

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080104

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

學校名稱：基隆市安樂區建德國民小學

作者： 小六 黃子育 小六 鄧禮維 小六 簡 翊 小四 翁梓傑	指導老師： 黃湘鈺
---	--------------

關鍵詞：陀螺儀原理、伯努力原理、攻角

摘要

本實驗使用 PPE 板及橡膠圈來仿製 X-Zylo 飛行筒，藉由改變飛行筒的形狀和製作筒翼來了解陀螺儀原理在飛行筒中的作用。再改變飛行筒的構造，以增厚橡膠圈、加裝透明片、製作半內側半外側飛行筒等方式，來探討伯努力原理在飛行筒中的效果。實驗結果發現，陀螺儀原理可使飛行筒穩定旋轉，伯努力原理則在本實驗中看不出明顯效果，攻角有助於飛行筒產生向上的升力，使飛行得更遠。

壹、研究動機

上自然課的時候，在老師桌上發現一個造型特別的玩具，老師說它是 X-Zylo 飛行筒，可以飛得很遠。在好奇心的驅使下，我們跟老師借來玩，沒想到輕輕一拋，飛行筒就邊旋轉邊直直地飛向教室的另一端牆壁，與之前玩紙飛機的經驗很不相同。我們覺得很有趣，想知道它為什麼可以飛那麼遠，於是展開了飛行筒的研究。

貳、資料蒐集

在展開研究之前，我們大量蒐集閱讀 X-Zylo 飛行筒的資料。過去科展大都在研究構造對於飛行的影響。國立台中教育大學許良榮教授指出 X-Zylo 飛行筒的飛行距離可輕易超過五十公尺，最遠甚至可達約七十公尺，認為其原理可能包括陀螺儀原理和伯努力原理，但是到目前為止，還沒有科學家肯定指出 X-Zylo 的飛行原理。因此，我們打算從飛行原理的部分來進行探討。

參、研究目的

- 一、研究不同投射的條件對於飛行的影響。
- 二、透過構造的改變與飛行狀態的關係探討陀螺儀原理和伯努力原理對於飛行筒飛行的影響。

肆、研究設備及器材

- 一、測試器材：A4 影印紙、1250ml 的寶特空瓶、軟膠布、0.5mmPPE 板、透明片、0.5cm 黑色橡膠圈、3M 雙面膠、泡棉膠、油漆筆、自製發射器。
- 二、記錄器材：照相機、攝影機、田徑用的捲尺、投影片、油性簽字筆。

伍、研究過程與方法

一、訂定實驗基準

在室外用手投擲 X-Zylo 飛行筒，發現每次所投擲出的距離和飛行高度都不同，推想可能是受到風向和風力的影響，因此改到室內（活動中心）再進行測試。在活動中心用手投擲時，因為空間太小，飛行筒很容易撞到牆壁，無法測量到飛行距離。再加上以人力來投擲的力度、角度、旋轉度都不穩定，無法作為實驗的參考，所以打算設計發射器替代手的投擲。

(一) 設計製作發射器

與自然老師共同製作能調整各種實驗需求的發射器，包含投射角度、力道、旋轉度、更換各種形狀大小的飛行筒等，如【圖一】。

編號	名稱	說明
1	橡皮筋固定孔	發射器最上面，可固定四組橡皮筋的上端，有方便更換的掛孔。
2	緩衝收縮段 (紅色段)	讓飛行筒在橡皮筋收縮撞擊緩衝後，以慣性飛出發射器。並可以讓部分收縮的橡皮筋縮到裡面，避免橡皮筋向外擴散阻止發射。
3	飛行筒固定基座 (白色段)	上段有孔用來固定橡皮筋的下端。中段的基座可換上不同形狀的泡棉，來固定飛行筒。下段是拉動橡皮筋時用的把手。整段可以在支柱中上下滑動，上下端都刻有記號，方便定位確認橡皮筋拉的長度及旋轉圈數。
4	橡皮筋延伸段	向下拉動把手可以延長橡皮筋，或加以旋轉，可改變投射的力量及旋轉性。並測量制定出力量和旋轉刻度，作為實驗基準。
5	投射角固定支架	可調整成 0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°的投射角。
操作方式： <ol style="list-style-type: none"> 1、將發射支架的中段支撐在發射高度支架上，下端插在實驗投射角度的固定支架。 2、將飛行筒和對應形狀的固定用泡棉放入固定基座，並將飛行筒的黃色記號對齊固定基座上的記號，作為發射前固定的基準位置。 3、向下拉動固定基座把手，拉長橡皮筋到實驗設定的位置並旋轉到預定旋轉圈數的刻度。 4、鬆開把手，飛行筒快速向上移動旋轉，固定基座上端撞擊緩衝收縮段後停止，飛行筒隨著慣性飛出發射器。 		

發射高度支架：100cm

【圖一】飛行筒發射器。

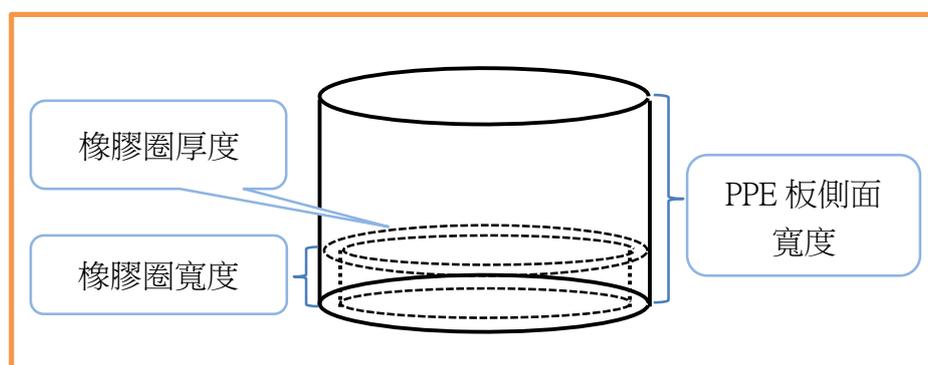
(二) 仿製市售飛行筒

試過用 A 4 紙以及寶特瓶和絕緣膠帶為材料製作的飛行筒，飛行效果卻沒有預期的好。因為市售 X-Zylo 飛行筒已能投射相當遠的距離，為了最接近 X-Zylo 飛行筒的飛行效果，因此拆開 X-Zylo 飛行筒以實際測量出規格，用 PPE 板及橡膠圈進行模擬仿製，並在飛行筒的橡膠圈朝前時，在筒身以順時鐘方向依序塗上黃、藍、紅、白四色條紋，每次發射時固定對齊黃色，以便觀察旋轉的方向和圈數。如【圖二】。

另外，為了方便後續實驗中要更改成不同筒形的製作，將側面高度以波峰和波谷的平均值 5.5 公分來計算，製作出直筒狀飛行筒。內部構造如【圖三】。

市售 X-Zylo 飛行筒	自製波浪狀飛行筒	自製直筒狀飛行筒
		
周長：30.8cm 側面寬度： { 波峰：6.15cm { 波谷：4.85cm 重量：23.11g 前端增厚寬度：1.3cm 前端增厚厚度：0.3cm	周長：30.8cm 側面寬度： { 波峰：6.15cm { 波谷：4.85cm 重量：23.08g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.13g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm

【圖二】市售飛行筒與自製飛行筒比較。



【圖三】自製飛行筒的內部構造。

(三) 模擬飛行筒和市售對比實驗

在正式實驗前，用發射器測試市售 X-Zylo 飛行筒、自製波浪狀和直筒狀飛行筒三者

的飛行效果差異，結果如【表一】。

【表一】市售 X-Zylo 飛行筒與自製飛行筒的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
X-Zylo 飛行筒	12.83	12.96	12.88	12.68	12.72	12.81
自製波浪狀	12.87	12.42	13.02	12.78	12.87	12.71
自製直筒狀	12.56	12.66	13.11	12.81	12.89	12.81

