

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

作品編號：

組別：
☒國小組
☐國中組
☐數學類
☒自然與生活科技類
☐人文社會類

作品名稱：

空中「圓」舞曲

—圓筒飛行器飛行之探討



第一階段 研究訓練階段

壹、課程理念

本校推動獨立研究課程，以培養學生探究精神、資料分析能力與科學態度。課程採中、高年級兩階段，循序建立工具操作、閱讀理解與研究方法，促使學生能自主完成小型研究。

貳、課程目標

- 一、建立資訊素養與研究態度。
- 二、熟悉文書、影像編輯與儀器操作。
- 三、了解研究流程並提出主題。
- 四、培養資料蒐集、整理與分析能力。
- 五、完成研究成果與歷程反思。

參、課程內容與架構

一、中年級

每週兩節，著重基礎能力訓練：

- (一) 網路資訊判讀、文書處理、Canva 設計。
- (二) 儀器操作與保養、閱讀摘要技巧。
- (三) 研究方法入門與議題觀察。
- (四) 搭配參訪與成果觀摩，引導學生從生活中發掘主題。

二、高年級

每週三節，聚焦研究執行：

- (一) 歷屆作品評析、主題選定與計畫撰寫。
- (二) 依方法蒐集資料並進行分析。
- (三) 撰寫研究報告並完成反思。
- (四) 教師提供指導與研究倫理提醒，協助學生完成專題。

肆、預期效益

學生能以系統方式進行探究，逐步具備研究方法、資料判讀、問題解決、成果呈現與自我反思之能力，達成素養導向學習目標。

第二階段 獨立研究

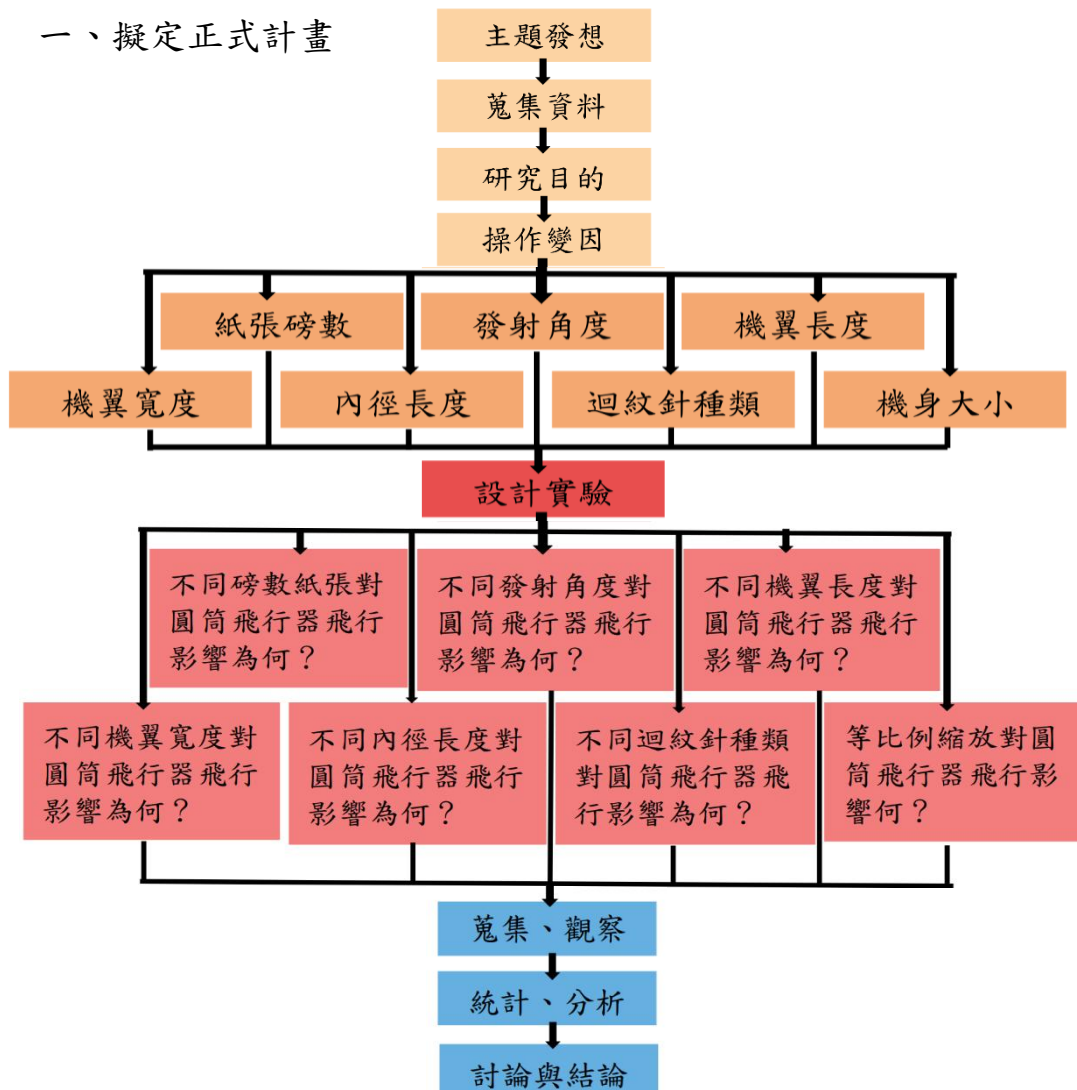
空中「圓」舞曲—圓筒飛行器飛行之探討

壹、研究動機

老師曾在課堂上播放「圓筒滑翔機」的影片，它的飛行軌跡與一般紙飛機不同，且在「康軒版」六年級上學期自然科學課本的第三單元《動物大解密》教到仿生學設計，說明飛機是模仿鳥類的飛行方式，機翼是模仿翅膀；在「南一版」六年級上學期數學課本的第七單元《速率》教到距離、時間和速率之間的關係。我們覺得紙飛機有幸福與美好的涵義，代表對未來的信心和期待，也能抒發心情、宣洩壓力。我們特地將「圓筒滑翔機」裝上翅膀，希望能研究出一款飛得更遠的「圓筒飛行器」，把滿載的幸福帶給更多人。

貳、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

一、擬定正式計畫



二、研究問題

- (一) 不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響為何？
- (二) 不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響為何？
- (三) 不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響為何？
- (四) 不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響為何？
- (五) 不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響為何？
- (六) 不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行影響為何？
- (七) 等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響為何？

三、研究目的

- (一) 了解不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響
- (二) 了解不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響
- (三) 了解不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響
- (四) 了解不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響
- (五) 了解不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響
- (六) 了解不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行影響
- (七) 了解等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響

四、工作進度表

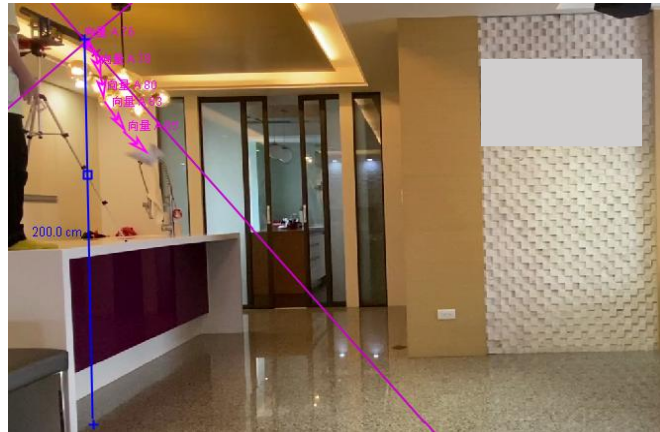
月份 項目	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
確定主題										
閱讀文獻										
製作機器										
學習操作 Tracker										
進行實驗										
資料分析										
撰寫論文										

