

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

團隊合作獎

082905

旋轉陀螺-空中 Ubyke

學校名稱：新北市私立及人國民小學

作者： 小五 林嘉宣 小五 蕭妤庭 小四 鄭榆澄 小四 謝青樺	指導老師： 陳瑩雯 張政義
---	---------------------

關鍵詞：旋轉、陀螺、飛行器

摘要

觀賞球類比賽時曾思考球的飛行路線為何會突然發生偏轉，產生意想不到的運動軌跡？查詢資料發現「馬格努斯效應」是流體力學中，因「白努力定律」所產生的現象；在壓力差的存在下，會使旋轉的運動球體（圓柱體）產生位置的偏移。我們先利用保麗龍的飄動，驗證了白努力定律中因速度差產生的壓力變化，接著利用 2 種不同的實驗，證明旋轉的圓柱體運動軌跡會因壓力差而產生路徑的改變；最後我們以「紙杯」來設計實驗，利用橡皮筋來纏繞紙杯並提供飛行時的動力，就像空中旋轉的陀螺。我們利用不同的操作變因，探討運動軌跡的變化，希望找出在空中能飛行更久、更遠的簡易飛行器，如果日後能克服重量的問題，也許不久的將來就能成為空中 Ubyke。



壹、研究動機

去年最讓棒球迷熱血沸騰的賽事，莫過於世界 12 強棒球賽了，我們也跟著家人看了幾場比賽。幾次發現了棒球飛行的路線會突然的改變方向，我們很納悶，查詢資料後發現這與足球繞過守門員的香蕉球原理類似，是因為當旋轉物體飛行時產生了偏移的現象，我們覺得很神奇，於是開始了我們一連串的應用研究。

貳、研究目的

我們希望了解飛行的球體為何路線會突然偏轉，產生意想不到的運動軌跡？並希望利用此原理製作簡易飛行器。為此，我們的研究目的為：



- 一、探討速度與壓力對物體運動方式的影響。
- 二、比較有無旋轉對圓柱體運動軌跡的差異。
- 三、找出最適合製作飛行器的杯子條件。
- 四、發射器的製作。
- 五、設計製作簡易飛行器，以便日後作為空中 Ubyke 的模型。

參、研究設備及器材

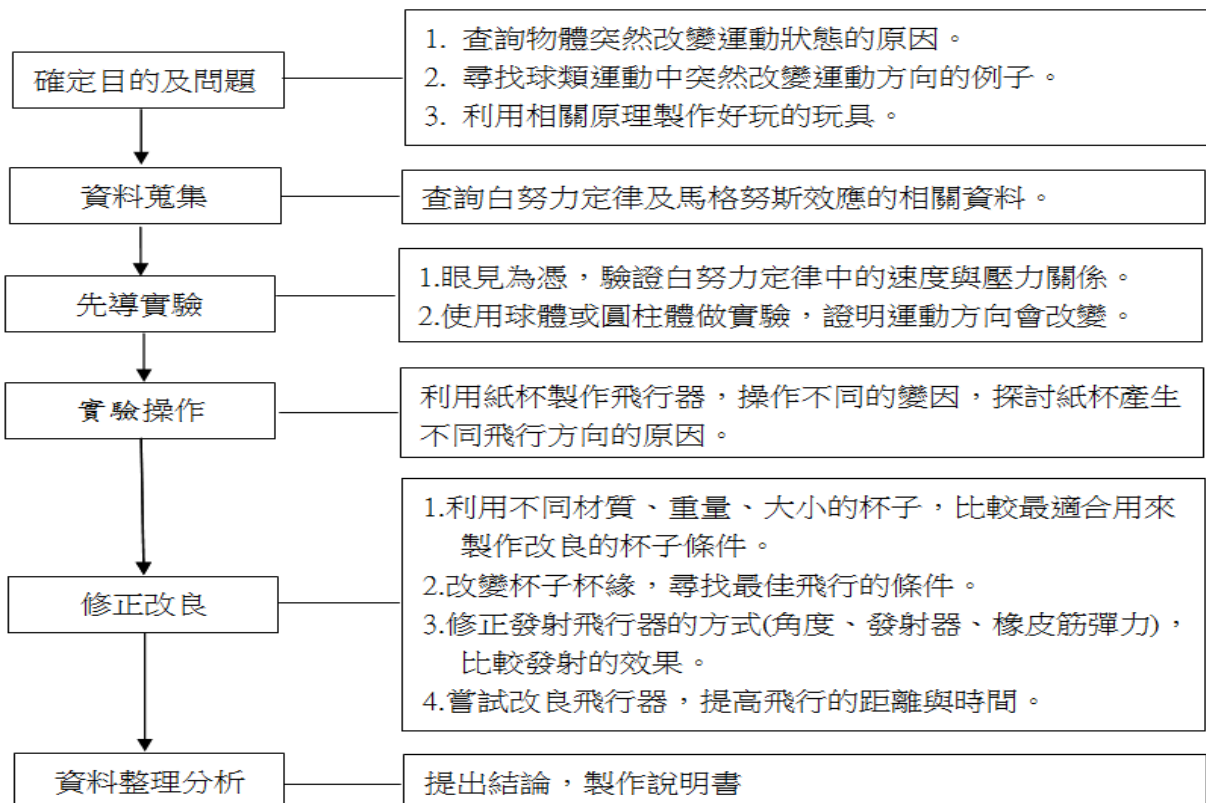
保麗龍片、棉繩、膠帶、竹棍、大吸管、保麗龍圓柱、小車子、吹風機、剪刀、紙捲、長形塑膠袋、橡皮筋、各種大小材質的紙杯與塑膠杯、馬達電池組、微型馬達、帶線電池、捲尺、碼表、大量角器、筆記本、計算機、電腦。