雖然三者的規格非常相近，但仍有不同。實驗結果發現三種飛行筒的飛行距離相近，因此將以自製的飛行筒為基準來改造，進行後面的實驗。

(四) 訂定操作基準

1. 為了讓實驗更加嚴謹，訂立操作的基準：
 - (1) 橡皮筋彈性：為使橡皮筋的彈性接近，每次實驗前更換橡皮筋。
 - (2) 紀錄次數：各測試五次，並求取平均值。
 - (3) 實施地點：固定在學校活動中心測試，減少風的影響。
 - (4) 射程紀錄：由攝影機固定在同一地點進行拍攝，再剪輯成圖片，以便觀察。
2. 測試過程中，發現仍有必要訂定飛行時的基準，於是增列四項測試：
 - (1) 順、逆時鐘方向旋轉橡皮筋的測試【如表二】

【表二】順時鐘方向旋轉和逆時鐘方向旋轉的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
順時鐘旋轉	12.87	12.42	13.02	12.78	12.87	12.79
逆時鐘旋轉	12.88	12.63	12.63	12.92	12.86	12.79

結果顯示兩者的平均距離相近，但以順時鐘方向旋轉橡皮筋時，飛行筒會往左邊偏轉；當以逆時鐘方向旋轉橡皮筋時，飛行筒會往右邊偏轉。因為一般都習慣以順時鐘方向旋轉橡皮筋來發射，因此以下實驗均採用順時鐘方向旋轉。

(2) 發射力度的測試

為固定發射的力度，以塑膠袋裝培養土，將 1 公斤的培養土平均分裝成 4 袋，分掛在發射器的前後左右，使四邊所承受的重量相同。為了明確實驗時的發射力度基準，

先測出力度 1 公斤、2 公斤、3 公斤、4 公斤和 5 公斤時的橡皮筋距離，在發射器上刻畫出標準。

先以平射作為基準，分別以力度 1、力度 2、力度 3、力度 4 及力度 5 來做實驗，各進行五次測試，結果如【表三】。

【表三】發射力度的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
力度 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
力度 2	2.20	1.38	1.77	2.00	1.98	1.87
力度 3	4.60	4.18	3.80	3.62	4.13	4.07
力度 4	5.52	6.05	5.27	6.04	6.11	5.80
力度 5	8.26	8.42	7.90	7.99	7.90	8.09

結果發現當力度為 1 和 2 時，因為發射的力度不夠，出現了飛行筒發射不出去或撞到緩衝泡棉的現象。當力度 5 時飛行距離最遠，但因受限於場地太小以及拍攝時無法拍到完整的飛行軌跡，因此以下實驗均採力度 4 來進行實驗。

(3) 橡皮筋轉圈數的測試

在蒐集的資料中均提到要使飛行筒飛行距離遠，丟擲出去時手必須像拿橄欖球一樣的旋轉往前丟，才能讓 X-Zylo 旋轉。為了讓實驗時的轉圈基準明確，分別用橡皮筋旋轉 0 圈、1/4 圈、1/2 圈、3/4 圈以及 1 圈來做實驗。各進行五次測試，結果如【表四】。

【表四】發射器橡皮筋轉圈的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
轉 0 圈	5.52	6.05	5.27	6.04	6.11	5.80
轉 1/4 圈	5.51	5.62	6.30	6.22	6.35	6.00
轉 2/4 圈 (=1/2 圈)	6.19	6.15	6.14	6.00	5.91	6.08
轉 3/4 圈	5.67	4.94	5.37	5.22	5.59	5.36
轉 1 圈	5.54	5.26	5.20	5.00	5.31	5.26

結果發現橡皮筋轉 1/2 圈時飛行距離最遠，當旋轉圈數繼續增加，飛行距離反而變近。可能是因為當旋轉力度變強而增加了阻力，部分力度轉為旋轉，反而產生反效果，造成距離縮短。因此以下實驗均採用轉 1/2 圈橡皮筋來進行實驗。

(4) 發射器角度的測試

為了實驗時的發射角度基準明確，分別將發射器的角度設定為 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度和 90 度來進行發射。各進行五次測試，結果如【表五】。

【表五】發射器角度的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
0 度	6.19	6.15	6.14	6.00	5.91	6.08
15 度	11.02	8.91	10.79	9.34	8.8	9.77
30 度	12.71	12.50	12.58	13.00	14.30	13.02
45 度	12.20	13.05	11.47	13.62	13.70	12.81
60 度	7.63	9.02	7.29	9.13	8.37	8.29
75 度	4.81	5.08	4.71	4.75	4.76	4.82
90 度	1.28	1.79	2.04	1.53	1.06	1.54

實驗結果發現，當仰角較小時，旋轉力度減弱後落下的飛行距離有所增加，因此飛較遠的可能落在 30 度。但距離較遠，鏡頭拍攝不到，為配合需要，因此以下實驗均採第二遠距離的 45 度發射角度來進行實驗。

(五) 確定實驗投射的基準

為符合攝影清晰與空間限制等需求，找出適當發射角度 45°，再調整力度為 4kg，並固定採用相同旋轉圈數 1/2 圈，當作本研究投射的基準。

二、探討陀螺儀原理對飛行筒的影響

陀螺儀原理是指一個旋轉物體的旋轉軸所指的方向在不受外力影響時，是不會改變的。而 X-Zylo 飛行筒類似圓筒狀的陀螺，用手腕快速甩動造成飛行筒的一股作用力，使其開始旋轉並維持平滑的飛行軌跡。

實驗的假設是如果在相同的彈射力量下，改變飛行筒的形狀使旋轉變慢，是否會縮短飛行的距離？接著在飛行筒側面製作出可加速旋轉的筒翼，是否會增加飛行距離？以此來印證陀螺儀原理：旋轉減弱時會偏離飛行軌跡，旋轉增加時會維持飛行軌跡。

【實驗一】測試不同旋轉速度飛行筒的飛行情形

製作與直筒狀飛行筒相同周長、側面寬度以及重量相近的其他形狀飛行筒，包括正三角形、正四邊形、正五邊形、正六邊形、正十二邊形，如【圖四】。

在拍攝紀錄飛行軌跡時，使用相機連拍功能，再將投射軌跡重疊成單一相片，如【圖五】，並用透明片描繪成記錄圖，再以飛行軌跡圖來進行分析。每種形狀各進行五次的投射測驗，測量其距離並計算出平均值，結果如【圖六】，旋轉圈數如【圖七】~【圖十二】。