參、彙整相關文獻

一、Tracker

Tracker 軟體是一個建立於 Open Source Physics Java 架構下的免費影像分析與建模工具，主要使用於物理教學。（摘錄自：<https://reurl.cc/yAbgMD>）

實驗中，為了將圓筒飛行器的飛行軌跡量化，測量並計算其移動距離，使用 Tracker 軟體來分析實驗飛行數據，如圖 3-1-1。



▲圖 3-1-1 Tracker 軟體軌跡示意圖

為了統整數據，將圓筒飛行器飛行影片利用 Tracker 軟體紀錄圓筒飛行器的移動數據，其使用流程如下表 3-1-1。

▼表 3-1-1 Tracker 軟體使用步驟流程表

步驟 1：匯入影片	步驟 2：編輯單位	步驟 3：新增校正桿																																																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>t (s)</th> <th>x (cm)</th> <th>y (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.475</td><td>0.120</td></tr> <tr><td>0.033</td><td>0.225</td><td>3.680E-2</td></tr> <tr><td>0.067</td><td>0.245</td><td>-1.673E-2</td></tr> <tr><td>0.100</td><td>0.151</td><td>6.960E-2</td></tr> <tr><td>0.133</td><td>0.152</td><td>5.180E-2</td></tr> <tr><td>0.167</td><td>8.894E-2</td><td>4.005E-2</td></tr> <tr><td>0.200</td><td>0.124</td><td>5.970E-2</td></tr> <tr><td>0.233</td><td>9.838E-2</td><td>3.139E-2</td></tr> <tr><td>0.267</td><td>4.408E-2</td><td>2.808E-2</td></tr> <tr><td>0.300</td><td>5.352E-2</td><td>2.041E-2</td></tr> <tr><td>0.333</td><td>6.894E-2</td><td>4.005E-2</td></tr> <tr><td>0.367</td><td>1.810E-2</td><td>7.719E-4</td></tr> <tr><td>0.400</td><td>0.512</td><td>0.122</td></tr> <tr><td>0.433</td><td>1.810E-2</td><td>7.719E-4</td></tr> <tr><td>0.467</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr> </tbody> </table>	t (s)	x (cm)	y (cm)	0.000	0.475	0.120	0.033	0.225	3.680E-2	0.067	0.245	-1.673E-2	0.100	0.151	6.960E-2	0.133	0.152	5.180E-2	0.167	8.894E-2	4.005E-2	0.200	0.124	5.970E-2	0.233	9.838E-2	3.139E-2	0.267	4.408E-2	2.808E-2	0.300	5.352E-2	2.041E-2	0.333	6.894E-2	4.005E-2	0.367	1.810E-2	7.719E-4	0.400	0.512	0.122	0.433	1.810E-2	7.719E-4	0.467	0.000	0.000
t (s)	x (cm)	y (cm)																																																
0.000	0.475	0.120																																																
0.033	0.225	3.680E-2																																																
0.067	0.245	-1.673E-2																																																
0.100	0.151	6.960E-2																																																
0.133	0.152	5.180E-2																																																
0.167	8.894E-2	4.005E-2																																																
0.200	0.124	5.970E-2																																																
0.233	9.838E-2	3.139E-2																																																
0.267	4.408E-2	2.808E-2																																																
0.300	5.352E-2	2.041E-2																																																
0.333	6.894E-2	4.005E-2																																																
0.367	1.810E-2	7.719E-4																																																
0.400	0.512	0.122																																																
0.433	1.810E-2	7.719E-4																																																
0.467	0.000	0.000																																																
步驟 4：設定坐標軸	步驟 5：新增向量	步驟 6：統整數據																																																

本次實驗所分析的數據包含移動距離、移動時間與速率，以移動距離作為主要觀察指標，並以其最佳數據作為下一組實驗的依據。若改以速率為主軸，雖然速率較慢時飛行軌跡通常較為平穩優雅，但在不同磅數紙張的實驗中，使用 200 磅紙張製作的圓筒飛行器因重量較重，速率反而較快，各項指標皆有其優缺點。因此，**本研究最終選擇以移動距離作為實驗結果分析的判斷標準。**

二、原理

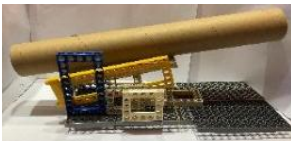
（一）科恩達效應：指流體和曲面之間的壓力低於流體周圍的壓力，產生向曲面壁的吸力。

（二）陀螺效應：指高速旋轉的物體在外力作用下，產生「進動」或「旋進」的現象，這是因為旋轉中的物體具有「角動量」，會抵抗其旋轉方向的改變。

三、設計圓筒飛行器發射器

為了讓圓筒飛行器能順利飛行，嘗試製作各類的發射器，其中以三種發射器為主，分別為第一代、第二代和第三代，將其優缺點進行分析比較，如下表 3-3-1。

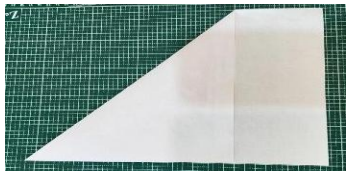
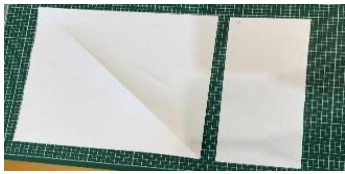
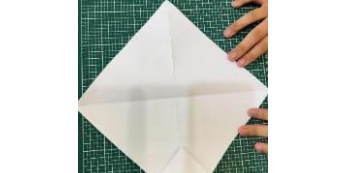
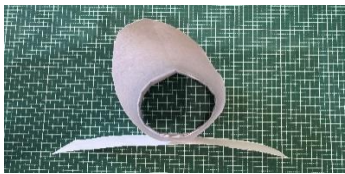
▼表 3-3-1 三代圓筒飛行器發射器功能比較表

	第一代	第二代	第三代
照片			
優點	發射力道較大。	發射距離較遠。	發射距離較遠、體積較小、摩擦力較小。
缺點	摩擦力較大、機身不穩固、造成機身變形。	摩擦力較大、機身不穩固。	機身不穩固。
修改過程	利用彈簧的彈力發射。	使用紙管，讓圓筒飛行器滑落。	加裝圖釘，以減少摩擦力。

四、製作圓筒飛行器步驟

在圓筒滑翔機在機身上方加上機翼，並將飛行器尾端形狀改為三角形，用來觀察對圓筒飛行器的滯空時間和移動距離之影響，圓筒飛行器的完成步驟，如下表 3-4-1。

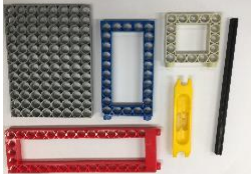
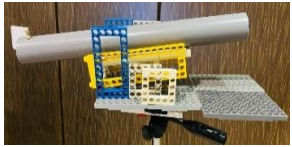
▼表 3-4-1 製作圓筒飛行器流程表

		
1. 將 A4 紙張攤平。	2. 拿起紙張一角摺到斜對角。	3. 將紙張剪開分成正方形和長方形。
		
4. 將正方形沿對角線對摺成三角形。	5. 攤開正方形，將三角形頂點對齊中央摺線。	6. 攤開，將三角形頂點對齊正方形 1/4 處的摺線。
		
7. 攤開，將三角形頂點對齊正方形 1/8 處的摺線。	8. 攤開，將三角形頂點對齊正方形 1/16 處的摺線。	9. 將紙張重複向上摺 11 次。
		
10. 向上摺完成圖。	11. 連接三角形兩角，以膠帶固定。	12. 黏上翅膀，完成。

五、實驗材料

製作圓筒飛行器發射器所使用到的材料，統整如下表 3-5-1。

▼表 3-5-1 圓筒飛行器發射器材料一覽表

名稱	Gigo 智高積木	相機腳架	橡皮筋
圖片			
介紹	「一凸五凹」結構積木。	用來穩定相機，防止晃動的支架。	橡膠、乳膠製成，用來捆綁物品。
名稱	塑膠水管	雙面膠	發射器
圖片			
介紹	以合成樹脂製成的管材。	用來黏住兩個不同的物體。	由以上材料做成的發射器。