肆、研究過程或方法

一、研究方法

實驗方法	說明
<p>文獻探討</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用午休、課餘時間收集相關資料。 2. 利用網路觀看球類運動中突然改變運動路徑的影片。 3. 固定每周一、二、四、五的午休時間，共同實驗討論。
<p>設計實驗驗證 白努力定律與 馬格努斯效應</p> 	
<p>杯子變化的影響 實驗探討項目：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 杯子材質、重量等 2. 改變杯子邊緣 	
<p>比較不同飛行路徑</p> <p>實驗探討變因：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 橡皮筋纏繞方向 2. 發射角度 3. 紙杯飛行器拿法 4. 發射器製 	
<p>改良飛行器</p> <p>目標：1. 增加飛行的時間 2. 提高飛行與距離</p>	

二、研究架構



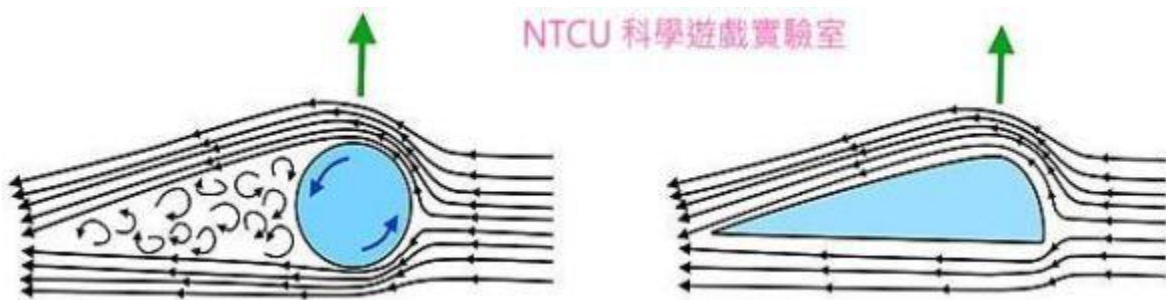
三、文獻探討

(一)馬格努斯效應

牛頓在1672年的劍橋學院（Cambridge college）觀看了網球比賽後，發現並推論了網球在快速旋轉時會偏移的現象與原因。相隔一百多年後，1852年德國物理學家馬格努斯（Magnus）說明了這種效應，而被稱為「馬格努斯效應」。