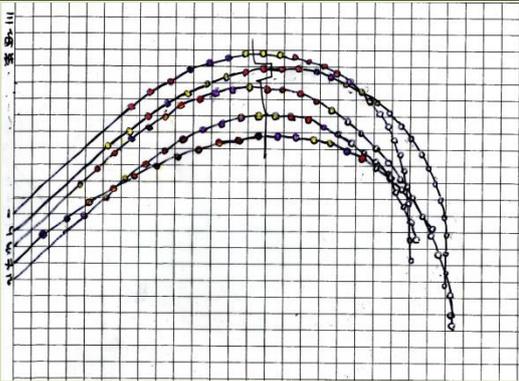
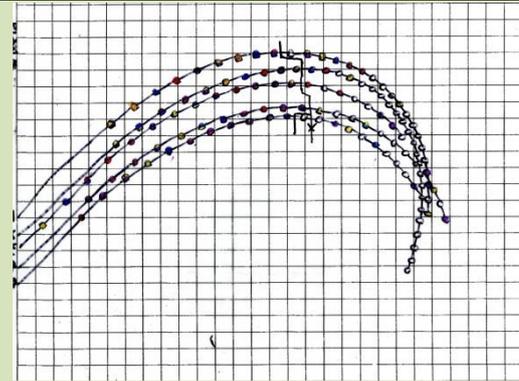
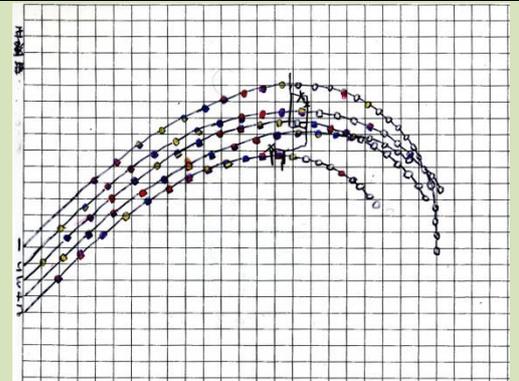
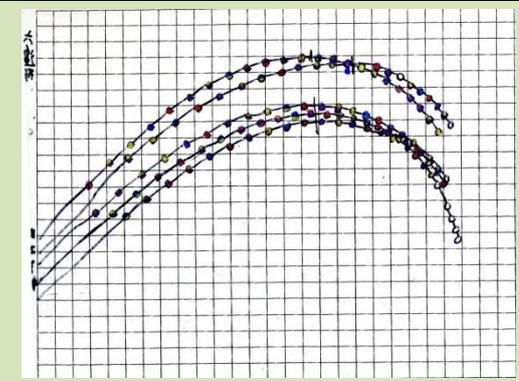
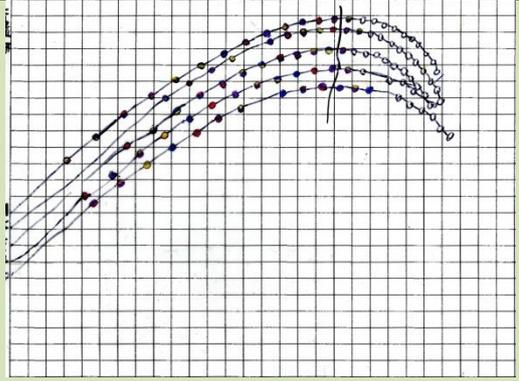
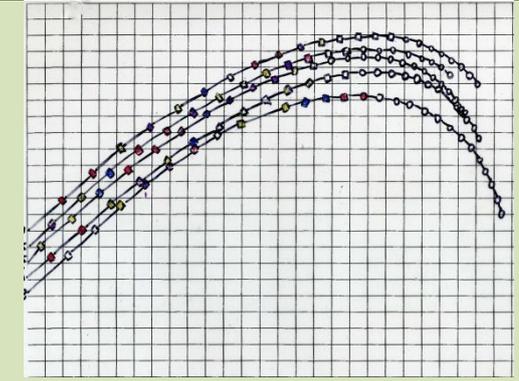
正三角形		正四邊形		正五邊形	
	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.08g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.19g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.16g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm
正六邊形		正十二邊形		圓形	
	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.11g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.10g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.13g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm

【圖四】自製各種形狀的飛行筒及規格。



【圖五】投射軌跡重疊圖。

形狀	飛行軌跡
----	------

正三角形					正四邊形				
	【 A 】					【 B 】			
	平均旋轉圈數	2.4	抵達最高點的水平平均距離(m)	6.49		平均旋轉圈數	2.9	抵達最高點的水平平均距離(m)	7.04
平均距離(m)	10.61	抵達最高點的軌跡平均距離(m)	7.87	平均距離(m)	11.27	抵達最高點的軌跡平均距離(m)	8.72		
形狀	飛行軌跡				形狀	飛行軌跡			
正五邊形					正六邊形				
	【 C 】					【 D 】			
	平均旋轉圈數	3.2	抵達最高點的水平平均距離(m)	7.09		平均旋轉圈數	3.6	抵達最高點的水平平均距離(m)	7.41
平均距離(m)	11.73	抵達最高點的軌跡平均距離(m)	8.75	平均距離(m)	11.74	抵達最高點的軌跡平均距離(m)	9.15		
形狀	飛行軌跡				形狀	飛行軌跡			
正十二邊形					圓形				
	【 E 】					【 F 】			
	平均旋轉圈數	4.2	抵達最高點的水平平均距離(m)	8.46		平均旋轉圈數	4.2	抵達最高點的水平平均距離(m)	8.51
平均距離(m)	12.45	抵達最高點的軌跡平均距離(m)	10.15	平均距離(m)	12.81	抵達最高點的軌跡平均距離(m)	10.47		

【圖六】不同旋轉速度飛行筒的飛行軌跡測試。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	推算圈數
1													2
2													2.5

3																2.5
4																2.5
5																2.5
備註	1. 用黃、紅、白色標示三個面的一側。 2. 改用拍攝間距較小的相機，提高判斷時的正確性。 3. 前段沒有影像的用別組的規律來推算。 4. 因為影像的間距小、連續性高，觀察時轉動比之前明顯的慢，所以是逆時鐘慢速轉。															平均圈數
																2.4

【圖七】三角形最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖六】之A）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	推算圈數
1														2.5
2														3
3														3
4														3
5														3
備註														平均圈數
														2.9

【圖八】四邊形最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖六】之B）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	推算圈數
1															3
2															3
3															3.5
4															3.5
5															3
備註															平均圈數
															3.2

【圖九】五邊形最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖六】之C）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	推算圈數
1														3.5
2														3.5
3														3
4														4
5														4
備註														平均圈數
														3.6

【圖十】六邊形最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖六】之D）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	推算圈數
1															4
2															4

3																4.5
4																4
5																4.5
備註															平均圈數	
															4.2	

【圖十一】十二邊形最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖六】之E）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	推算圈數	
1																4
2																4
3																4.5
4																4.5
5																4
備註															平均圈數	
															4.2	

【圖十二】圓形最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖六】之F）。

小結：

當飛行筒邊數較少時，會增加旋轉時的阻力。邊數愈多、形狀愈趨近圓形時，阻力會減少，平均旋轉圈數會愈多，也使得抵達最高點的平均距離以及平均飛行距離都會愈遠。

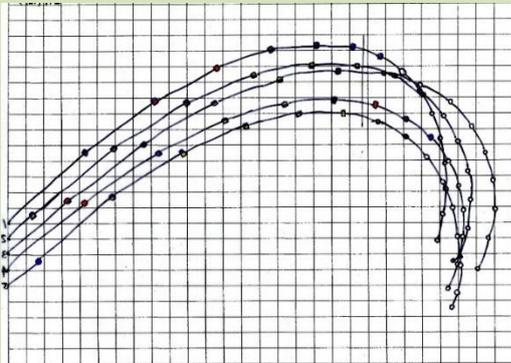
【實驗二】利用筒翼改變旋轉速度，觀察飛行的改變

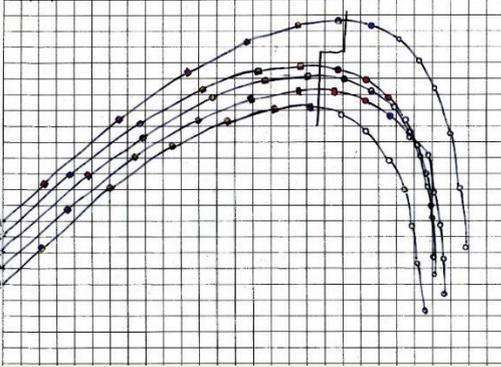
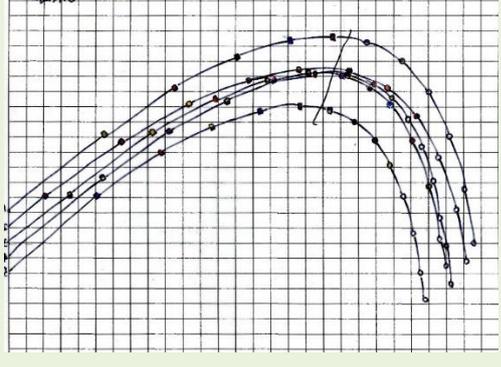
以風扇的葉片為構思，在飛行筒側面以不增加重量、切割的方式做出筒翼。觀察在飛行時，當空氣受到不同數量筒翼的影響，是否會改變飛行筒狀態。