製作圓筒飛行器發射器使用的材料，紀錄如下表 3-5-2。

▼表 3-5-2 圓筒飛行器材料一覽表

名稱	70 磅紙 (A4)	80 磅紙 (A4)	120 磅紙 (A4)
圖片			
介紹	每平方公尺 70 公克的紙張。	每平方公尺 80 公克的紙張。	每平方公尺 120 公克的紙張。
名稱	200 磅紙 (A4)	霧面膠帶	迴紋針
圖片			
介紹	每平方公尺 200 公克的紙張。	用於黏貼，容易撕起且無殘膠。	用於暫時固定紙張的工具。

六、歷屆科展相關作品

蒐集並參考了歷屆科展作品，將相關文獻分析如下表 3-6-1。

▼表 3-6-1 歷屆科展作品分析表

作者（年代）	題 目	重點與結論
蕭舜鴻、吳冠賢、林坤霈 (2007)	談紙神功-紙圓筒飛行器的滑翔研	攻角影響大於機翼形式、空氣反作用力提供紙圓筒飛行器滑翔所需升力主要力量、影響紙圓筒飛行器滑
林沅陞、賴昱丞 (2008)	復仇者的秘密-遠遠圓筒飛行器	改變紙圓筒飛行器的內摺次數、紙質、紙張磅數、翼間小翼、重心、機翼大小、重量，探討對其移動距離遠近與滯空時間長短的影響。
陳柏諺、黃亮豪、陳連達、蘇齊扶、陳祐瑱、鍾婷軒 (2012)	我的圓筒飛行器會轉彎～紙圓筒飛行器迴旋飛行之探究～	本研究主要探討紙圓筒飛行器在投射時，改變機翼、地面角度、機翼面積、紙質、重心、升降翼厚度、角度大小、翼尖帆厚度、角度大小，對圓筒飛行器迴旋的影響。
余皓維、洪彥文 (2013)	圓走高飛	改變圓環飛行器圓周長、長度、材質及尾翼形狀，尋找移動距離最遠組合。
陳昭熙、洪稚森、孫琮原、蘇柏愷、謝徐家 (2017)	凌空飛翔的紙蟬	探討影響圓筒滑翔機移動距離的因素。控制環境因素選定了教室作為實驗地點。自製發射器控制發射時力道大小和發射角度。

肆、資料分析

一、不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響為何？

使用不同磅數紙張製成圓筒飛行器對飛行之影響，實驗步驟如表 4-1-1，將實驗記錄如表 4-1-2。

(一) 實驗變因

1. 操縱變因：紙張磅數
2. 控制變因：發射角度、機翼長度、機翼寬度、內徑長度
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-1-1 不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響實驗步驟表

		
不同磅數紙張	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-1-2 不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響實驗記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
70 磅	移動距離 (公分)	52.82	63.40	55.24	55.89	54.05	49.36	61.90	56.63	51.27	55.62	52.82
	移動時間 (秒)	1.57	1.47	1.40	1.40	1.70	1.57	1.57	1.57	1.60	1.54	1.57
	速率 (公分/秒)	33.64	1.07	24.03	39.92	31.79	31.44	61.90	36.07	32.04	13.40	30.53
80 磅	移動距離 (公分)	96.78	81.32	43.59	49.61	88.64	91.06	81.50	80.17	54.79	74.16	96.78
	移動時間 (秒)	1.37	1.31	1.24	1.34	1.33	1.24	1.40	1.37	1.17	1.31	1.37
	速率 (公分/秒)	70.64	62.08	35.15	37.02	66.65	73.44	58.21	58.52	46.83	56.50	70.64
120 磅	移動距離 (公分)	24.47	24.56	15.74	41.51	24.27	38.27	34.78	28.90	28.12	28.96	24.47
	移動時間 (秒)	1.17	0.87	0.97	0.94	0.94	1.24	0.93	1.00	1.01	1.01	1.17
	速率 (公分/秒)	20.91	28.23	16.23	44.16	25.82	30.86	37.40	28.90	27.84	28.93	20.91
200 磅	移動距離 (公分)	74.51	35.17	37.97	26.38	16.56	62.07	27.52	42.57	25.52	38.70	74.51
	移動時間 (秒)	0.93	0.84	0.77	0.90	0.77	0.93	0.86	0.56	0.87	0.83	0.93
	速率 (公分/秒)	80.12	41.87	49.31	29.31	21.51	66.74	32.00	76.02	29.33	47.36	80.12

由表 4-1-2 可得知，在不同磅數紙張對飛行器飛行影響實驗，70 磅圓筒飛行器平均移動距離為 52.82 公分；80 磅圓筒飛行器平均移動距離為 96.78 公分；120 磅圓筒飛行器平均移動距離為 24.47 公分；200 磅圓筒飛行器平均移動距離為 74.51 公分，由此可知 80 磅圓筒飛行器平均移動距離最長，120 磅平均移動距離最短。

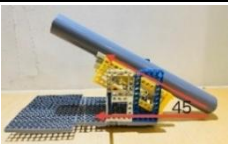
二、不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響為何？

使用不同發射角度的 80 磅紙張圓筒飛行器對飛行之影響，實驗步驟如表 4-2-1，將實驗記錄如表 4-2-2。

(一) 實驗變因

1. 操縱變因：發射角度
2. 控制變因：機翼長度、紙張磅數、機翼寬度、內徑長度
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-2-1 不同發射角度對飛行之影響實驗步驟表

		
不同發射角度	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-2-2 不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響實驗記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
15 度	移動距離 (公分)	55.06	57.91	57.87	48.10	73.44	63.25	60.83	38.22	50.81	42.60	54.81
	移動時間 (秒)	1.23	1.31	1.47	1.27	1.80	1.50	1.54	1.27	1.30	0.97	1.37
	速率 (公分/秒)	44.76	44.21	39.37	37.87	40.80	41.17	39.50	30.10	39.09	43.92	40.08
30 度	移動距離 (公分)	31.78	45.21	50.62	38.32	43.39	51.24	42.40	48.31	89.95	62.14	50.34
	移動時間 (秒)	1.00	1.10	1.10	1.33	1.34	1.67	1.36	1.44	1.37	1.00	1.27
	速率 (公分/秒)	31.78	41.10	46.02	28.81	42.40	30.68	31.18	33.55	65.66	1.26	35.24
45 度	移動距離 (公分)	44.98	51.40	38.15	49.53	96.22	63.18	37.53	57.77	53.60	82.32	57.47
	移動時間 (秒)	1.10	1.14	1.13	1.10	1.21	1.37	1.14	1.17	1.17	1.03	1.16
	速率 (公分/秒)	40.89	45.08	33.76	45.03	79.52	46.12	32.92	49.38	45.81	79.92	49.84
60 度	移動距離 (公分)	36.94	34.86	24.71	28.40	31.03	32.69	25.09	46.82	34.42	28.78	32.37
	移動時間 (秒)	1.04	1.07	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	0.93	1.07	0.90	1.00
	速率 (公分/秒)	35.52	32.17	24.71	28.40	32.00	32.69	25.09	50.34	32.17	32.00	32.51

由表 4-2-2 可得知，在不同發射角度對飛行器飛行影響實驗，發射角度為 15 度平均移動距離為 54.81 公分；發射角度為 30 度平均移動距離為 50.34 公分；發射角度為 45 度平均移動距離為 57.47 公分；發射角度為 60 度平均移動距離為 32.37 公分，由此可知發射角度為 45 度平均移動距離最遠，60 度平均移動距離最短。

