

屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：轉出飛行的正軌—旋轉與飛行筒穩定飛行因素之探討

關 鍵 詞：飛行筒、陀螺儀原理

編號：B2005

摘要

本實驗透過市售飛行筒發射器與自製改良的發射器觀察飛行筒旋轉與飛行距離之間的關係，了解陀螺儀原理在飛行筒飛行時所產生的影響。實驗結果發現，市售飛行筒發射器旋轉速度越高反而縮短飛行距離，顛覆我們原本的看法，為進一步驗證旋轉速度有助於飛行，我們改良了發射器旋轉與飛行的動力結構，並透過慢速攝影與電腦影像分析確認旋轉速度的確有助於增加飛行距離，驗證陀螺儀原理可使飛行筒穩定旋轉，讓飛行筒飛得更遠。

壹、研究動機

我們最近在網路上看了一部叫「紙飛機」的電影，在電影當中前世界冠軍的紙飛機外觀竟然是圓筒狀，顛覆了我們的想法，而我們也決定探索這個「神奇圓筒飛機」的奧秘。在上網查詢後，得知有手擲 X-Zylo 的飛行玩具，用手丟擲最遠甚至能超過 70 公尺，關鍵在於丟擲過程中透過旋轉飛行筒來增長飛行距離，坊間也有簡易的飛行筒發射器，同樣有類似的效果，另我們相當好奇，為何轉動的飛行筒能飛行這麼遠的距離，飛行筒的轉動速度是否會影響飛行距離，為了瞭解飛行筒轉動與飛行之間的關係，我們決定自製發射器來研究飛行筒的飛行狀況。

貳、研究目的

- 一、探討市售飛行筒發射器轉動與飛行距離之關係。
 - 1.轉動角度與發射時飛行環之轉速。
 - 2 轉動角度與飛行距離。
- 二、改良飛行筒發射器旋轉特性並進行飛行狀態之探討。
 - 1.改良固定轉速結構帶動飛行筒，設計第一代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。
 - 2.結構輕量化並採齒輪轉動，設計第二代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。
 - 3.以控制器控制馬達轉速，並再輕量化之構想設計第三代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。

參、文獻探討

X-Zylo 又被稱為「空中騎士 (air rider)」或「飛行陀螺 (flying gyroscope)」。X-Zylo 是柏克萊大學研究生 Mark Forti 於 1991 年發明，在 1992 年由 William Mark 公司精

緻化後在玩具市場販售，立即獲得大眾的喜愛與迴響。麻省理工學院曾經實際測試 X-Zylo 的飛行距離，非官方的世界紀錄達到 655 英尺（約二百公尺）。Tarr（2012）推論其可能的原理包括了陀螺效應（gyroscopic effect）以及機翼升力（flat plate lift）的現象。陀螺效應使得 X-Zylo 因為旋轉而保持穩定，而纏繞絕緣膠帶所形成的厚度，如同飛機機翼的效果而有升力。本研究僅探討飛行筒飛行過程中轉動產生之陀螺效應對飛行距離之影響。

肆、研究設備及器材

投影片、膠帶、TT 馬達、馬達、小輪胎、水管(粗、細)、電池 9v、雙面膠、剪刀、竹筷、束帶、電池座、橡皮筋(細、粗)、麥克風架、齒輪、機關王積木、培林(金屬、塑膠)、防水膠布、高密度海綿、電池轉接頭、測轉速儀

伍、研究過程或方法

一、探討市售飛行筒發射器轉動與飛行距離之關係。

（一）實驗構想：

- 1.為了解市售飛行筒的轉速與飛行距離之間的關係，我們嘗試以不同旋轉基座角度來比較飛行筒轉速的變化。
- 2.為方便拍攝飛行過程中的旋轉過程，我們利用 iPhone 手機慢速攝影，再透過電腦放大影像紀錄，故必須縮短拉動距離並固定角度紀錄，避免飛行距離過長造成紀錄不易。
- 3.為統一實驗變因，飛行筒仿 X-Zylo 設計，並於接下來的實驗中統一使用同規格之飛行筒。
- 4.實驗過程需紀錄飛行筒旋轉數據。

（二）實驗過程：

- 1.自製飛行筒：
 - （1）使用市售透明投影片裁切長 23cm，寬 5cm 之規格，圍成直徑 7cm 之圓筒。
 - （2）為仿 X-Zylo 增加前端的重量，在飛行筒前端黏貼寬 2.5cm 之膠帶 10 圈。
 - （3）在飛行筒上做一條記號方便觀察旋轉速度。



圖 1：自製仿 X-Zylo 飛行筒



圖 2：飛行筒上做一條記號方便觀察旋轉速度

2.自製發射架：

- (1) 因學校麥克風架已具備穩定之基座，且方便調整角度，拆下夾具後即可結合發射器。
- (2) 利用量角器控制發射角度，將角度設定為 30° 。



圖 3：麥克風架



圖 4：拆下夾具即可結合發射器



圖 5：以量角器確認發射角度

3.實驗步驟：

- (1) 將市售飛行筒發射器插入角度 30°之麥克風發射架上，置入自製飛行筒，往下拉 20cm。
- (2) 再將飛行筒基座以順時針方向旋轉 0°、90°、180°、270°等四種角度，射出後觀察飛行過程並記錄下來。
- (3) 以慢速攝影方式紀錄飛行筒在發射後旋轉圈數。
- (4) 發射後記錄轉速及飛行距離於表 1。



圖 6：確定拉下距離



圖 7：市售結合發射台

表 1：市售飛行筒飛行距離紀錄表

		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
0°	飛行時間 (秒)	1.1	1.1	1	1	1	1.04
	旋轉圈數 (圈數)	0	0	0	0	0	0
	飛行距離 (公分)	665	650	630	630	635	642
90°	飛行時間 (秒)	1.1	1.1	1.1	1.4	1.2	1.18
	旋轉圈數 (圈數)	3	6.5	7	7	5	5.6
	飛行距離 (公分)	640	630	640	630	650	638
180°	飛行時間 (秒)	0.9	1	1.1	1	1.1	1.02
	旋轉圈數 (圈數)	6.5	8.5	7	7.5	7.5	7.4
	飛行距離 (公分)	500	540	490	490	470	498
360°	飛行時間 (秒)	0.8	0.8	0.8	1.1	1	0.9
	旋轉圈數 (圈數)	10	10	10	10	9.75	9.95
	飛行距離 (公分)	240	230	230	220	210	226