將直筒狀飛行筒的側面切出 2 片、4 片和 8 片的三種不同飛行筒，每片筒翼的底為 1.5 公分、高為 2.4 公分，單位面積為 1.8 平方公分，使三種飛行筒筒翼的總面積呈現倍數增加，如【圖十三】。各進行五次測試，並將五次飛行軌跡進行分析，結果如【圖十四】，旋轉圈數如【圖十五】~【圖十七】。

2 片筒翼	4 片筒翼	8 片筒翼
		
周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.17g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 筒翼單位面積：1.8 cm ² 筒翼總面積：3.6 cm ²	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.14g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 筒翼單位面積：1.8 cm ² 筒翼總面積：7.2 cm ²	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.18g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 筒翼單位面積：1.8 cm ² 筒翼總面積：14.4 cm ²

【圖十三】單位面積相同之不同筒翼飛行筒的比較。

筒翼數量	飛行軌跡	測試數據	
2 片	 【 A 】	平均旋轉圈數	5
		平均距離(m)	12.98
		抵達最高點的水平平均距離(m)	8.69
		抵達最高點的軌跡平均距離(m)	10.52
筒翼數量	飛行軌跡	測試數據	

4片	 <p style="text-align: center;">【 B 】</p>	平均旋轉圈數	4.9
		平均距離(m)	12.63
		抵達最高點的水平平均距離(m)	8.23
		抵達最高點的軌跡平均距離(m)	9.96
8片	 <p style="text-align: center;">【 C 】</p>	平均旋轉圈數	3.2
		平均距離(m)	12.16
		抵達最高點的水平平均距離(m)	8.19
		抵達最高點的軌跡平均距離(m)	9.80

【圖十四】單位面積相同之筒翼飛行筒的飛行軌跡圖。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	推算圈數
1									5.5
2									5
3									5
4									5
5									4.5
備註	<ol style="list-style-type: none"> 紀錄以出發點到最高點之間拍攝作為觀察。 固定以黃色朝上做為出發點。 因為投出時是逆時鐘轉，分段相片看起來是順時鐘轉不到一圈，但是現場其實轉了很多圈，所以判斷每個點之間都轉了快一圈才正確。再加上最前段轉速較快，會多估算一些。 出發前段速度快、轉速也快，接著速度變慢、轉速也變慢。到達最高點後，速度突然減慢後下降。 因為拍攝的限制無法完整拍攝整個過程，所以推算圈數時無法很準確。加上實驗主要在比較前後轉圈的多少，如果有明顯的差距即可用來證明，所以數值取用整數和一半的數值。 後續實驗將改用拍攝間距較小的相機，減少判斷時的誤差。 如果出發前段的部分沒有拍到，則先參考有拍到的再來推算。 以標示於筒身的白紅藍黃作紀錄，本表用灰色代表白色，其餘相同。 								平均圈數
									5

【圖十五】2片單位面積相同之筒翼最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖十四】之A）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	推算圈數
1									4.5
2									5

3										5
4										5
5										5
備註										平均圈數 4.9

【圖十六】4片單位面積相同之筒翼最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖十四】之B）。

序		a	b	c	d	e	f	g	h	推算圈數
1										4
2										3
3										3
4										3
5										3
備註										平均圈數 3.2

【圖十七】8片單位面積相同之筒翼最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖十四】之C）。

當單位面積相同的筒翼數量愈多時，飛行筒飛行時所受到的阻力愈大，使得飛行筒的平均旋轉圈數愈少，也使得抵達最高點的水平平均距離、抵達最高點的軌跡平均距離以及平均飛行距離都會愈近。

對照【圖六】之F和【圖十四】，發現2片和4片時的轉圈數都比直筒狀飛行筒多，2片的飛行高度更高於直筒狀。增加的高度應該是旋轉增加所造成，而斜出來的筒翼增加了阻力，所以在速度減弱後會更容易快速落下。而8片時可能是因為阻力太大，反而造成旋轉圈數、抵達最高點的水平平均距離、抵達最高點的軌跡平均距離以及平均距離都比直筒狀少。

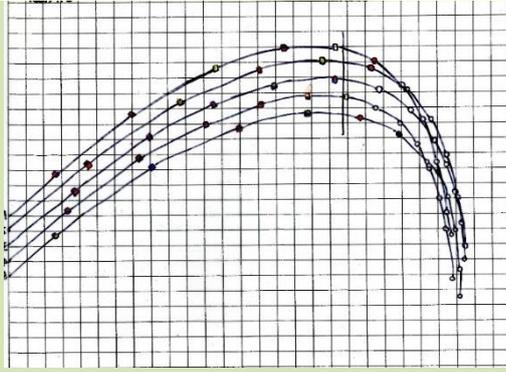
在【實驗二】中看見增加筒翼的數量可能有助於增加旋轉，進而增加飛行到最高點的距離，於是設想如果不增加筒翼的阻力(即總面積)而增加筒翼的數量時，是不是就能增加飛行到最高點的距離？

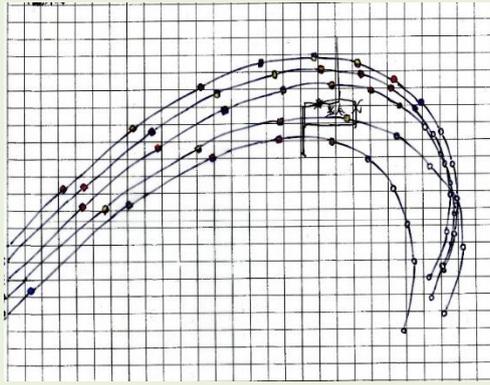
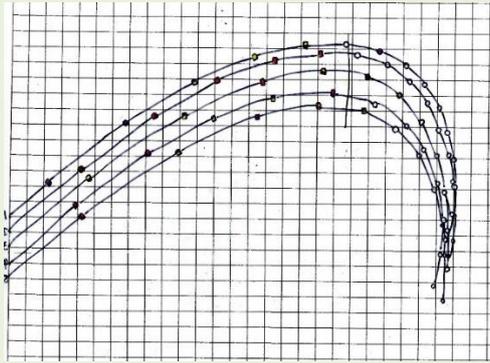
【實驗三】測試當筒翼阻力相同時，加速旋轉對於飛行的影響

製作與直筒狀飛行筒規格相近的筒翼飛行筒，分別在側面切出 2 片、4 片和 8 片的筒翼，2 片筒翼的底 2 公分、高 4 公分，4 片筒翼的底 $\sqrt{2}$ (≈ 1.4) 公分、高 $2\sqrt{2}$ (≈ 2.8) 公分，8 片筒翼的底 1 公分、高 2 公分，使這三種飛形筒筒翼的總面積相同，如【圖十八】。接著各進行五次測試，並將五次飛行軌跡進行分析，結果如【圖十九】，旋轉圈數如【圖二十】~【圖二十二】。

2 片筒翼	4 片筒翼	8 片筒翼
		
周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.18g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 筒翼單位面積：4 cm ² 筒翼總面積：8 cm ²	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.10g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 筒翼單位面積：2 cm ² 筒翼總面積：8 cm ²	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.17g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 筒翼單位面積：1 cm ² 筒翼總面積：8 cm ²