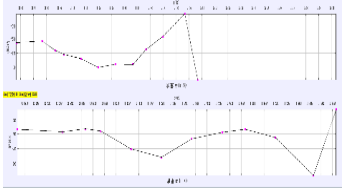
三、不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響為何？

使用不同機翼長度的圓筒飛行器對飛行之影響，實驗步驟如表 4-3-1，將實驗記錄如表 4-3-2。

(一) 實驗變因

1. 操縱變因：機翼長度
2. 控制變因：發射角度、紙張磅數、機翼寬度、內徑長度
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-3-1 不同機翼長度對圓筒飛行器飛行之影響實驗步驟表

		
不同機翼長度飛行	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-3-2 不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響實驗記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
21 公分	移動距離 (公分)	75.19	73.70	56.29	54.21	51.85	42.81	36.19	84.99	56.58	58.88	59.07
	移動時間 (秒)	0.97	0.83	0.67	0.73	0.77	0.41	0.53	0.97	0.40	0.47	0.86
	速率 (公分/秒)	77.52	88.80	84.01	74.26	67.34	104.41	68.28	87.62	141.41	125.28	91.90
23 公分	移動距離 (公分)	75.58	56.13	96.31	82.11	65.18	112.67	64.16	60.90	91.82	124.25	82.91
	移動時間 (秒)	1.56	1.34	1.63	1.33	1.10	1.87	1.26	1.37	1.14	2.37	1.50
	速率 (公分/秒)	48.45	41.89	59.09	61.74	59.25	60.25	50.92	44.45	80.54	52.43	55.90
25 公分	移動距離 (公分)	63.85	35.20	38.01	62.26	72.50	35.73	48.30	62.09	47.55	38.76	50.43
	移動時間 (秒)	1.63	1.26	1.03	0.90	1.40	1.40	0.87	1.06	0.80	1.13	1.15
	速率 (公分/秒)	39.17	27.94	36.90	69.18	51.79	25.52	55.52	58.58	59.44	34.30	45.83
27 公分	移動距離 (公分)	52.48	60.73	38.78	39.02	34.50	53.31	38.80	42.00	45.90	63.31	46.88
	移動時間 (秒)	1.17	1.10	1.07	1.10	1.20	1.10	1.20	1.17	1.13	1.13	1.14
	速率 (公分/秒)	44.85	55.21	36.24	35.47	28.75	48.46	32.33	35.90	40.62	56.03	41.39
29 公分	移動距離 (公分)	77.78	52.07	51.47	59.85	52.64	87.80	41.48	71.36	112.92	101.34	70.87
	移動時間 (秒)	1.60	2.01	1.27	2.04	2.11	1.71	1.37	1.90	1.97	1.87	1.79
	速率 (公分/秒)	48.61	25.91	40.53	29.34	24.95	51.35	30.28	37.56	57.32	54.19	40.00

由表 4-3-2 可得知，在不同機翼長度對飛行器飛行之影響實驗中，在機翼長度 21 公分的平均移動距離為 59.07 公分；23 公分的平均移動距離為 82.91 公分；25 公分的平均移動距離為 50.43 公分；27 公分的平均移動距離為 46.88 公分；29 公分的平均移動距離為 70.87 公分，由此可得知機翼長度 23 公分的平均移動距離最長，機翼長度 27 公分移動距離最短。

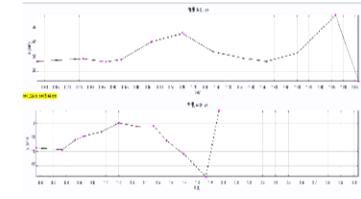
四、不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響為何？

使用不同機翼寬度的圓筒飛行器對飛行之影響，實驗步驟如表 4-4-1，將實驗記錄如表 4-4-2。

(一) 實驗變因

1. 操縱變因：不同機翼寬度
2. 控制變因：發射角度、紙張磅數、機翼長度、內徑長度
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-4-1 不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響實驗步驟表

		
不同機翼寬度飛行器	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-4-2 不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響實驗記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
3.2 公分	移動距離 (公分)	78.73	76.76	96.15	81.80	77.09	88.08	83.15	101.60	86.62	65.37	83.54
	移動時間 (秒)	1.40	1.40	1.20	1.37	1.37	1.33	1.26	1.30	1.40	1.27	1.33
	速率 (公分/秒)	56.24	54.83	80.13	59.71	56.27	66.23	66.00	78.15	61.87	51.47	63.09
4.2 公分	移動距離 (公分)	62.84	39.55	54.14	43.68	59.58	51.61	74.77	62.44	63.02	71.68	8.33
	移動時間 (秒)	1.67	1.36	1.24	1.33	1.97	1.60	1.70	1.63	1.53	1.20	1.52
	速率 (公分/秒)	37.63	29.08	43.66	32.84	30.24	32.26	43.98	38.31	41.19	59.73	38.89
5.2 公分	移動距離 (公分)	90.09	89.85	70.04	118.56	84.74	95.96	129.63	102.63	93.55	143.34	101.84
	移動時間 (秒)	1.64	1.60	1.60	1.81	1.60	1.50	1.84	1.47	1.84	1.40	1.63
	速率 (公分/秒)	54.93	56.16	43.78	65.50	52.96	63.97	70.45	69.82	50.84	102.39	63.08
6.2 公分	移動距離 (公分)	56.38	62.73	67.49	47.55	65.23	57.86	59.07	67.10	56.31	59.22	59.89
	移動時間 (秒)	1.33	1.50	1.47	1.44	1.43	2.50	2.83	1.50	1.37	1.57	1.69
	速率 (公分/秒)	42.39	41.82	45.91	33.02	45.62	23.14	20.87	44.73	41.10	37.72	37.63

由表 4-4-2 可得知，在不同機翼寬度對飛行器飛行影響實驗，機翼寬度為 3.2 公分平均移動距離為 83.54 公分；4.2 公分平均移動距離為 8.33 公分；5.2 公分平均移動距離為 101.84 公分；6.2 公分平均移動距離為 59.89 公分，由此可知機翼寬度 5.2 公分平均移動距離最遠，機翼寬度 4.2 公分平均移動距離最短。

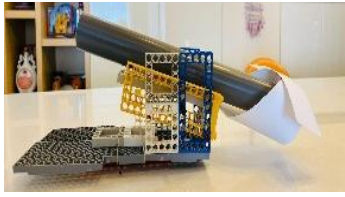
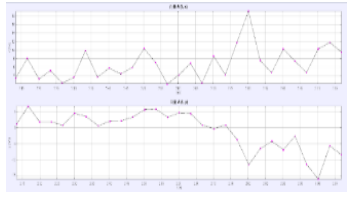
五、不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響為何？

使用不同內徑長度的圓筒飛行器對飛行之影響，實驗步驟如表 4-5-1，將實驗記錄如表 4-5-2。

（一）實驗變因

1. 操縱變因：內徑長度
2. 控制變因：發射角度、紙張磅數、機翼長度、機翼寬度
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-5-1 不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響實驗步驟表