4.實驗結果分析：

- (1) 基座旋轉 90°時射出後平均轉速約為 284.75rpm，旋轉 180°時平均轉速約為

435.29rpm，旋轉 360°時射出後平均轉速約為 633.3rpm，實驗結果發現基座旋轉角度越大，射出時飛行筒轉速越快。

- (2) 分析飛行距離時發現在相同拉動 20 公分、發射角度 30 的條件下，轉速越快的飛行筒飛行距離竟然變短，0°與 90°差別最小，但 180°相較於 0°縮短了 29%，旋轉 360°更是縮短了 65.8%。
- (3) 基座旋轉超過 360°後，飛行筒竟然卻無法射出，如此將無法再進一步探索與驗證轉速與飛行距離之間的關係。
- (4) 我們推測可能市售的彈簧較細彈力不足，導致增加旋轉速度時卻減少往前飛行的彈力，以致飛行距離較短。

5. 小結：

- (1) 市售的發射器透過旋轉發射基座，就能產生相當快速的旋轉，但較快速的旋轉並不能讓飛行筒增加飛行距離，這點與一般文獻的提到想要增加飛行距離得增加飛行筒旋轉的觀念不同，令我們感到困惑。
- (2) 我們觀察市售橡皮筋，研判可能是彈力不足及方向關係，無法同時讓飛行筒旋轉增強與飛行更遠，故決定改採較粗較長的橡皮筋來推動飛行筒並進行測試。
- (3) 若要解決飛行筒轉速問題，應設計動力型結構來帶動飛行筒旋轉，讓橡皮筋單純推動飛行筒飛行的速度。

二、改良飛行筒發射器旋轉特性並進行飛行狀態之探討。

(一) 改良固定轉速結構帶動飛行筒，設計第一代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。

1. 實驗構想：

- (1) 第一代的設計理念以固定轉動結構帶動飛行筒旋轉，可能須採用外加電動模式，利用培林及馬達連接小輪胎帶動飛行筒可以自行旋轉，減少人為因素所造成的誤差。
- (2) 培林需套在塑膠管外，故需尋找內徑超過 3cm 的大培林。

2. 實驗過程：

(1) 自製發射器：

- (a) 我們裁了 120 公分的水管（內徑 2.2，外徑 2.6）當內管，在 2 公分和 7 公分處各開一個洞，使用橡皮筋通過上面的洞，下面的洞以束帶穿過做為緩衝。
- (b) 再裁一截約 20 公分的水管（內徑 2.6，外徑 3 公分）當外管，套上一個內徑為 3 公分的金屬培林（重量約 200 公克），橡皮筋固定於水管頂部。
- (c) 利用束帶將馬達和小型輪胎固定於長 10 公分、寬 5 公分的方形積木上，並穿過外管，讓車輪與培林緊靠。
- (d) 操作時以馬達和小型輪胎帶動培林，培林再帶動飛行筒，當放手時，飛行筒被培林快速推出（馬達安裝在發射器上）。

(e) 測量發射器總重量為 371 公克。

(f) 測量兩條連結的橡皮筋下拉 20 公分時，拉力約為 20 公斤。



圖 8：自製第一代發射器

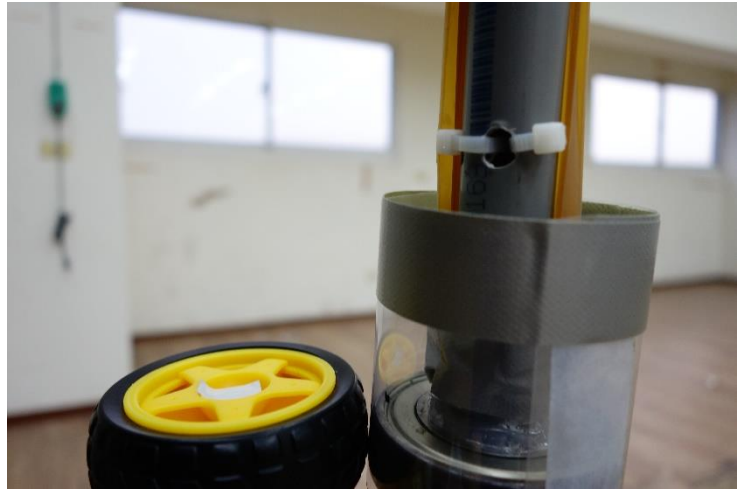


圖 9：以束帶穿過做為緩衝

(2) 實驗方法：

- (a) 將第一代飛行筒發射器插入角度 30° 之麥克風發射架上，裝上自製飛行筒，往下拉 20cm。
- (b) 啟動馬達開關，讓馬達上的小型輪胎帶動培林。
- (c) 以慢速攝影方式紀錄飛行筒在射出發射器前的轉速。
- (d) 射出後記錄轉速及飛行距離於表 2，並使用錄影機拍攝飛行過程以進行 tracker 各項飛行參數之分析。



圖 10：第一代飛行筒發射器與發射台

3.實驗結果：

- (1) 由於使用內徑 3cm 的大培林，重量明顯增加，衝擊力道也相當大，單靠束帶已無法擋住外管的衝擊造成實驗失敗。
- (2) 束帶為塑膠材質，無法負荷強大的衝擊力道，需改變緩衝時使用的材質，因此我們決定改為鐵製的螺絲與螺帽來抵擋外管的衝擊。
- (3) 小馬達的轉速太快，透過轉速表測量轉速約為 5000rpm 左右，容易出現打滑而無法確實帶動金屬培林旋轉，導致培林轉速不穩定，無法精準控制飛行筒轉速，影響實驗準確行。
- (4) 為讓馬達能確實帶動培林運轉，將一般小馬達改為減速馬達，測試將馬達轉速降低後是否能較有效帶動培林旋轉。
- (5) 飛行筒直接套在培林上時，由於轉速過快，飛行筒表面較光滑也造成飛行筒打滑，結果造成培林轉動較快但飛行筒轉速不足，大幅降低飛行筒旋轉效果，需修改培林帶動飛行筒旋轉的方式。