馬格努斯效應說明一個球狀物體（或圓柱體），如果快速旋轉，空氣（或其他流體）流通經過球體時，球體上下的空氣流速會產生壓力差，而產生向上的作用力。以下圖為例，球體往右運動，並以逆時針方向旋轉，則在球體上方由於空氣流動方向與球體旋轉方向相同，使得空氣流速較快，並使得氣流往下偏流。反之球體下面，空氣流動方向與球體旋轉方向相反，使空氣流速較慢，並傾向於保持直線流動。因此由於球體上方的空氣流速快（壓力小）、下方流速慢（壓力大），形成了壓力差，而產生往上的作用力。此情形類似於右圖飛機機翼的空氣流動，產生升力的現象。

馬格努斯效應實際上相當複雜，下圖只是示意圖，不能代表所有球體的運動狀態。因為馬格努斯效應還牽涉了球體表面的光滑或粗糙程度、球體的前進速度與旋轉速度的比率等等。(NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室)



馬格努斯效應的作用力，在「圓柱體」與「球體」的計算方式略有差異。由 Kutta（德國）與 Joukowski（蘇俄）二位科學家的研究，圓柱體每單位長度的作用力：

$$F/L = \rho VG, \text{ 其中 } G = (2\pi r)^2 \omega$$

F/L ：每單位長度的作用力	ρ ：流體密度；	V ：前進速度；
G ：渦流強度；	r ：半徑；	ω ：角速度

另外，以上的公式適用於理想流體狀態（ideal flow field），並未考慮空氣（流體）的黏滯度，但仍可以對於實驗結果進行預測。

(二)馬格努斯效應的應用

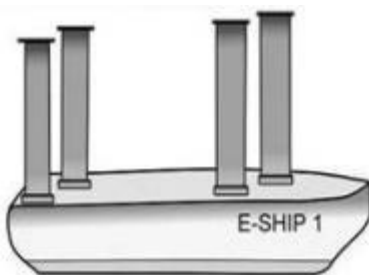
1.在航海方面

馬格努斯效應曾被應用於交通工具的設計，例如利用在風中旋轉的圓柱，讓船員在控制室內自動化操作圓柱體的旋轉速度和旋轉方向產生側風升力。德國工程師弗萊特納在 1924 年建造了第一艘實驗性轉子船，安裝了兩根高 15 米、直徑 3 米由電力系統驅動的轉子。當時的機械與傳動及轉換系統的效率問題限制，這艘船用於驅動轉子的動力消耗與傳統的螺旋槳推進方式相比並沒有優勢，在經濟性上無法與廉價燃料競爭，因此這種驅動方式被長期擱置了。

馬格努斯效應在航海方面的應用



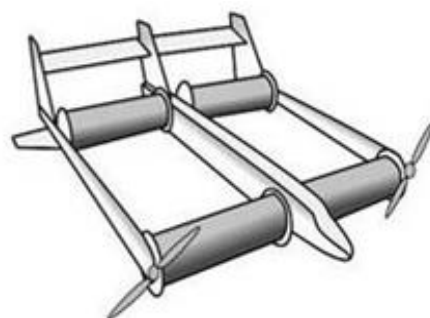
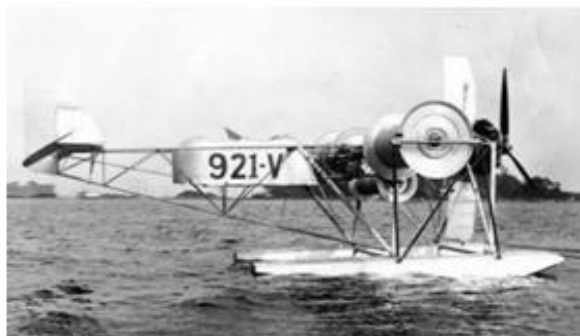
直到 2010 年德國工程師 Enercon 設計的「E-Ship 1」貨運船，在 8 月首航，全長 130 公尺，寬 22.5 公尺，載貨量約一萬噸。E-Ship 1 搭建了四個巨大的圓筒，直徑 4 公尺，高 27 公尺，設計者 Enercon 宣稱和一般的貨船相比較，E-Ship 1 節省的能源可達到 25%。但是在航行了十七萬海浬之後，實際的數據並沒有公佈。