		
不同內徑長度飛行	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-5-2 不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響實驗紀錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
6 公分	移動距離 (公分)	58.04	57.02	60.35	62.21	59.84	56.90	62.14	73.16	66.06	64.89	62.06
	移動時間 (秒)	1.07	1.40	1.34	1.44	1.20	1.17	1.50	1.20	1.17	1.57	1.30
	速率 (公分/秒)	54.34	40.70	45.21	43.35	49.87	48.72	41.37	60.92	56.56	41.38	48.24
7 公分	移動距離 (公分)	52.65	33.49	37.33	43.55	35.10	50.85	50.60	30.07	27.59	52.80	41.40
	移動時間 (秒)	0.74	0.87	0.87	0.90	0.74	0.67	0.74	0.74	0.74	0.64	0.77
	速率 (公分/秒)	71.63	38.57	42.99	48.30	47.76	76.08	68.84	40.91	37.54	83.15	55.58
8 公分	移動距離 (公分)	76.98	85.18	58.47	67.84	100.66	62.13	58.47	94.97	62.47	123.69	79.09
	移動時間 (秒)	0.80	0.90	0.87	0.87	0.94	0.94	0.90	0.87	0.97	0.90	0.89
	速率 (公分/秒)	96.02	94.47	67.34	78.28	107.66	66.45	64.97	109.37	64.51	137.18	88.62
9 公分	移動距離 (公分)	32.19	109.12	65.96	55.04	115.92	123.96	58.23	116.97	35.40	72.59	78.54
	移動時間 (秒)	1.57	1.37	1.24	1.40	1.17	1.24	1.64	1.07	1.64	1.60	1.39
	速率 (公分/秒)	20.53	79.75	53.41	39.27	99.22	100.37	35.61	109.49	21.65	45.34	60.46

由表 4-5-2 可得知，在不同內徑長度對飛行器飛行影響實驗，內徑長度為 6 公分平均移動距離為 62.06 公分；7 公分平均移動距離為 41.40 公分；8 公分平均移動距離為 79.09 公分；9 公分平均移動距離為 78.54 公分，由此可知內徑長度為 8 公分圓筒飛行器平均移動距離最遠，內徑長度為 7 公分平均移動距離最短。

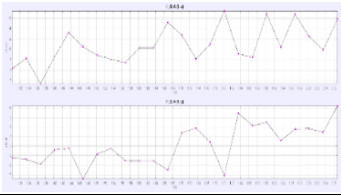
六、不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行之影響？

使用不同種類迴紋針置放在圓筒飛行器機翼與機身連結處對飛行之影響，實驗步驟如表 4-6-1，將實驗記錄如表 4-6-2。

(一) 實驗變因

1. 操縱變因：不同種類迴紋針
2. 控制變因：發射角度、紙張磅數、機翼長度、內徑長度
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-6-1 不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行之影響步驟表

		
不同種類迴紋針飛行器	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-6-2 不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行之影響記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
無	移動距離 (公分)	76.98	85.18	58.47	67.84	100.66	62.13	58.47	94.97	62.47	123.69	79.09
	移動時間 (秒)	0.80	0.90	0.87	0.87	0.94	0.94	0.90	0.87	0.97	0.90	0.89
	速率 (公分/秒)	96.02	94.47	67.34	78.28	107.66	66.45	64.97	109.37	64.51	137.18	88.62
三角形	移動距離 (公分)	57.65	66.77	51.05	43.70	47.48	64.96	50.14	65.60	46.11	50.36	54.38
	移動時間 (秒)	0.87	0.80	0.84	0.83	0.84	0.73	0.83	0.93	0.87	0.90	0.84
	速率 (公分/秒)	66.52	83.46	61.14	52.44	56.86	88.58	60.17	70.29	53.20	55.96	64.86
有皮圓形	移動距離 (公分)	49.45	50.39	46.82	46.42	48.90	48.06	37.38	26.34	39.10	28.14	42.10
	移動時間 (秒)	0.97	0.90	0.97	0.94	1.00	0.83	1.00	0.83	0.90	0.70	0.90
	速率 (公分/秒)	51.16	55.89	48.35	49.65	48.82	57.67	37.32	31.61	43.36	40.10	46.39
無皮圓形	移動距離 (公分)	39.75	46.38	51.56	33.79	40.61	35.69	43.10	31.25	36.41	32.08	39.06
	移動時間 (秒)	0.84	0.87	0.94	0.80	0.84	0.77	0.90	0.77	0.80	0.84	0.83
	速率 (公分/秒)	47.60	53.41	55.14	42.24	48.63	46.45	47.80	40.67	45.42	38.42	46.58
大圓形	移動距離 (公分)	42.45	45.68	61.38	85.53	88.81	53.60	57.00	44.05	58.03	44.65	58.12
	移動時間 (秒)	0.67	0.83	0.73	0.77	0.77	0.80	0.77	0.73	0.67	0.73	0.75
	速率 (公分/秒)	63.67	54.82	83.70	111.56	115.84	66.86	74.35	60.07	87.04	60.8	

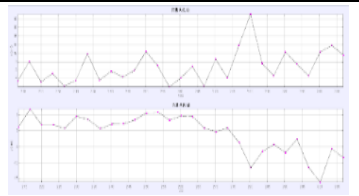
七、等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響為何？

將機翼長 23 公分、機翼寬 5.2 公分、內徑長 8 公分進行等比例縮放，對圓筒飛行器飛行之影響，以內徑長度當實驗組別代表，實驗步驟如表 4-7-1，將實驗記錄如下表 4-7-2。

(一) 實驗變因

1. 操縱變因：等比例縮放
2. 控制變因：發射角度、紙張磅數
3. 應變變因：移動距離、移動時間、速率

▼表 4-7-1 等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響實驗步驟表

		
等比例縮放	發射器發射並錄影	Tracker 分析數據

▼表 4-7-2 等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響實驗記錄表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
6 公分	移動距離 (公分)	111.45	43.36	31.91	37.98	38.62	54.57	38.28	78.37	61.07	39.78	111.45
	移動時間 (秒)	1.63	0.63	0.60	0.67	0.70	0.77	0.67	1.37	0.70	0.73	1.63
	速率 (公分/秒)	68.23	68.46	53.18	56.97	55.17	71.18	57.42	57.34	87.24	54.25	68.23
7 公分	移動距離 (公分)	25.25	27.56	20.87	22.01	31.77	33.01	19.67	45.53	38.04	45.46	25.25
	移動時間 (秒)	0.67	0.66	0.67	0.63	0.60	0.60	0.70	0.64	0.50	0.67	0.67
	速率 (公分/秒)	37.88	41.76	31.31	34.75	52.95	55.02	28.10	71.70	76.08	68.19	37.88
8 公分	移動距離 (公分)	108.35	53.61	83.08	72.45	75.34	66.61	65.71	50.93	51.09	82.47	108.35
	移動時間 (秒)	0.90	1.17	1.14	1.23	0.87	1.20	1.27	1.13	1.07	1.23	0.90
	速率 (公分/秒)	120.39	45.95	73.20	58.74	86.93	55.43	51.81	44.94	47.90	66.87	120.39
9 公分	移動距離 (公分)	58.42	45.16	75.42	47.16	67.97	66.18	63.71	58.18	70.29	72.55	58.42
	移動時間 (秒)	1.23	1.30	1.34	1.44	1.47	1.40	1.47	1.07	1.27	1.53	1.23
	速率 (公分/秒)	47.37	34.69	56.49	32.86	46.34	47.22	43.44	54.54	55.49	47.32	47.37

由表 4-7-2 可知，在等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響實驗中，內徑 6 公分圓筒飛行器平均移動距離為 111.45