圖 11：束帶斷裂圖

4.修改實驗設計：

- (1) 將內管緩衝材質改為 4 公分長的螺絲與螺帽，並將螺帽旋緊以免鬆脫，推測金屬螺絲應能抵擋金屬衝擊力道。
- (2) 將一般馬達更換為 DC 3V-6V 塑膠直流雙軸減速馬達，減速比 1:48，測試降低轉速是否能順利帶動金屬培林，並在發射前利用轉速表測量發射前轉速。

- (3) 為解決培林帶動飛行筒問題，我們另設計飛行筒固定基座，同樣考量輕量化，故取較輕的高密度泡棉裁成方形以利固定飛行筒，再將基座固定於培林上，觀察飛行筒轉動情況。
- (4) 將局部設計修正後，再依前項步驟操作，並將結果紀錄於表 2 中。



圖 12：更改螺絲螺帽及增加飛行固定基座圖



圖 13：DC 3V-6V 塑膠直流雙軸減速馬達



圖 4：測量發射前轉速

表 2：第一代飛行筒發射器飛行距離

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行時間 (秒)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
旋轉圈數 (圈數)	1.75	0.75	0.75	1.75	0.75	1.15
發射前轉速 (rpm)	210	195	190	235	190	213
飛行距離 (公分)	210	240	240	225	210	225

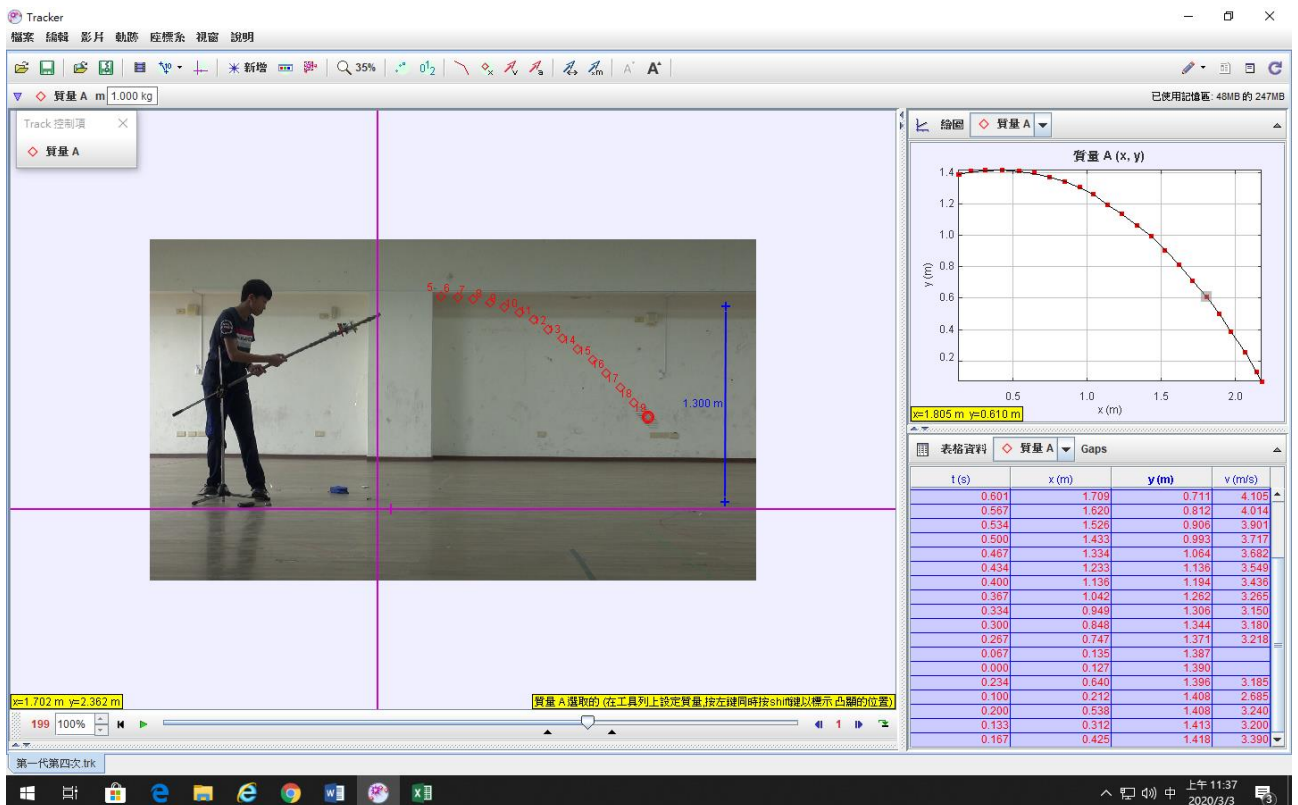


圖 15：利用 tracker 軟體分析第一代飛行軌跡

表 3：第一代飛行筒發射器飛行座標與速度表

時間	X	Y	速度 (m/s)
0.00	0.13	1.44	0
0.07	0.14	1.44	3.71
0.17	0.44	1.47	3.52
0.23	0.66	1.45	3.31
0.33	0.99	1.36	3.27
0.40	1.18	1.24	3.57
0.47	1.39	1.10	3.82
0.57	1.68	0.84	4.17
0.63	1.87	0.63	4.34
0.73	2.14	0.27	4.79
0.80	2.26	0.07	0