2.在航空方面

馬格努斯效應使用於飛行設計時，若飛機是使用旋轉的圓柱體而非用翅膀來飛行，會發現圓柱體實際上比傳統的機翼產生更大的升力。不過，卻也產生了更

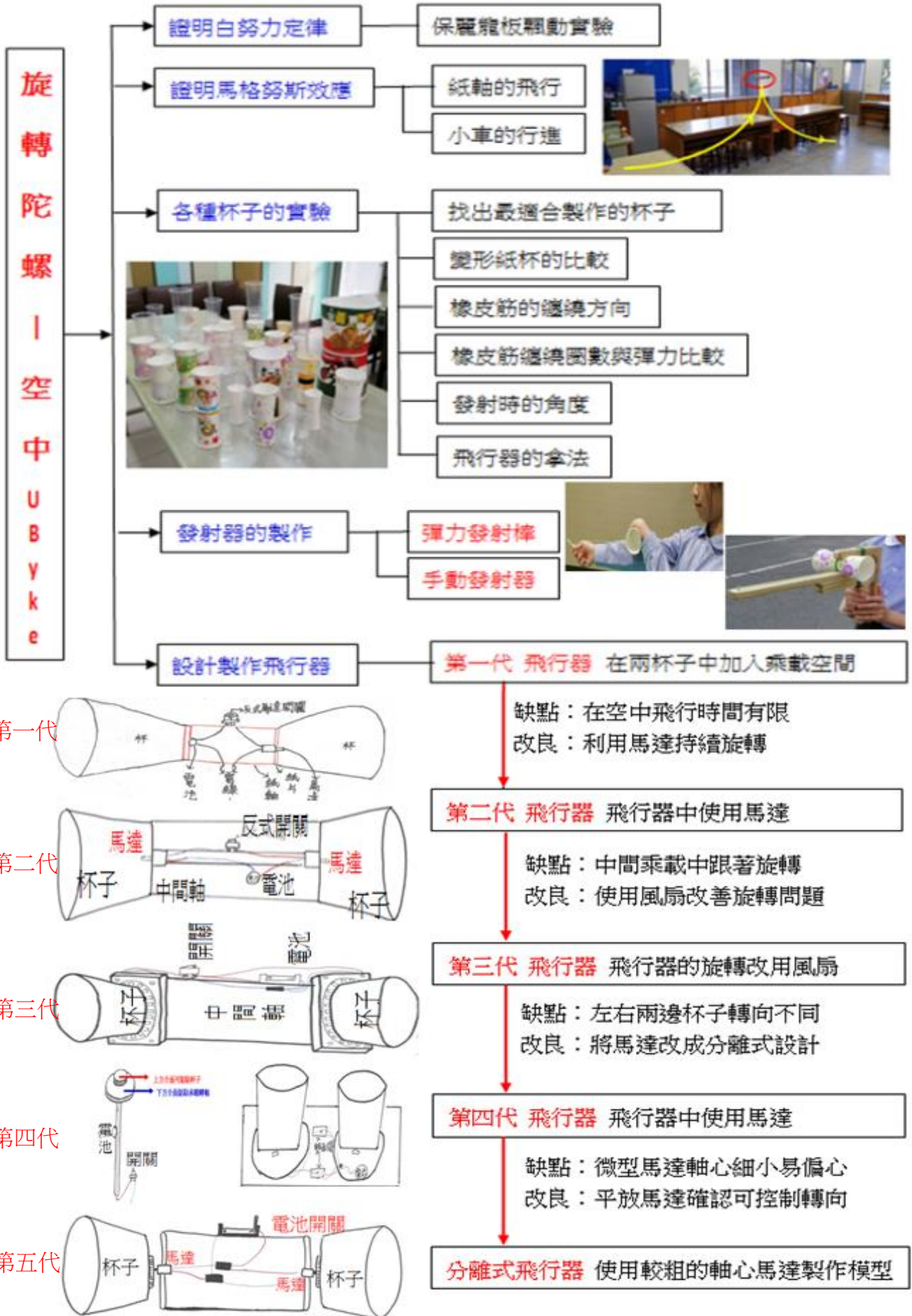
多的阻力，因此利用圓柱體旋轉飛行會變得不切實際。另外，高速旋轉的轉子翼會產生強烈的陀螺效應，穩定性很強，致使飛機難以靈活的改變飛行姿態、操控性很差；其次轉子翼若因意外停止了旋轉，那麼失去升力的飛機也將無法滑翔迫降。目前以旋轉圓柱體產生升力的實驗飛行器，持續不斷的實驗改良，都是希望能以提高效率、減少燃料動力的方向繼續努力。