【圖十八】總面積相同之不同筒翼飛行筒的比較

筒翼數量	飛行軌跡	測試數據	
2 片		平均旋轉圈數	4.1
		平均距離(m)	12.94
		抵達最高點的水平平均距離(m)	8.55
		抵達最高點的軌跡平均距離(m)	10.51

筒翼數量	飛行軌跡	測試數據	
4片	 【 B 】	平均旋轉圈數	4.6
		平均距離(m)	14.27
		抵達最高點的水平平均距離(m)	8.60
		抵達最高點的軌跡平均距離(m)	10.62
8片	 【 C 】	平均旋轉圈數	5.2
		平均距離(m)	14.43
		抵達最高點的水平平均距離(m)	8.87
		抵達最高點的軌跡平均距離(m)	10.98

【圖十九】：總面積相同之筒翼飛行筒的飛行軌跡圖。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	推算圈數
1	Red	Red	Yellow	Grey					4
2	Red	Yellow	Red	Yellow					3.5
3	Red	Grey	Red	Grey	Red				4.5
4	Red	Blue	Red	Red	Yellow				4.5
5	Yellow	Red	Red	Grey					4
備註	一開始速度較快將近一圈，越靠近高點時，速度變慢，變成半圈多。								平均圈數 4.1

【圖二十】：總面積相同之 2 片筒翼最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖十九】之 A）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	推算圈數
1	Red	Yellow	Grey	Red	Blue				5
2	Red	Blue	Red	Blue	Yellow				5
3	Red	Blue	Red	Blue	Yellow				4.5
4	Yellow	Grey	Red	Grey					4.5
5	Blue	Yellow	Red	Red	Yellow				4
備註	【序 4】、【序 5】看起來像只是逆時鐘方向轉了四分之一圈，其實當時卻是轉很快。每個間距約是 2 圈								平均圈數 4.6

【圖二十一】：總面積相同之 4 片筒翼最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖十九】之 B）。

序	a	b	c	d	e	f	g	h	推算圈數
1	紅	灰	藍	黃	黃				5
2	灰	紅	紅	紅	紅				5.5
3	黃	藍	紅	黃					5
4	紅	紅	藍	藍	紅				5.5
5	灰	黃	紅	灰					5
備註	【序4】、【序5】看起來像只是逆時鐘方向轉了四分之一圈，其實當時卻是轉很快。每個間距約是2圈。								平均圈數
									5.2

【圖二十二】：總面積相同之 8 片筒翼最高點前推算圈數紀錄表（對照【圖十九】C）。

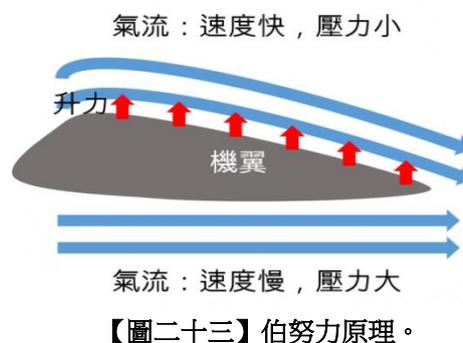
小結：

飛行筒的筒翼總面積相同、筒翼數增多時，飛行時所受到的阻力應該相同，但是在本實驗的條件下，平均旋轉圈數卻有增加，也使得抵達最高點的水平平均距離、抵達最高點的軌跡平均距離以及平均飛行距離都變遠。

三、探討伯努力原理對飛行筒的影響

物體在不可壓縮且無黏滯性的流體中會遵守伯努力定律，也就是當流體的速度愈大，該處的壓力就愈低，飛機能飛在空中就是利用伯努力原理。

當飛機向前飛，在機頭和機翼的空氣不管是背部或腹部，皆須同時到達機尾。因為飛機背部呈弧形而腹部成平面狀，所以背部的空氣流速快，相對壓力就較小，因此壓力大的腹部空氣可以支撐飛機的重量，飛機也就向上飛起來了，如【圖二十三】。



飛行筒飛行的構造也有類似機翼的厚度變化，這應該是伯努力原理的運用。如果改變厚度變化或是使厚度一樣，發射時不旋轉橡皮筋並且改用平射的方式，如【圖二十四】，以減少陀螺儀原理對實驗的影響，是否就能觀察到投射後向上或向下飛行的狀態改變。



【圖二十四】平射。

【實驗四】不同橡皮圈厚度及位置之飛行筒的飛行狀態

為加強橡膠圈突起可能造成的伯努力現象，製作出內圈增厚 2 倍和 3 倍的飛行筒。首先將飛行筒中橡膠圈寬度平分為四，兩兩疊加，依照原始橡膠圈寬度來黏貼，再用 PPE 板固定，製成內圈增厚 2 倍的飛行筒。接著製作內圈增厚 3 倍的飛行筒，為固定飛行筒的總重量，所以第二、第三層改以較輕的泡棉膠材質替代。

為消除橡膠圈突起可能造成的伯努力現象，另外製作一個在橡膠圈內側加透明片的飛行筒。為固定飛行筒總重量，將原本的 PPE 板也改以透明片替代。

然後再將橡膠圈長度對分，一半貼在筒身內側，另一半貼在筒身另一側的外面，製作成橡膠圈半內側半外側的飛行筒，測試同向增厚後可能產生的抬升及下降，如【圖二十五】。

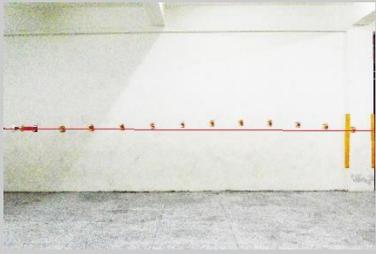
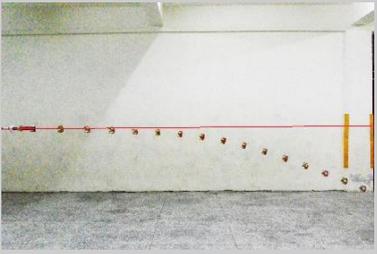
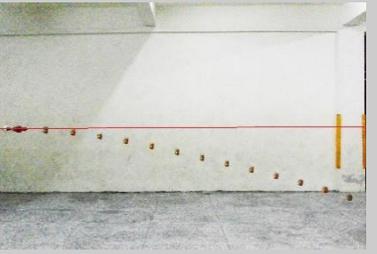
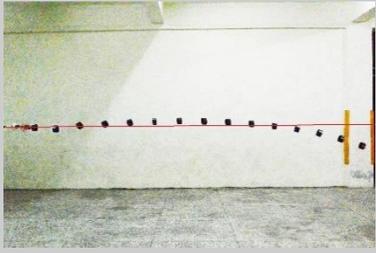
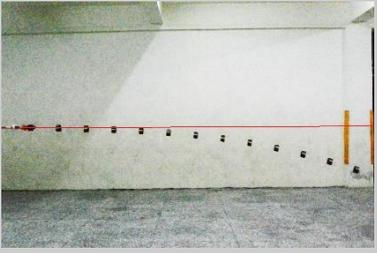
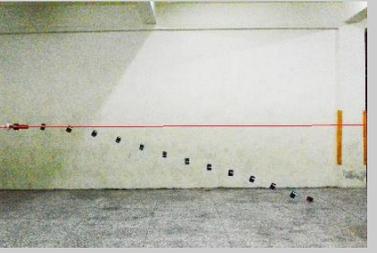
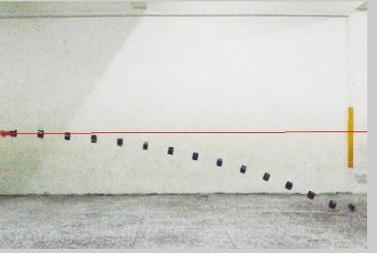
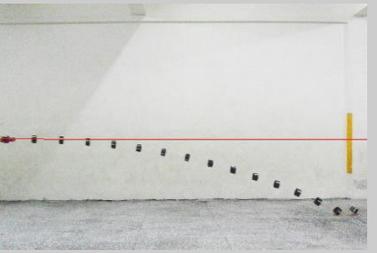
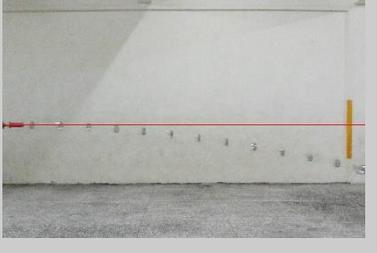
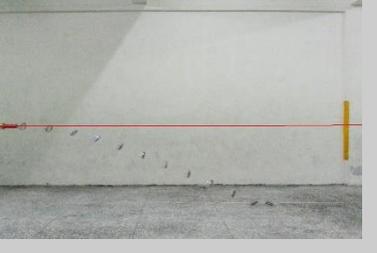
內圈增厚 2 倍		內圈增厚 3 倍	
	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.15g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：1cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.17g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈+泡棉厚度：1.5cm
加透明片		半內側半外側【同向增厚】	
	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.18g 橡膠圈寬度：1.3cm 透明片厚度：0.2cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.11g 橡膠圈寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm

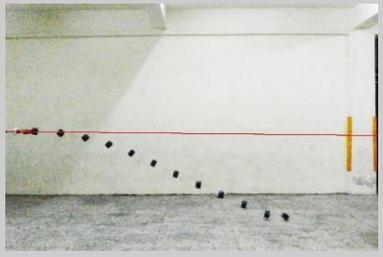
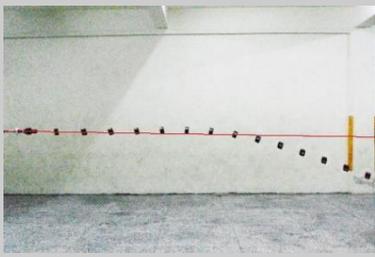
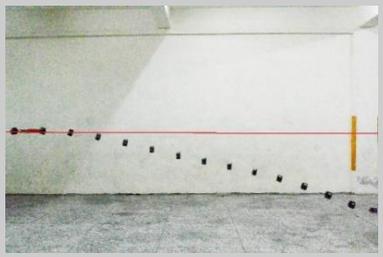
【圖二十五】內圈增厚 2 倍、3 倍、加透明片、半內側半外側飛行筒的比較。

接著各進行五次測試。其中半內側半外側飛行筒在發射時，將分別進行半外側朝下和半外側朝上兩種方式，測試結果如【表六】。整理飛行軌跡相片時，從軌跡前段加以分成上升、平飛和下降等三種飛行軌跡，如【圖二十六】。

【表六】：平射的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
X-Zylo 飛行筒	6.26	5.20	5.57	6.05	6.49	5.91
直筒狀飛行筒	5.36	5.90	5.50	6.19	6.40	5.87
內圈增厚 2 倍	5.42	5.70	5.05	5.28	5.60	5.41
內圈增厚 3 倍	5.58	5.26	4.87	5.52	5.35	5.32
加透明片	6.03	4.19	4.51	4.58	4.23	4.71
半內側半外側 (半外側朝下)	4.43	4.31	4.45	4.14	3.70	4.21
半內側半外側 (半外側朝上)	6.01	5.61	5.63	6.08	5.72	5.81

	飛行前半段上升	飛行前半段平飛	飛行前半段下降
X ₂ Y ₀ 飛行筒			
	編號：1、5	編號：4	編號：2、3
直筒狀飛行筒			
	編號：4、5	編號：2	編號：1、3
內圈增厚 \sim 倍的飛行筒			
	無此現象	無此現象	編號：1~5
內圈增厚 ω 倍的飛行筒			
	無此現象	無此現象	編號：1~5
加透明片的飛行筒			
	無此現象	編號：1、4	編號：2、3、5
	飛行前半段上升	飛行前半段平飛	飛行前半段下降

半內側半外側的飛行筒	半外側朝下			
		無此現象	無此現象	編號：1~5
	半外側朝上			
		編號：1、4	無此現象	編號：2、3、5

【圖二十六】飛行筒平射的比較圖。

小結：

依據伯努力原理，X-Zylo 和直筒狀飛行筒增厚的部分因為是上下相對，平射時上升和下降可能會相互抵消，飛行前段應該是平飛。但是實驗中上升、平飛、下降都有，不符原理。將內圈增厚是想加強弧度，希望產生更強的作用。因為也是上下相對應該會平飛出去，卻都產生下降現象。加裝透明片的飛行筒是想消除弧度的變化，消去伯努力的作用，卻出現了平飛和下降兩種狀態。半外側朝下則符合實驗設計幾乎都向下降落；但是半外側朝上時應該要上升的，卻也產生向下降的情形。所以本實驗無法明顯看出伯努力原理對飛行筒的作用。

【實驗五】改用半內側朝上或朝下

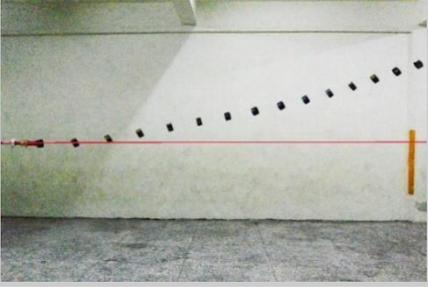
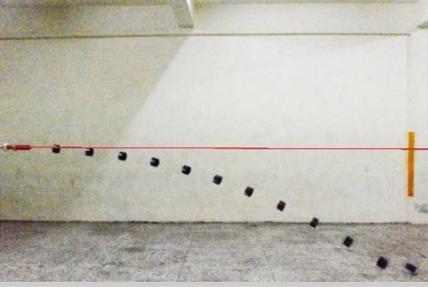
因為半內側半外側的構造實際在伯努力原理的作用並不明顯，無法正確分析出結果，於是試著將橡膠圈的半外側拆除，只剩下半內側來做測試，構造上應該較符合基本原理，如【圖二十七】。並分為半內側朝上和半內側朝下的方式各進行五次平射測試，結果如【表七】。將五次的飛行軌跡做比較，可分成上升和下降兩種，如【圖二十八】。

半內側半外側飛行筒		半內側飛行筒	
	周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：23.11g 橡膠片寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 橡膠圈長度：30.2cm		周長：30.8cm 側面寬度：5.5cm 重量：15.53g 橡膠片寬度：1.3cm 橡膠圈厚度：0.5cm 橡膠圈長度：14.6cm
減少半圈的重量的可能會使飛行距離改變，但是主要是觀察飛行的抬升狀態，所以先不列入考慮。			

【圖二十七】半內側半外側與半內側飛行筒的比較。

【表七】：半內側朝上和半內側朝下的測試距離 (單位：公尺)

編號	1	2	3	4	5	平均
半內側朝上	8.19	5.84	5.66	7.24	5.61	6.51
半內側朝下	4.40	4.28	4.16	4.20	4.37	4.28