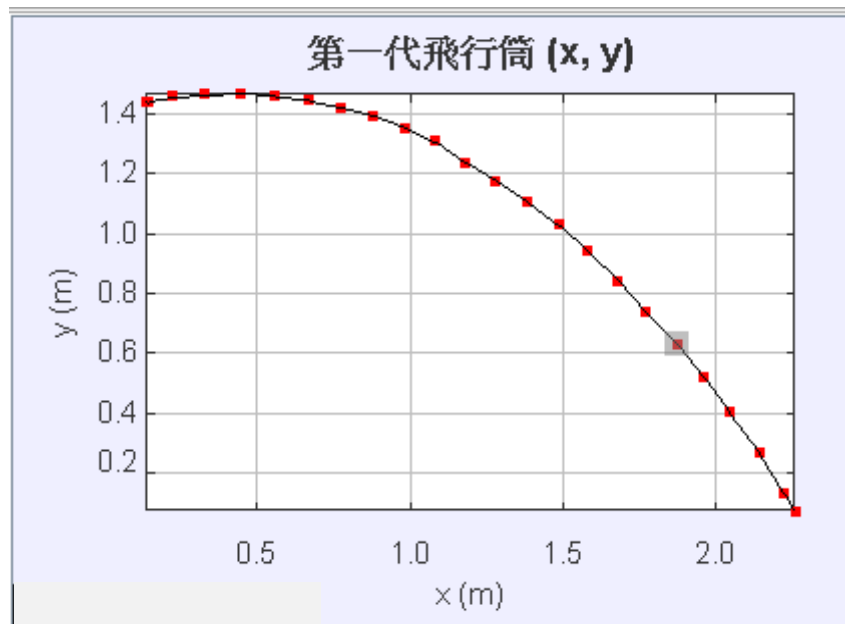


圖 16：第一代飛行軌跡圖

4.修改設計後實驗結果分析：

- (1) 螺絲與螺帽能確實擋住發射外管時所造成之衝擊，讓飛行筒能順利飛出。
- (2) 將馬達更換為減速馬達，雖轉速較慢，但經觀察後已大幅改善打滑的狀況。
- (3) 飛行基座也能確實帶動飛行筒轉動，改善了修正前的打滑情況。
- (4) 根據飛行座標與速度表發現發射時初速度為 3.71m/s，飛行速度並不快，分析可能是第一代自製發射器相較市售重量明顯增加 16 倍之多，這可能是導致飛行速度偏慢、距離明顯縮短之因素。
- (5) 飛行過程中旋轉速度如同預期有增快的趨勢，經過轉速表測量轉速約為 200rpm 左右，顯見動力系統的確能提供飛行筒轉速。
- (6) 發射前轉速約為 200rpm，1 秒約為 3 圈，根據表五飛行時間約為 0.8 秒計算，

飛行過程應旋轉 2.4 圈，但查看慢速攝影發現旋轉圈數約為 1.75 圈，推測飛行筒在失去培林帶動下約減少 37%的旋轉量。

- (7) 對照市售發射器所記錄的旋轉速度，第一代的旋轉因採減速馬達，故轉速最高約 210rpm，相較市售轉速低，且因重量過重，降低飛行筒飛行時間，導致飛行距離明顯偏短，因此問題仍是重量過重導致。

4.小結：

- (1) 第一代發射器雖改善的旋轉問題，但整組發射器高達 371 公克，已遠超過市售的發射器整體重量，導致飛行時間較短，飛行距離不長，需針對發射器重量進行減重，朝輕量化方向設計。
- (2) 修改之飛行基座及減速馬達與車輪結合來帶動培林等措施，雖已大幅改善打滑的狀況，但從轉速的數據上發現每次轉速仍略有不同，推測仍有打滑的情況，需修改帶動的方式。

(二) 結構輕量化並採齒輪轉動，設計第二代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。

1.實驗構想：

- (1) 第二代的設計構想朝向輕量化為目標，首先要先找出較輕的培林，於是在網路上搜尋塑膠製內徑 3 公分以上之培林，應可以大幅降低發射器重量。
- (2) 因馬達轉動速度較快，為避免造成打滑之情況，我們考慮利用齒輪帶動的做法，利用齒輪相互咬合的方式應可避免打滑，確保馬達動力與旋轉能完整傳遞至飛行筒。

2.實驗過程：

(1) 自製發射器：

- (a) 我們裁了 90 公分的水管（內徑 2.2，外徑 2.6），在 2 公分和 7 公分處各開一個洞，使用橡皮筋通過上面的洞，下面的洞以螺絲與螺帽穿過做為緩衝。
- (b) 再切割一截約 20 公分的水管（內徑 2.6，外徑 3 公分），套上一個內徑為 3 公分的塑膠培林（重量為 36.3 公克）。
- (c) 請工藝老師利用工具協助挖空齒輪內部，僅留齒輪外部，並將挖空之齒輪以熱熔膠與塑膠培林結合。
- (d) 將另一個齒輪穿過並固定於減速馬達軸心上，再利用束帶將減速馬達固定於長 10 公分、寬 5 公分的方形積木上，並穿過外管，讓齒輪與培林上的齒輪緊靠。
- (e) 操作時以減速馬達和齒輪帶動培林上的齒輪轉動，培林與飛行基座再帶動飛行筒，當放手時，飛行筒被快速推出。
- (f) 測量發射器總重量為 195 公克。
- (g) 測量兩條連結的橡皮筋下拉 20 公分時，拉力約為 20 公斤。

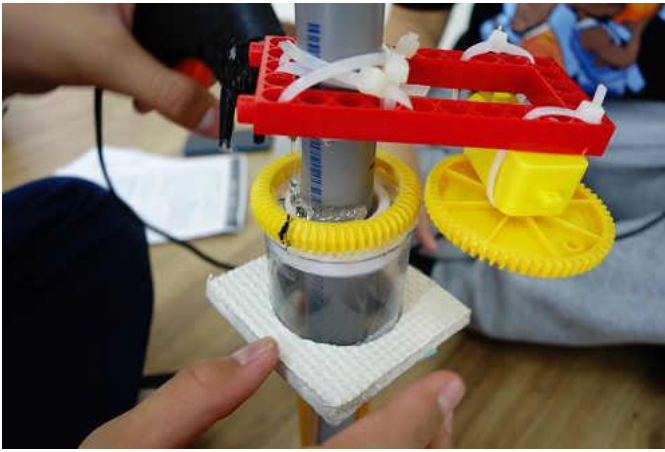


圖 17：自製第二代發射器



圖 18：第二代發射器轉動過程

(2) 實驗方法：

- (a) 將第二代飛行筒發射器插入角度 30°之麥克風發射架上，裝上自製飛行筒，往下拉 20cm。
- (b) 啟動減速馬達開關，讓減速馬達上的齒輪帶動培林上的齒輪，讓飛行筒旋轉。
- (c) 以慢速攝影方式紀錄飛行筒在射出發射器前的轉速。
- (d) 射出後記錄轉速及飛行距離於表 4，並使用錄影機拍攝飛行過程以進行 tracker 各項飛行參數之分析。