目前有許多飛行玩家利用旋轉圓柱體產生升力來製作小型飛行器，例如：下面這個飛行器只有圓柱體及可以操控方向的螺旋槳，雖沒有機翼也沒有起落架，但只要能有產生初速的動力，就能讓圓柱體保持旋轉，同時讓螺旋槳帶動飛行器前進，於是製作者在空曠的高處利用自身力氣將飛行器往前拋出去，使得飛行器獲得啟動的初速，讓飛行器飛了起來。



四、研究過程



研究1：探討速度與壓力對物體運動方式的影響

(一)實驗說明：

首先我們想先證明白努力定律中所說：速度快，壓力小；速度慢，壓力大的現象。如何利用壓力差來產生足夠的推力，必須考慮物體的重量不可以太大，以免產生的速度差及壓力差變化不明顯。

(二)實驗步驟：

- 1.準備兩片一樣大的長方型保麗龍片(約A4紙張大小)。
- 2.在兩片保麗龍上方個別黏上一條繩子(約30公分)。
- 3.將兩條繩子的另一端分別綁在長約50公分的棍子上方，使兩片保麗龍距離約8公分且自然的平行下垂。
- 4.利用吸管往兩片保麗龍片的中間用力吹氣，觀察保麗龍的飄動情形。

驗證白努力原理



研究2：比較有無旋轉對圓柱體運動軌跡的差異

(一)實驗說明：

在球類運動中，經常看到球的運動路徑不是直線，而是會轉彎，例如足球的香蕉球、棒球的曲球等等。這些現象都是因為物體除了往前運動之外，又快速的旋轉所造成，為了驗證這個現象，我們設計了以下的實驗：

(二)實驗步驟：

1.比較有無旋轉紙軸的運動軌跡

- (1) 將10個橡皮筋綁成一條，並用大頭針將長橡皮筋兩端分別固定在桌子的兩側。
- (2) 取下鋁箔紙盒中的圓筒紙軸待用。
- (3) 拿約2公分的冰棒棍黏在紙軸的中心點，當成橡皮筋發射時的卡榫。
- (4) 把紙軸平放桌面，拉長橡皮筋的中間處套在卡榫上後把紙軸往後拉60公分。
- (5) 鬆手彈射橡皮筋，觀察無旋轉紙軸的運動軌跡。(如下圖一)
- (6) 將塑膠袋剪成5公分*70公分的長條狀，先穿過桌上的長橡皮筋中間處後對折。
- (7) 取另一紙軸放在塑膠袋後端往前捲至橡皮筋中間處後將紙軸往後拉60公分。
- (8) 鬆手彈射橡皮筋，觀察並比較旋轉紙軸的運動軌跡。(如下圖二)

比較有無旋轉的紙軸飛行路徑的差異



2.利用旋轉的保麗龍圓柱使小車前進

- (1) 取一薄板在下方黏上4個輪子，讓板車可以用手移動，製作成一台無動力小車。
- (2) 在小車上方板子黏上馬達並接上電池。
- (3) 把保麗龍圓柱固定在馬達轉軸上，啟動馬達並確定保麗龍圓柱可以持續旋轉。
- (4) 在小車的側邊(左右方均可) 拿一支吹風機對準旋轉的保麗龍圓柱吹。
- (5) 觀察小車行進的方向。