	上升	下降
半內側朝上		
	編號：1、4	編號：2、3、5
半內側朝下		
	無此現象	編號：1~5

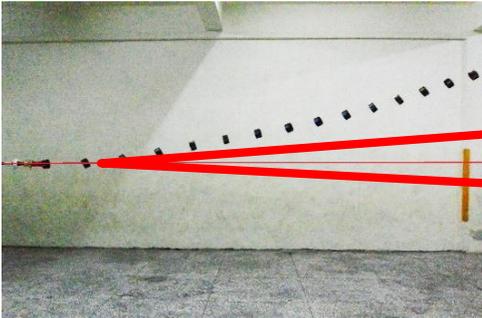
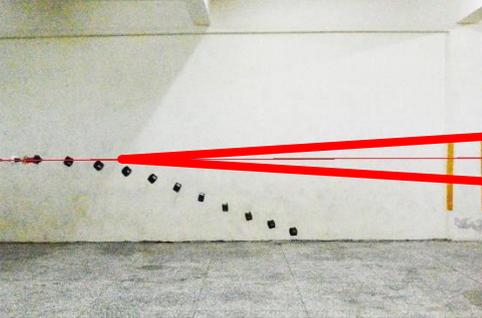
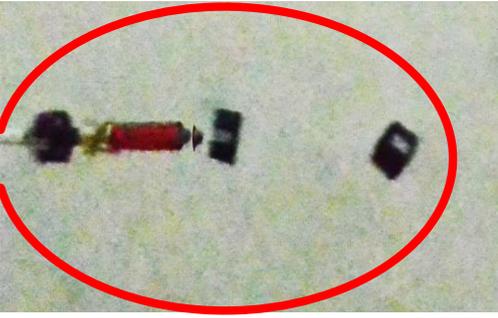
【圖二十八】半內側朝上與半內側朝下的比較。

小結：

以半內側朝上的方式發射時，飛行筒往下降的機率較高，符合伯努力的原理，卻也會產生很明顯的上升；以半內側朝下時，幾乎都是往下墜，不符合伯努力的原理。總體來說仍然不能完全符合伯努力的現象。

再進一步分析資料時發現，此現象很可能是飛行筒固定不穩所造成。因為飛行筒和發射固定座之間不能完全卡緊，必須有點縫隙才能順利發射，但是平放後飛行筒變得容易脫離固定座而傾斜。當飛行筒的重心偏向下時就容易脫離：半內側朝下時幾乎向下墜；而半內側朝上的重心偏上時，可能受推進時微弱的旋轉而向下轉，產生下墜。如果不受微弱轉動作用時，就會明顯向上飛升。

所以當飛行筒射出發射器時，如果角度往上傾斜，飛行軌跡會出現上升；當發射角度往下傾斜時，飛行軌跡則會下墜，如【圖二十九】。

飛行軌跡上升		
半內側朝上編號：1、4		
飛行軌跡下降		
半內側朝上編號：2、3、5 半內側朝下編號：1~5		

【圖二十九】飛行軌跡上升和下降的比較。

陸、研究結果

一、探討陀螺儀原理對飛行筒影響的實驗

1. 在改變飛行筒形狀的實驗中，飛行筒的平均飛行距離以圓形最遠，為 **12.81** 公尺，圓形 > 正十二邊形 > 正六邊形 > 正五邊形 > 正四邊形 > 正三角形。
2. 飛行筒抵達最高點的水平平均飛行距離以圓形最遠，為 **8.51** 公尺，圓形 > 正十二邊形 > 正六邊形 > 正五邊形 > 正四邊形 > 正三角形。
3. 飛行筒抵達最高點的軌跡平均飛行距離以圓形最遠，為 **10.47** 公尺，圓形 > 正十二邊形 > 正六邊形 > 正五邊形 > 正四邊形 > 正三角形。
4. 平均旋轉圈數以圓形和正十二邊形最多，為 **4.2** 圈，圓形 = 正十二邊形 > 正六邊形 > 正五邊形 > 正四邊形 > 正三角形。
5. 當筒翼的單位面積相同時，2 片筒翼的平均距離最遠，為 **12.98** 公尺，其次為 4 片筒翼，距離最近為 8 片筒翼。
6. 當筒翼的單位面積相同時，2 片筒翼抵達最高點的水平平均飛行距離最遠，為 **8.69** 公尺，其次為 4 片筒翼，距離最近為 8 片筒翼。
7. 當筒翼的單位面積相同時，2 片筒翼抵達最高點的軌跡平均飛行距離最遠，為 **10.52** 公尺，其次為 4 片筒翼，距離最近為 8 片筒翼。
8. 當筒翼的單位面積相同時，2 片筒翼的平均旋轉圈數最多，為 **4.1** 圈，其次為 4 片筒翼，8 片筒翼最少。
9. 當筒翼的總面積相同時，8 片筒翼的平均距離最遠，為 **14.43** 公尺，其次為 4 片筒翼，距離最近為 2 片筒翼。
10. 當筒翼的總面積相同時，8 片筒翼抵達最高點的水平平均飛行距離最遠，為 **8.87** 公尺，其次為 4 片筒翼，距離最近為 2 片筒翼。
11. 當筒翼的總面積相同時，8 片筒翼抵達最高點的軌跡平均飛行距離最遠，為 **10.98** 公尺，其次為 4 片筒翼，距離最近為 2 片筒翼。
12. 當筒翼的總面積相同時，8 片筒翼的平均旋轉圈數最多，為 **5.2** 圈，其次為 4 片筒翼，2 片筒翼最少。

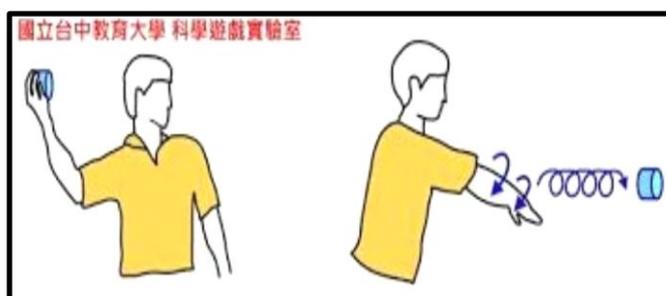
二、探討伯努力原理對飛行筒影響的實驗

1. X-Zylo 飛行筒的平均測試距離最遠，為 5.91 公尺，依序為 X-Zylo 飛行筒 > 直筒狀飛行筒 > 半內側半外側飛行筒(半外側朝上) > 內圈增厚 2 倍飛行筒 > 內圈增厚 3 倍飛行筒 > 加透明片的飛行筒 > 半內側半外側飛行筒(半外側朝下)。
2. X-Zylo 飛行筒和直筒狀飛行筒在飛行前段都出現了上升、平飛和下降等三種飛行軌跡。加裝透明片的飛行筒則是出現平飛和下降的飛行軌跡。而內圈增厚 2 倍和 3 倍的飛行筒以及半內側半外側飛行筒在半外側朝下時都只出現下降的飛行軌跡。
3. 將橡膠片的半外側拆除，只剩下半內側來做測試。當以半內側朝上的方式發射時距離較遠，為 6.51 公尺，而且飛行筒會出現上飄和下墜的現象。但是以半內側朝下方式發射時，飛行筒只有出現往下墜的情形。

柒、討論

從研究結果得知：當飛行筒用相同力量以 45 度角發射時，直筒狀的平均旋轉圈數最多(旋轉速度最快)，飛行的平均距離、抵達最高點的水平平均距離以及抵達最高點的軌跡平均距離也會最遠；當運用筒翼使旋轉加快時，雖然飛行的平均距離可能因筒翼突出的造型增加一些阻力而稍微縮減，但是抵達最高點的平均距離和抵達最高點的軌跡平均距離都變得更遠。可見旋轉的維持及增加，有助於飛行狀態的持續及穩定。此現象符合陀螺儀的原理。

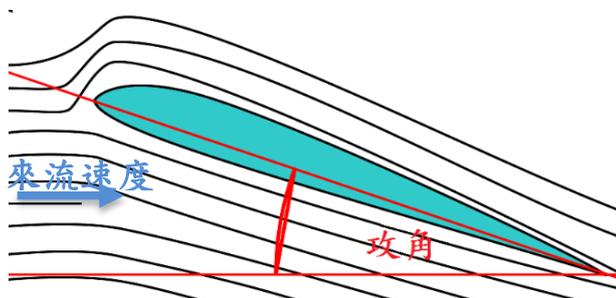
就像資料上提到要使 X-Zylo 飛行筒飛得遠，必須以投擲橄欖球的方式來投擲。也就是手以 U 字型(拇指與食指)握球，另外三隻手指靠緊食指，而球扎實的握在手掌心。球擲出的瞬間把食指和無名指貼著球身，使橄欖球快速旋轉，如【圖三十】。