表 4：第二代飛行筒發射器飛行距離

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
飛行時間 (秒)	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
旋轉圈數 (圈數)	1	1.25	1.5	1	1.75	1.3
發射前轉速 (rpm)	210	203	205	208	199	205
飛行距離 (公分)	410	385	450	430	380	411

表 5：第二代飛行筒發射器飛行座標與速度表

時間	X	Y	速度 (m/s)
0.00	0.01	1.37	
0.03	0.16	1.43	5.24
0.17	0.83	1.59	5.17
0.20	1.00	1.60	4.92
0.23	1.16	1.60	4.76
0.27	1.31	1.59	4.77
0.30	1.48	1.58	4.86
0.33	1.64	1.55	4.89
0.50	2.37	1.38	4.95

0.57	2.70	1.24	5.00
0.60	2.85	1.17	5.17
0.70	3.29	0.91	5.40
0.73	3.45	0.80	5.72
0.80	3.74	0.56	5.95
0.87	4.03	0.30	6.95
0.93	4.31	0.07	

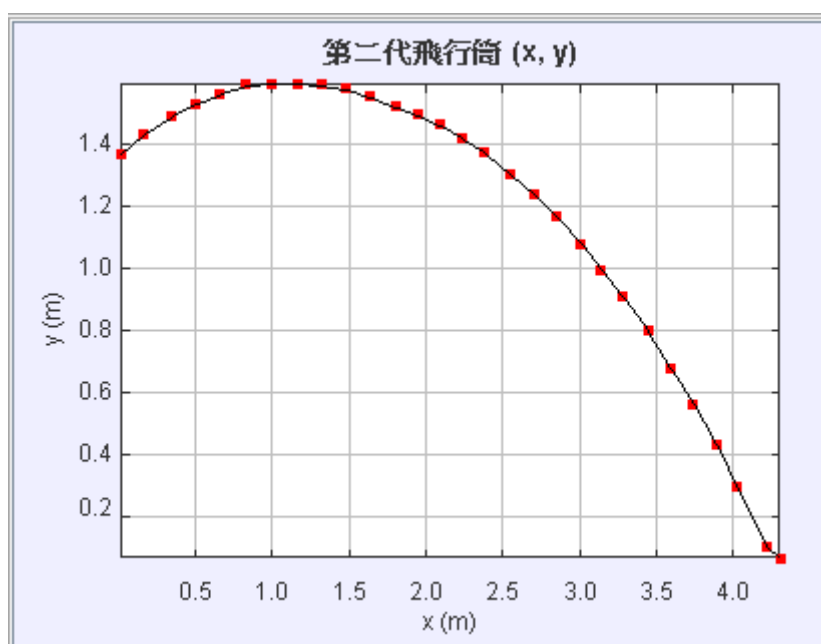


圖 19：第二代飛行軌跡圖

3.實驗結果：

- (1) 使用塑膠培林後，整體重量已減輕，觀察飛行數據後發現在相同的拉力下，因重量減輕的關係，發射初速度增加 41% 達 5.24m/s，平均飛行距離亦增加了 83%，顯見輕量化的確能大幅提升飛行距離。
- (2) 雖飛行距離已大幅提升，但相對市售的飛行距離仍明顯偏短，可能需再思考如何能再更輕量化。
- (3) 透過 excel 分析發射前的轉速，第二代的標準差為 3.85，第一代高達 17.15，可見齒輪設計上轉速穩定度高於車輪帶動方式。

4.小結：

- (1) 第二代發射器在重量上減輕 47%，在飛行距離上也看出成效，但與市售的飛行距離仍有差距，必須再修改發射器結構，讓整體重量更為輕量化，應能再提升飛行距離。
- (2) 目前使用減速馬達帶動轉動，但最高轉速僅 210rpm，就無法再提升旋轉速度，

故亦無法進一步探討旋轉與轉速間的關係，動力部分必須再重新設計以提升轉速，甚至必須設計控制轉速的模式。

(3) 第二代改善旋轉打滑問題，讓飛行筒發射前轉速更為穩定，推測應與齒輪設計有關，如此有應有助於再提升旋轉速度時避免打滑，有效提升旋轉速度。

(四) 以控制器控制馬達轉速，再輕量化之構想設計第三代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討

1. 實驗構想：

(1) 為再進一步輕量化發射器，我們決定將馬達、電池與固定之積木架分離，僅保留培林、齒輪及飛行基座以再減輕發射器重量。

(2) 為能控制馬達速度，我們到電子材料行尋找可用之控制零件，發現有販售馬達控制模組，如此可改採轉速較強之馬達搭配轉速控制器，除能提升飛行筒轉速，也同時能改變馬達轉速進行轉速不同之分析比較。

(3) 因轉速提升，為避免出現打滑現象，仍採用齒輪帶動方式。

2. 實驗過程：

(1) 自製發射器：

(a) 裁 120 公分的水管（內徑 2.2，外徑 2.6），在 2 公分和 7 公分處各開一個洞，使用橡皮筋通過上面的洞，下面的洞以螺絲與螺帽穿過做為緩衝。

(b) 再切割一截約 20 公分的水管（內徑 2.6，外徑 3 公分），套上一個內徑為 3 公分的塑膠培林，底部以熱熔膠與中空齒輪結合，頂部黏合高密度海綿之飛行基座。