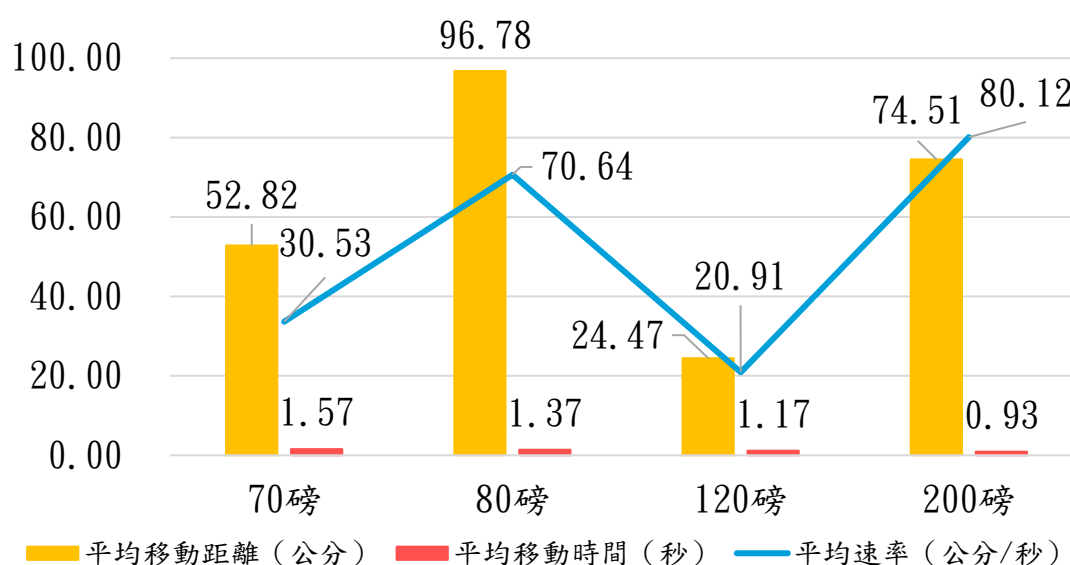
伍、研究結果與討論

一、了解不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響

將不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下表 5-1-1、圖 5-1-1。

▼表 5-1-1 不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 紙張磅數	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
70 磅	52.82	1.57	30.53
80 磅	96.78	1.37	70.64
120 磅	24.47	1.17	20.91
200 磅	74.51	0.93	80.12



▲圖 5-1-1 不同磅數紙張對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

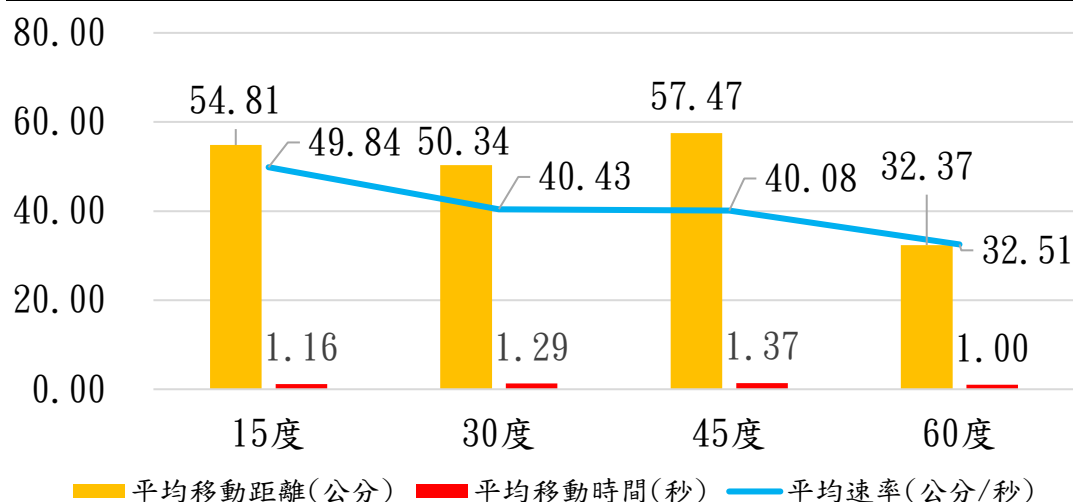
由圖 5-1-1 可得知，在不同磅數紙張圓筒飛行器**平均移動距離**由遠到近依序為 80 磅（96.78 公分）>200 磅（74.51 公分）>70 磅（52.82 公分）>120 磅（24.47 公分）；**平均移動時間**由長到短為 70 磅（1.57 秒）>80 磅（1.37 秒）>120 磅（1.17 秒）>200 磅（0.93 秒）；**平均移動速率**由慢到快為 120 磅（20.91 公分/秒）>70 磅（30.53 公分/秒）>80 磅（70.64 公分/秒）>200 磅（80.12 公分/秒），所以**不同磅數紙張中 80 磅的圓筒飛行器平均移動距離最遠為 96.78 公分。**

二、了解不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響

將不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下表 5-2-1、圖 5-2-1。

▼表 5-2-1 不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 發射角度	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
15 度	54.81	1.16	49.84
30 度	50.34	1.29	40.43
45 度	57.47	1.37	40.08
60 度	32.37	1.00	32.51



▲圖 5-2-1 不同發射角度對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

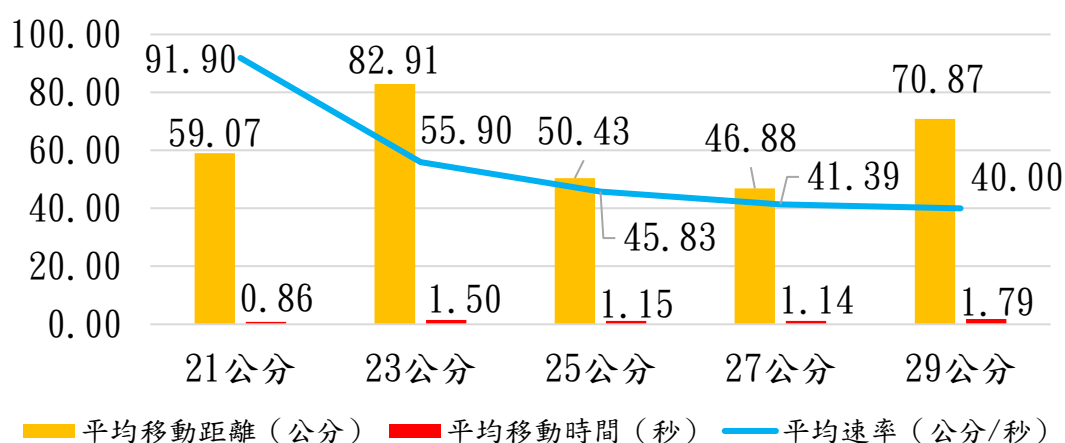
由圖 5-2-1 可得知，在不同發射角度圓筒飛行器平均移動距離由遠到近依序為 45 度 (57.47 公分) > 15 度 (54.81 公分) > 30 度 (50.34 公分) > 60 度 (32.37 公分)；平均移動時間由長到短為 45 度 (1.37 秒) > 30 度 (1.29 秒) > 15 度 (1.16 秒) > 60 度 (1.00 秒)；平均移動速率由慢到快為 60 度 (32.51 公分/秒) > 45 度 (40.08 公分/秒) > 30 度 (40.43 公分/秒) > 15 度 (49.84 公分/秒)，所以不同發射角度中 45 度的圓筒飛行器平均移動距離最遠為 57.47 公分。

三、了解不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響

將了解不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下表 5-3-1、圖 5-3-1。

▼表 5-3-1 不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 機翼長度	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
21 公分	59.07	0.86	91.90
23 公分	82.91	1.50	55.90
25 公分	50.43	1.15	45.83
27 公分	46.88	1.14	41.39
29 公分	70.87	1.79	40.00