【圖三十】投擲飛行筒的姿勢。

伯努力原理的現象在本實驗的條件中無法獲得應證。但是從【實驗五】中發現當發射角度往上傾斜時，飛行軌跡出現上升；當發射角度往下傾斜時，飛行軌跡則會下墜。這個向上仰起和向下傾斜的角度，可能就是造成飛機起飛或風箏上升的攻角。

從資料得知，飛機起飛時，機翼和水平來流速度之間

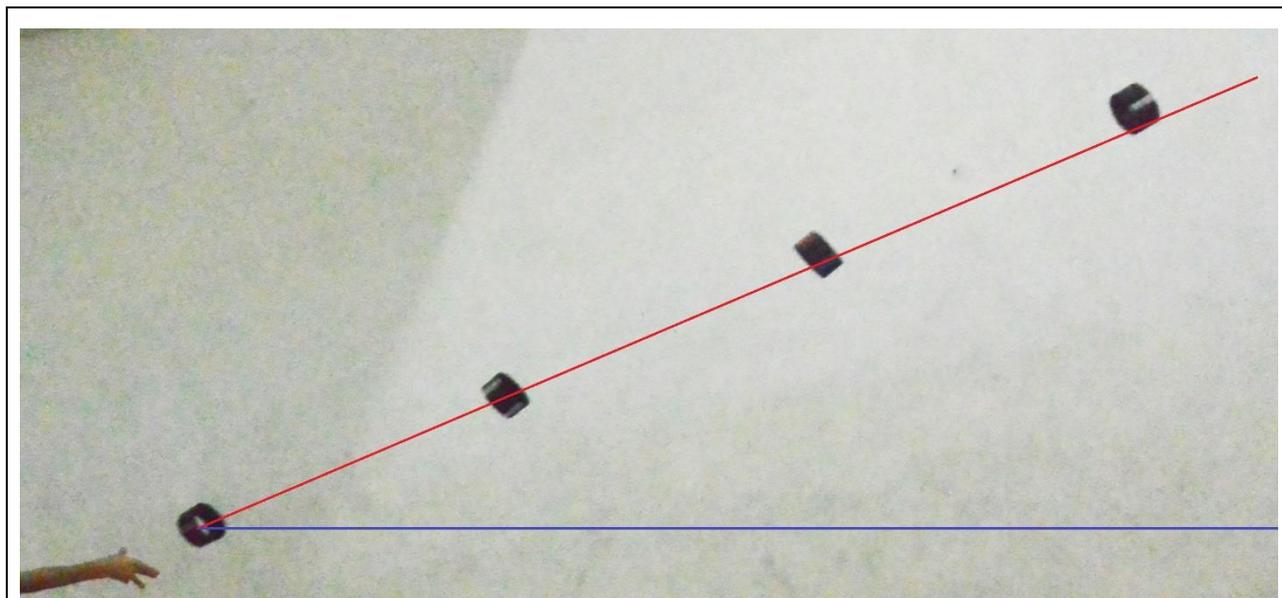


【圖三十一】攻角。

會有一夾角，造成機身傾斜，此夾角被稱為攻角。當機翼前緣向上為正攻角，向下則為負攻角，如【圖三十一】。

用手投擲飛行筒時多半都能比發射器更遠，除了手的力量大於發射器中橡皮筋的作用，另外就是投擲時可以產生和飛行筒前進方向呈現夾角的旋轉軸，這樣的角就形成向上升力的正攻角。

實際用手投擲飛行筒，以接近 30 度的方式投擲，發現會產生向上仰起的現象，如【圖三十二】。此向上的角度應該就是飛行筒和投射腳的攻角作用造成，可以幫助飛行軌跡上仰，使得飛行筒飛得更遠。



備註

將第一和第二個飛行筒的重心用紅線連接並延長，可以看到投出後攻角角度會上揚且呈現變大的現象。

【圖三十二】以手投擲飛行筒的飛行軌跡圖。

捌、結論

- 一、當飛行筒的邊數愈多，形狀愈趨近圓形時，平均旋轉圈數會愈多，也使得抵達最高點的平均距離以及平均飛行距離都會愈遠。
- 二、當飛行筒單位面積相同的筒翼數量愈多時，飛行筒飛行時所受到的阻力愈大，使得飛行筒的平均旋轉圈數愈少，也使得抵達最高點的水平平均距離、抵達最高點的軌跡平均距離以及平均飛行距離都會愈近。
- 三、飛行筒的筒翼總面積相同，當筒翼數愈多時，平均旋轉圈數會愈多，也使得抵達最高點的水平平均距離、抵達最高點的軌跡平均距離以及平均飛行距離都會愈遠。
- 四、從 X-Zylo 飛行筒、直筒狀飛行筒、內圈增厚飛行筒、加裝透明片的飛行筒及半內側半外側飛行筒的飛行軌跡中，無法明顯看出伯努力原理對飛行筒的作用。
- 五、當以半內側朝上的方式平射時，飛行筒出現往下墜的機率較高，此符合伯努力的原理，卻也會產生很明顯的上升，此現象有可能是飛行筒位移或重心偏移所造成；以半內側朝下時，幾乎都是往下墜，此不符合伯努力的原理。總體來說仍然不能完全符合伯努力的現象。
- 六、本實驗中，證明飛行筒飛行的原理主要是陀螺儀原理，而伯努力原理的作用較不明顯。

玖、期望

在這次研究中，透過改變飛行筒的構造及運用自製發射器，設計實驗來探討 X-Zylo 飛行筒能夠飛出遙遠距離的原理。從實驗中了解，以陀螺儀原理對於飛行筒的飛行影響最大，伯努力原理的作用不明顯。而攻角的作用僅使用相片做推論，並無利用實驗器材及測量儀器來進行佐證，只好留待以後再設計實驗。

拾、參考資料及其他

- 一、泛科學 PanSci，(2015/09/23)，<http://pansci.asia/archives/86419>
- 二、空中旋轉的小罐子，愛國國小王業翔等，(2015/09/09)，
<http://www.khjh.kh.edu.tw/science40/%E9%AB%98%E5%B0%8F/%E9%AB%98%E5%B0%8F%E7%89%A9%E7%90%861/%E9%AB%98%E5%B0%8F%E7%89%A9%E7%90%861.htm>
- 三、陀螺儀，(2015/10/10)，https://www.youtube.com/watch?v=k4u9n_aDgdY
- 四、神奇圈圈飛機，(2015/09/02)，<https://www.youtube.com/watch?v=KJh2EwNm1Yc>
- 五、科學玩具柑仔店，(2015/09/16)，
<http://kingdarling.blogspot.tw/2012/12/x-zylo-ultra.html>
- 六、國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，科學實驗遊戲室，空中騎士，
(2015/09/16)，<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-021.html>
- 七、國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，科學實驗遊戲室，飛行高手，
(2015/09/16)，<http://scigame.ntcu.edu.tw/bottle/bottle-005.html>
- 八、新北市教育電子報，第一百零六期自然與生活科技，(2015/09/23)，
<http://epaper.ntpc.edu.tw/index/EpaSubShow.aspx?CDE=EPS20130613163145QIZ&e=EPA201304021127082IF>
- 九、維基百科，攻角，(2015/11/25)，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%94%BB%E8%A7%92>
- 十、模型飛機的空氣動力學，(2015/09/23)，
<http://junior.cyhs.tp.edu.tw/shuwd/Aircraft%20Dynamics/>

【評語】 080104

1. 本作品為有趣的科學玩具。
2. 能自製發射儀器，具重複並穩定的發射機制，得以準確探究不同變因。