(c) 將市售馬達轉速控制器依說明書連接 9V 電池與馬達，並將另一個齒輪穿過並以熱熔膠固定於一般馬達軸心上，再利用束帶將控制器與電池固定於長 10 公分、寬 5 公分的方形積木上。

(d) 為保留手拉發射器手部空間，我們將馬達位置提高，讓齒輪與培林上的齒輪能緊靠。

(e) 操作時拉下發射器，讓馬達和齒輪帶動培林上的齒輪轉動，培林與飛行基座再帶動飛行筒，當放手時，飛行筒被快速推出。

(f) 測量發射器總重量為 105 公克。

(g) 測量兩條連結的橡皮筋下拉 20 公分時，拉力約為 20 公斤。

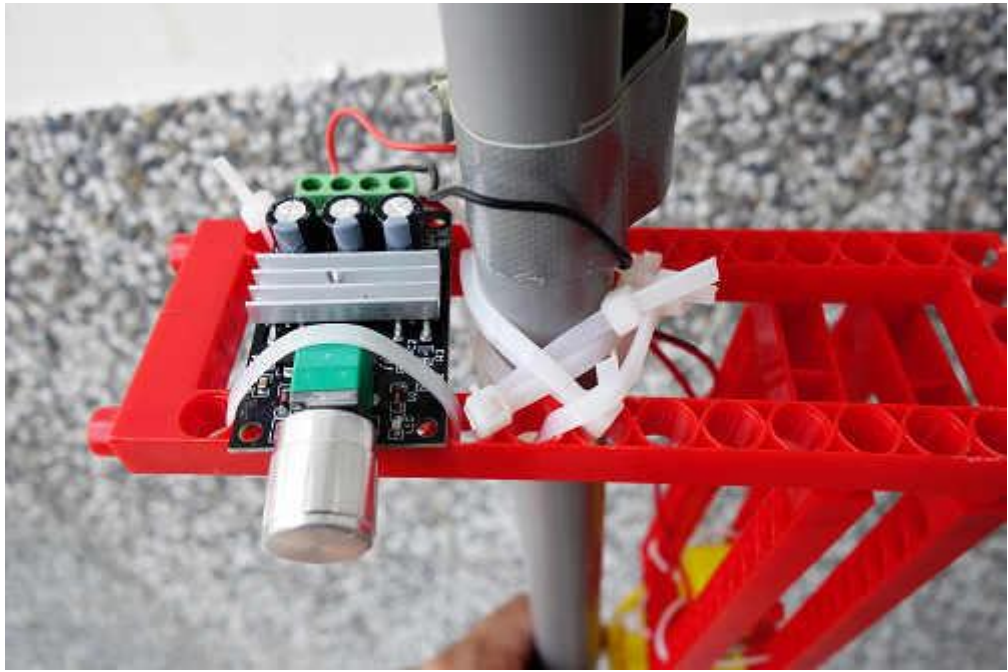


圖 20：馬達轉速控制器



圖 21：保留手拉發射器手部空間，馬達位置提高



圖 22：第四代完成圖

(2) 實驗方法：

- (a) 將第三代飛行筒發射器插入角度 30°之麥克風發射架上，裝上自製飛行筒，往下拉 20cm。
- (b) 啟動馬達轉速控制器，並拉下發射器讓齒輪帶動旋轉，找出轉速約 1000 轉與 2000 轉左右的位置並做上記號，方便接下來的實驗操作。
- (c) 針對第四代飛行器以不旋轉、1200rpm 與 2100rpm 三種不同的旋轉速度進行實驗，發射後觀察飛行過程並記錄下來。
- (d) 射出後記錄轉速及飛行距離於表 6，並使用錄影機拍攝飛行過程以進行 tracker 各項飛行參數之分析。

表 6：第三代飛行筒發射器飛行距離

		第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
不旋轉	飛行時間	0.9	0.8	1.1	1	1	0.96
	飛行距離	500	470	565	535	535	521
1200rpm	飛行時間	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.14
	飛行距離	550	600	600	675	570	599
2100rpm	飛行時間	1.2	1.3	1.2	1.1	1.5	1.26
	飛行距離	770	765	645	750	900	766

表 7：第三代飛行筒發射器空轉之飛行座標與速度表

時間	X	Y	速度 (m/s)
0.00	0.09	1.56	
0.03	0.28	1.64	6.61
0.07	0.49	1.73	6.25
0.23	1.33	2.03	5.54
0.33	1.85	2.14	5.22
0.40	2.19	2.15	4.98
0.43	2.35	2.14	4.99
0.57	3.02	1.98	5.21
0.63	3.33	1.82	5.30
0.73	3.82	1.51	5.94
0.80	4.12	1.23	6.31
0.87	4.42	0.94	6.90

0.97	4.89	0.38	7.20
1.00	5.02	0.19	6.30
1.03	5.14	0.04	0

表 8：第三代飛行筒發射器 1200 轉之飛行座標與速度表

時間	X	Y	速度 (m/s)
0.00	0.28	1.92	
0.03	0.50	2.01	7.02
0.07	0.72	2.10	6.84
0.10	0.94	2.16	6.53
0.13	1.13	2.22	6.36
0.17	1.34	2.28	6.39
0.23	1.74	2.34	6.04
0.33	2.31	2.37	5.83
0.53	3.38	2.18	5.46
0.57	3.55	2.12	5.51
0.67	4.04	1.87	5.69
0.73	4.35	1.65	5.91
0.77	4.51	1.53	5.98
0.80	4.65	1.39	6.27
0.83	4.82	1.24	6.42
0.93	5.25	0.75	6.58
0.97	5.38	0.59	6.64
1.00	5.52	0.40	7.83
1.10	5.88	0.12	7.93

表 9：第三代飛行筒發射器 2100 轉之飛行座標與速度表

時間	X	Y	速度 (m/s)
0.00	0.47	1.85	
0.07	0.88	2.00	7.82
0.10	1.15	2.12	8.28
0.20	1.85	2.37	7.53
0.27	2.34	2.48	7.32
0.30	2.56	2.54	6.34
0.40	3.13	2.61	6.00
0.43	3.34	2.62	6.43
0.47	3.56	2.59	6.26
0.57	4.12	2.55	6.09
0.60	4.33	2.51	5.96