▲圖 5-3-1 了解不同機翼長度對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

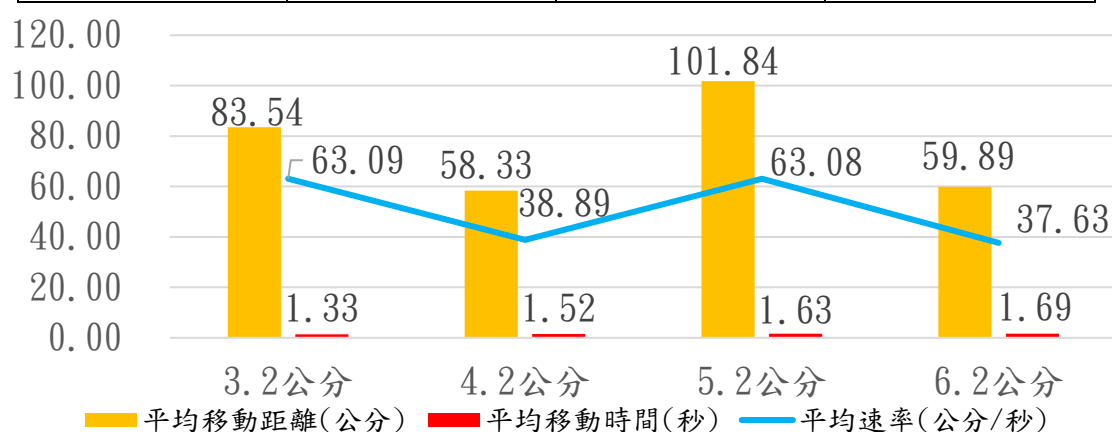
由圖 5-3-1 可得知，在不同機翼長度圓筒飛行器平均移動距離由遠到近依序為 23 公分 (82.91 公分) > 29 公分 (70.87 公分) > 21 公分 (59.07 公分) > 25 公分 (50.43 公分) > 27 公分 (46.88 公分)；平均移動時間由長到短為 29 公分 (1.79 秒) > 23 公分 (1.50 秒) > 25 公分 (1.15 秒) > 27 公分 (1.14 秒) > 21 公分 (0.86 秒)；平均移動速率由慢到快為 29 公分 (40.00 公分/秒) > 27 公分 (41.39 公分/秒) > 25 公分 (50.43 公分/秒) > 23 公分 (55.90 公分/秒) > 21 公分 (91.90 公分/秒)，所以不同機翼長度中 23 公分的圓筒飛行器平均移動距離最遠為 82.47 公分。

四、了解不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響

將不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下表 5-4-1、圖 5-4-1。

▼表 5-4-1 不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 機翼寬度	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
3.2 公分	83.54	1.33	63.09
4.2 公分	58.33	1.52	38.89
5.2 公分	101.84	1.63	63.08
6.2 公分	59.89	1.69	37.63



▲圖 5-4-1 不同機翼寬度對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

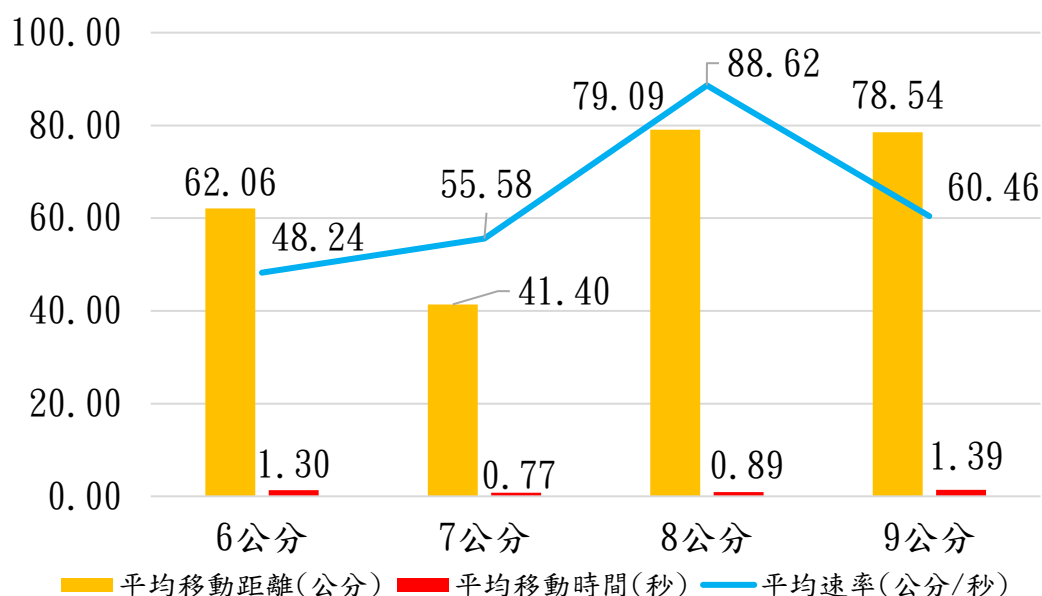
由圖 5-4-1 可得知，在不同機翼寬度圓筒飛行器**平均移動距離**由遠到近依序機翼寬度為 5.2 公分（101.84 公分）>3.2 公分（83.54 公分）>6.2 公分（59.89 公分）>4.2 公分（58.33 公分）；**平均移動時間**由長到短為 6.2 公分（1.67 秒）>5.2 公分（1.63 秒）>4.2 公分（1.52 秒）>3.2 公分（1.33 秒）；**平均移動速率**由慢到快為 6.2 公分（37.63 公分/秒）>4.2 公分（38.89 公分/秒）>5.2 公分（63.08 公分/秒）>3.2 公分（63.09 公分/秒），所以**不同機翼寬度中以 5.2 公分的圓筒飛行器平均移動距離最遠為 101.84 公分。**

五、了解不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響

將不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下表 5-5-1、圖 5-5-1。

▼表 5-5-1 不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 內徑長度	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
6 公分	62.06	1.30	48.24
7 公分	41.40	0.77	55.58
8 公分	79.09	0.89	88.62
9 公分	78.54	1.39	60.46



▲圖 5-5-1 不同內徑長度對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

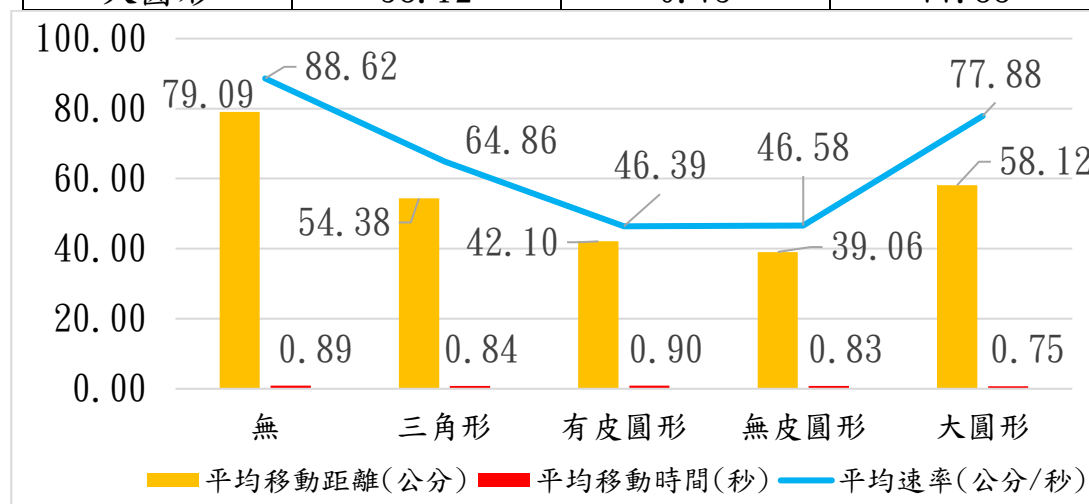
由圖 5-5-1 可得知，在不同內徑長度圓筒飛行器**平均移動距離**由遠到近依序為 8 公分 (79.09 公分) > 9 公分 (78.54 公分) > 6 公分 (62.06 公分) > 7 公分 (41.40 公分)；**平均移動時間**由長到短為 9 公分 (1.39 秒) > 6 公分 (1.30 秒) > 8 公分 (0.89 秒) > 7 公分 (0.77 秒)；**平均移動速率**由慢到快為 6 公分 (48.24 公分/秒) > 7 公分 (55.58 公分/秒) > 9 公分 (60.46 公分/秒) > 8 公分 (88.62 公分/秒)，所以**不同內徑長度中以 8 公分的圓筒飛行器平均移動距離最遠為 79.09 公分**。

