佳發射角度，我們認為塑膠蓋在做斜向拋射的時候，除了發射器提供它飛行時的初速度，另外又結合了拋物線的原理，所以它才會飛得這麼遠。我們還觀察到一個有趣的現象，就是塑膠蓋在水平向上4°的攻角時，飛行時間是比較久的，但是飛行距離卻不是最遠的。為什麼會這樣呢？透過錄影設備，我們看到塑膠蓋在水平向上4°的攻角發射出去後，塑膠蓋和空氣的接觸面積變大，所以阻擋它往前飛行的空氣阻力會增加，它在空中飛行出去後，便會再往回飛一點點。

陸、參考資料與其他

- 一、自然與生活科技三上-康軒版、第三單元：看不見的空气。
- 二、自然與生活科技五上-康軒版、第四單元：力與運動。
- 三、網路資料：
 - 1、第59屆中小學科學展覽會國小組物理科—變化多端的瓶蓋棒球
 - 2、水平拋射運動-邱博文物理
 - 3、空氣動力學