0.70	4.86	2.36	5.75
0.83	5.51	2.05	5.74
1.03	6.39	1.35	6.12
1.10	6.66	1.07	6.26
1.13	6.79	0.87	6.93
1.17	6.95	0.71	6.46
1.23	7.14	0.36	6.78

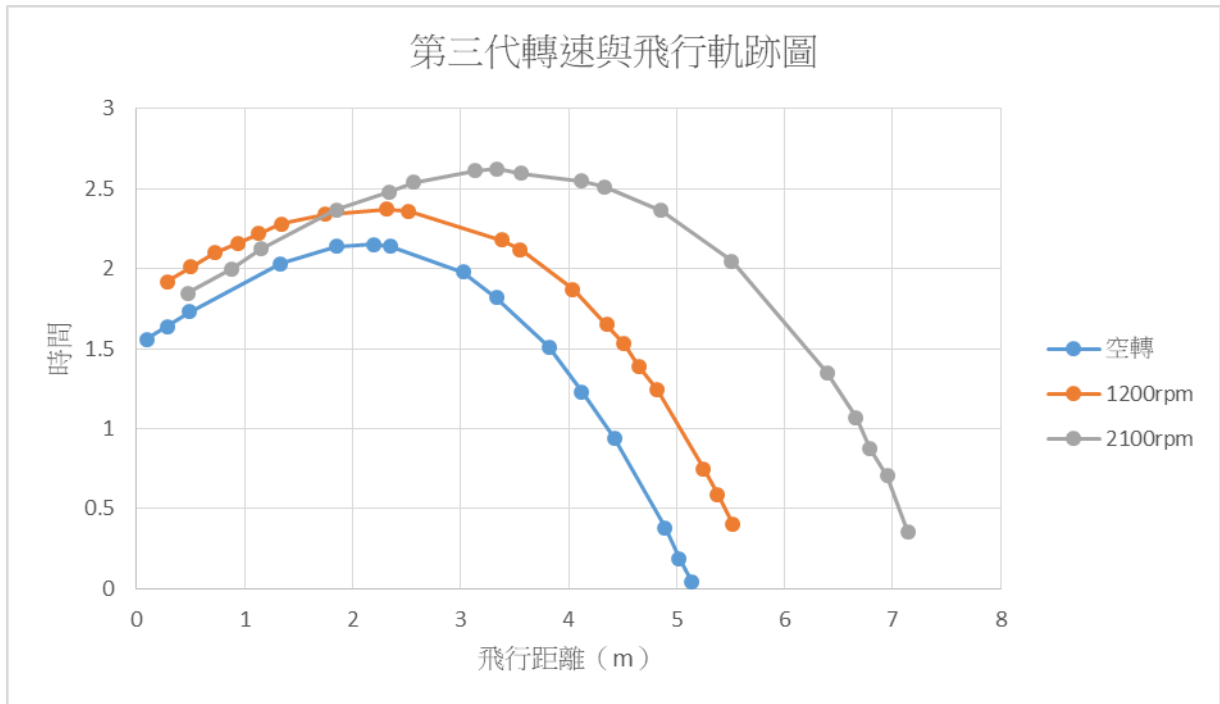


圖 23：第三代不同轉速飛行軌跡圖

3.實驗結果：

- (1) 改變發射結構後整體重量大幅減輕，觀察飛行數據後發現在相同的拉力下，因重量減輕的關係，在不旋轉的狀況下平均飛行距離尚能再增加了 27% 之飛行距離，初速度亦增加至 6.61m/s，2100rpm 最高來到 8.28m/s，顯見發射器重量對飛行距離之影響甚鉅。
- (2) 以第三代飛行筒三種旋轉速度之飛行比較，在同樣拉力下，1200rpm 比不旋轉增加了 15% 之飛行距離，當速度增加至 2100rpm 時，飛行距離更比不旋轉增加 47% 之飛行距離。

4.小結：

- (1) 第三代發射器在重量上相較於第二代減輕 46%，在飛行距離上也看出成效，在 1200rpm 時已接近市售的水準，當轉速超過 2100rpm 時，平均飛行距離提升至 766 公分，超越市售的飛行距離。
- (2) 分析轉速與飛行距離可發現旋轉速度增加確能助於增加飛行距離，驗證文獻中

旋轉有助於飛行距離的說法。

- (3) 第三代之設計能同時改善旋轉與飛行所需彈力兩者共存之問題，找出旋轉與飛行距離之間的關係，未來能進一步飛行筒旋轉與探討角動量守恆或轉動慣量之間的奧秘。

伍、研究結果與討論

一、探討市售飛行筒發射器轉動與飛行距離之關係。

- (一) 基座旋轉 90°時射出後平均轉速約為 284.75rpm，旋轉 180°時平均轉速約為 435.29rpm，旋轉 360°時射出後平均轉速約為 633.3rpm，實驗結果發現基座旋轉角度越大，射出時飛行筒轉速越快。
- (二) 分析飛行距離時發現轉速越快的飛行筒飛行距離竟然變短，基座旋轉 180°相較於 0°縮短了 29%，旋轉 360°更是縮短了 65.8%，且基座旋轉超過 360°後，飛行筒竟然卻無法射出。
- (三) 市售的發射器透過旋轉發射基座，能產生相當快速的旋轉，但較快速的旋轉並不能讓飛行筒增加飛行距離，這點與一般文獻的提到想要增加飛行距離得增加飛行筒旋轉的觀念不同，另我們感到困惑。
- (四) 我們推測市售的橡皮筋較細彈力不足，導致增加旋轉速度卻減少往前飛行的彈力，以致飛行距離較短，無法同時讓飛行筒旋轉增強與飛行更遠，先改採較粗較長的橡皮筋來推動飛行筒並進行測試。