六、了解不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行影響

將不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下表 5-6-1、圖 5-6-1。

▼表 5-6-1 不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 迴紋針種類	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
無	79.09	0.89	88.62
三角形	54.38	0.84	64.86
有皮圓形	42.10	0.90	46.39
無皮圓形	39.06	0.83	46.58
大圓形	58.12	0.75	77.88



▲圖 5-6-1 不同種類迴紋針對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

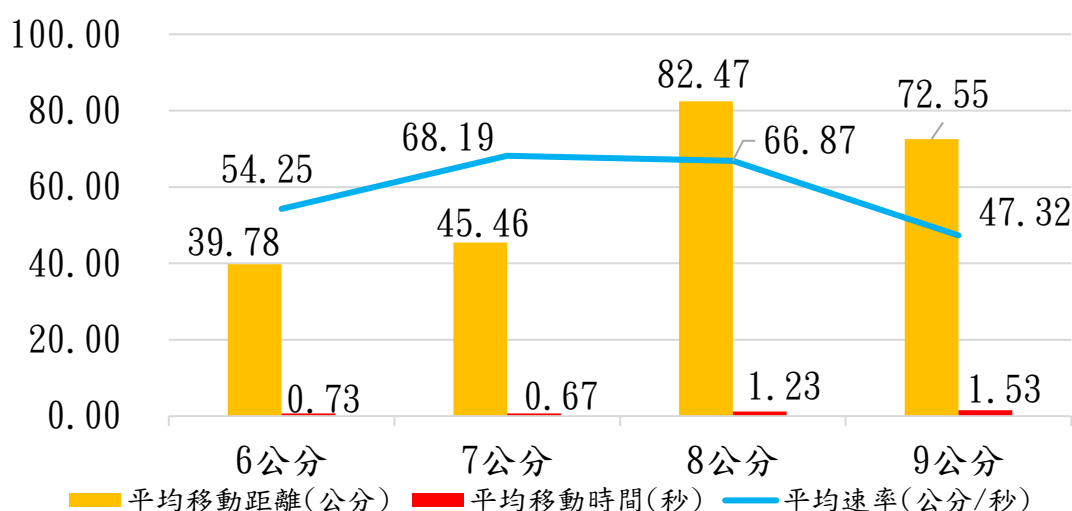
由圖 5-6-1 可得知，在不同種類迴紋針圓筒飛行器**平均移動距離**由遠到近依序為無迴紋針（79.09 公分）＞大圓形迴紋針（58.12 公分）＞三角形迴紋針（54.38 公分）＞有皮圓形迴紋針（42.10 公分）＞無皮圓形迴紋針（39.06 公分）；**平均移動時間**由長到短為有皮圓形迴紋針（0.90 秒）＞無迴紋針（0.89 秒）＞三角形迴紋針（0.84 秒）＞無皮圓形迴紋針（0.83 秒）＞大圓形迴紋針（0.75 秒）；**平均移動速率**由慢到快為有皮圓形迴紋針（46.39 公分/秒）＞無皮圓形迴紋針（46.58 公分/秒）＞三角形迴紋針（64.86 公分/秒）＞大圓形迴紋針（77.88 公分/秒）＞無迴紋針（88.62 公分/秒），所以**無迴紋針圓筒飛行器平均移動距離為最遠 79.09 公分**。

七、了解等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響

將等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響加以歸納，其分析如下
表 5-7-1、圖 5-7-1。

▼表 5-7-1 等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響紀錄表

測量項目 等比例縮放 (內徑長度)	平均移動距離 (公分)	平均移動時間 (秒)	平均速率 (公分/秒)
6 公分	39.78	0.73	54.25
7 公分	45.46	0.67	68.19
8 公分	82.47	1.23	66.87
9 公分	72.55	1.53	47.32



▲圖 5-7-1 等比例縮放對圓筒飛行器飛行影響綜合比較圖

由圖 5-7-1 可得知，在等比例縮放的圓筒飛行器平均移動距離由遠到近依序是內徑為 8 公分 (82.47 公分) > 9 公分 (72.55 公分) > 7 公分 (45.46 公分) > 6 公分 (39.78 公分)；平均移動時間由長到短為 9 公分 (1.53 秒) > 8 公分 (1.23 秒) > 6 公分 (0.73 秒) > 7 公分 (0.67 秒)；平均移動速率由慢到快為 9 公分 (47.32 公分/秒) > 8 公分 (66.87 公分/秒) > 6 公分 (54.25 公分/秒) > 7 公分 (68.19 公分/秒)，所以等比例縮放的圓筒飛行器以內徑 8 公分的移動距離為最遠 82.47 公分。

陸、評鑑與檢討

一、尋找主題

在「康軒版」六年級上學期自然科學課本的第三單元《動物大解密》教到仿生學設計，說明飛機是模仿鳥類的飛行方式，機翼是模仿翅膀；在「南一版」六年級上學期數學課本的第七單元《速率》教到距離、時間和速率之間的關係。

二、實驗過程

（一）發射器

發現第一代發射器採用彈簧彈力進行發射，較適合無機翼圓筒滑翔機使用，因此調整設計方向，製作了第二代與第三代發射器，改以讓飛機自然滑落的方式起飛。由於相機腳架頂端的支撐面積不足，導致上方發射器容易傾斜，存在安全疑慮，因此在底座均勻配置積木以增加穩定性，並使用橡皮筋加以固定。

（二）Tracker 軟體使用

本次實驗數據使用 Tracker 軟體進行分析，在此之前，我們未曾使用過此軟體，於是在網路上查找資料和影片自學，雖然從零開始有些困難，但是依靠自己的力量學習新技能，光榮又有成就感。

（三）研究限制

由於圓筒飛行器實驗中有「風速」這項難以完全控制的變因，因此每次實驗皆於相同室內場地進行，並緊閉門窗，以降低外在氣流對實驗結果造成的影響。然而若能進一步加入氣流控制，將有助於更精確地進行研究分析，提升圓筒飛行器的飛行情形穩定性。

三、未來展望

圓筒飛行器有幸福與美好的涵義，代表對未來的信心和期待，也能作為心理抒發、宣洩情緒的工具。經過本次研究，找出最佳圓筒飛行器，希望以後能更專業地研究軌跡更美麗的圓筒飛行器，也把幸福帶給更多的人。

四、研究心得

在這段實驗旅程中，我們多次因意見分歧發生爭執，但在爭吵中，我們彼此交換意見、互相學習、截長補短，最後得出最佳方案。意見分歧並不全然是負面影響，更重要的是懂得團結合作，這次的實驗我們獲益良多，希望在未來的我們可以像「空中圓舞曲」一樣，優雅地成長茁壯，閃耀的飛舞著，在以後的日子裡，繼續發光發熱。

柒、參考文獻

Tracker 軟體 (2011)。Tracker。取自 <https://reurl.cc/89g20g>

林沅陞、賴昱丞 (2008)。復仇者的秘密—遠遠圓筒飛行器。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會作品。取自 <https://reurl.cc/bWON0o>

余皓維、洪彥文 (2013)。圓走高飛。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品。<https://reurl.cc/EV91Ak>

陳柏諺、黃亮豪、陳連達、蘇齊扶、陳祐瑱、鍾婷軒 (2012)。我的圓筒飛行器會轉彎～紙圓筒飛行器迴旋飛行之探究～。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品。<https://reurl.cc/9nK53Y>

陳昭熙、洪稚森、孫琮原、蘇柏愷、謝徐家 (2017)。凌空飛翔的紙蟬。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品。<https://reurl.cc/6K6Q46>

鄭金玉、利貞頤、王湘霖、陳品臻、凌晨熏 (2017)。天外奇「機」Part II～再探紙圓筒飛行器的秘密。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品。<https://reurl.cc/4LKzGV>