二、改良飛行筒發射器旋轉特性並進行飛行狀態之探討。

- (一) 改良固定轉速結構帶動飛行筒，設計第一代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。
1. 第一代以固定轉動結構帶動飛行筒旋轉，採用外加電動模式，利用培林及馬達連接小輪胎使飛行筒可以自行旋轉，橡皮筋負責飛行所需之彈力，初步設計以能將旋轉與飛出之彈力分為兩系統。能確實擋住發射外管時所造成之衝擊，讓飛行筒能順利飛出。
 2. 修正部分設計（螺絲螺帽、減速馬達及高密度海綿固定座等）已大幅改善打滑的狀況，。
 3. 第一代自製發射器相較市售發射器重量明顯增加 16 倍之多，這可能是導致飛行距離明顯縮短之因素。
 4. 飛行過程中旋轉速度如同預期有增快的趨勢，經過轉速表測量轉速約為 200rpm 左右，顯見動力系統的確能提供飛行筒轉速
 5. 發射前轉速約為 200rpm，1 秒約為 3 圈，根據表五飛行時間約為 0.8 秒計算，飛行過程應旋轉 2.4 圈，但查看慢速攝影發現旋轉圈數約為 1.75 圈，推測飛行筒在失去培林帶動下約減少 37%的旋轉量。
 6. 對照市售發射器所記錄的旋轉速度，第一代的旋轉因採減速馬達，故轉速最高約 210rpm，相較市售轉速低，且因重量過重，降低飛行筒飛行時間，導致飛行距離明

顯偏短，因此問題仍是重量過重導致。

7.整體而言第一代仍需解決輕量化與打滑問題，需修改帶動的方式。

(二) 結構輕量化並採齒輪轉動，設計第二代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。

- 1.使用塑膠培林後，整體重量已減輕，觀察飛行數據後發現在相同的拉力下，因重量減輕的關係，平均飛行距離增加了 83%，顯見輕量化的確能大幅提升飛行距離，但相對市售的飛行距離仍明顯偏短，可能需再思考如何能再更輕量化。
- 2.分析發射前的轉速，第二代的標準差為 3.85，第一代高達 17.15，可見齒輪設計上轉速穩定度高於車輪帶動方式。
- 3.使用減速馬達帶動轉動，雖減少打滑的現象，但最高轉速僅 210rpm，無法再提升旋轉速度，故亦無法進一步探討旋轉與轉速間的關係，動力部分必須再重新設計以提升轉速，甚至必須設計控制轉速的模式。

(三) 以控制器控制馬達轉速，並再輕量化之構想設計第三代飛行筒發射器並進行飛行狀態之探討。

- 1.改變發射結構後整體重量大幅減輕，觀察飛行數據後發現在相同的拉力下，因重量減輕的關係，在不旋轉的狀況下平均飛行距離尚能再增加了 27%之飛行距離，顯見發射器重量對飛行距離之影響甚鉅。
- 2.以第三代飛行筒三種旋轉速度之飛行比較，在同樣拉力下，1200rpm 比不旋轉增加了 15%之飛行距離，當速度增加至 2100rpm 時，飛行距離更比不旋轉增加 47%之飛行距離。
- 3.第三代發射器在重量上減輕 46%，在飛行距離上也看出成效，在 1200rpm 時已接近市售的水準，當轉速超過 2100rpm 時，平均飛行距離提升至 766 公分，超越市售的飛行距離。
- 4.分析轉速與飛行距離可發現旋轉速度增加確能助於增加飛行距離，驗證文獻中旋轉有助於飛行距離的說法。
- 5.第三代之設計能同時改善旋轉與飛行所需彈力兩者共存之問題，找出旋轉與飛行距離之間的關係，未來可進一步探討飛行筒旋轉極限與飛行距離之間的關係。

柒、結論

一、市售飛行筒發射器轉動與飛行距離之關係

- (一) 為讓飛行筒提高飛行穩定度，市售飛行筒發射器採基座能旋轉之設計，讓飛行筒在飛行時旋轉以增加飛行距離。
- (二) 實驗發現拉下 20 公分時，旋轉基座 90°時是市售飛行筒旋轉之最佳角度。
- (三) 適度的旋轉才能產生最佳的飛行距離，過度的旋轉雖能產生相當快速的旋轉，卻無法再增加飛行距離，顛覆一般認為市售飛行筒發射器轉越多圈飛越遠之印象，至於原因為何須進一步探討。

二、改良飛行筒發射器旋轉特性並進行飛行狀態之探討。

(一) 改良固定轉速結構帶動飛行筒

1. 第一代改良的飛行筒發射器，將帶動飛行筒旋轉與飛行動力分開獨立，避免單一動力在旋轉與飛行力量相互牽制。
2. 旋轉飛行筒之機械結構重量應盡量輕量化，並避免因馬達轉速過快以致飛行筒打滑。

(二) 結構輕量化並採齒輪轉動設計第二代飛行筒

1. 第二代改良的飛行筒發射器確實改善第一代的問題，減輕發射器重量並提高飛行筒轉動效率。
2. 第二代飛行數據顯示在固定轉速、拉力下，輕量化的發射器飛行距離越遠，但第二代的設計卻無法提供不同轉速對飛行距離之影響，仍須進一步改良發射器轉動結構。

(三) 探討不同轉速對飛行距離之影響。

1. 第三代改良的發射器能提供飛行筒不同轉速，在固定拉力下，轉速越快的飛行筒飛行距離越長。
2. 當轉速達 2100rpm 時，飛行距離比不旋轉的飛行筒增加 47%的飛行距離，驗證陀螺儀效應，旋轉的物體有更穩定的狀態，能穩定的飛向更遠的距離。
3. 我們對更高的轉速是否能飛行更遠的距離感到好奇，未來希望能進一步探討飛行筒旋轉極限與飛行距離之間的關係。

柒、參考資料及其他

1. 黃子育,鄧禮維,簡 翊,翁梓傑,(民國 105),筒中求翼 —研究飛行筒投射條件對於飛行狀態的影響並探討其飛行原理,中華民國第 56 屆中小學科學展覽會
2. 國立台中教育大學科學教育與應用學系科學遊戲實驗室-空中騎士
<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-021.html>