驗證馬格努斯效應會讓行徑路線改變



研究3：找出最適合製作飛行器的杯子條件

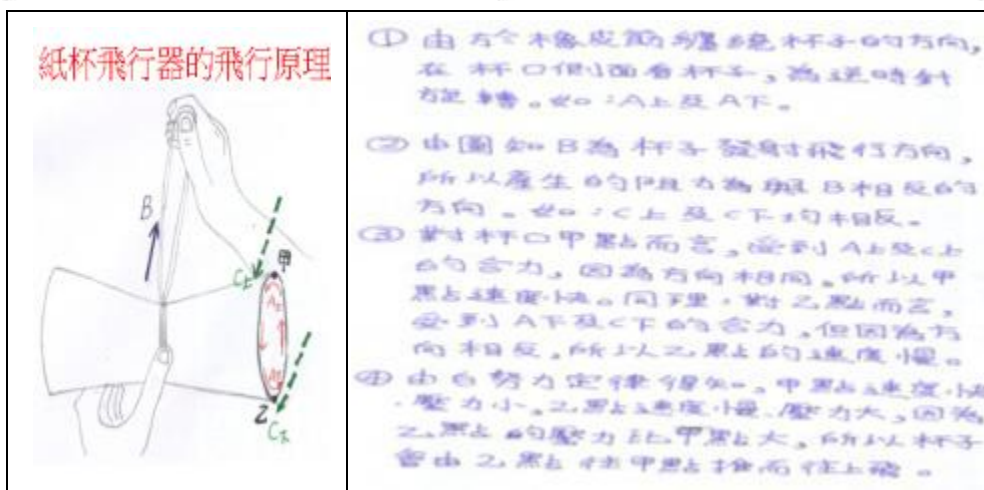
(一)實驗說明：

我們驗證了白努力定律中的速度與壓力變化實驗後，又利用旋轉的圓柱了解了馬格努斯效應中運動軌跡改變的現象，於是我們想利用此原理試著自己製作飛行器，希望能產生飛行效果，在滿足需旋轉又重量輕的環狀物體條件下，我們選擇了常見的免洗杯子，搭配橡皮筋纏繞讓杯子可以旋轉並可提供飛行時的動力。我們想找出最適合製作飛行器的杯子條件，為此，我們設計了以下幾個實驗：

(二)實驗步驟：

1. 找出最適合製作飛行器的杯子

- (1) 找出常見各式大小的紙杯、塑膠杯。
- (2) 取兩個相同的杯子，杯底對杯底相對後，用膠帶將兩個杯底相黏在一起，成為杯子飛行器。
- (3) 取橡皮筋 3 條綁成一條三個圈圈相連的橡皮筋，供作動力發射繩。
- (4) 將兩杯子相黏處以左手的大姆指壓住發射繩的一頭並握拿紙杯，讓發射繩自然下垂，用右手持下垂的發射繩並順著杯底相黏處纏繞 2 圈。
- (5) 發射繩纏繞好杯子時，右手最後會在杯子底端往前拉著發射繩。
- (6) 將拿杯子的左手鬆開，即見杯子往空中上飄彎曲地飛出去。
- (7) 紀錄杯子飛行的時間與距離，找出飛行效果最好的杯子。



2. 變形紙杯的飛行

- (1) 選出飛行效果最好的紙杯與塑膠杯。
- (2) 將杯緣用剪刀平均剪成 10 個、20 個深 2 公分的花狀變形飛行器(如右圖)。
- (3) 重複上組實驗(2)~(7)步驟。



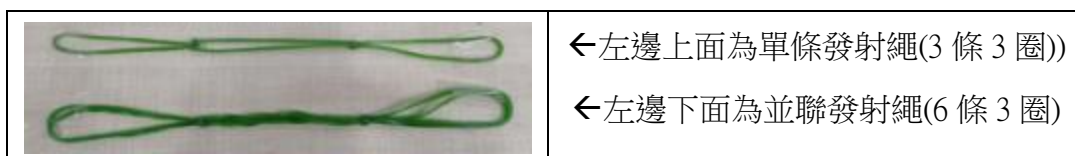
變形飛行器的製作

3. 動力發射繩的纏繞方向

一般我們使用杯子飛行器時是用左手平拿杯子，利用拇指按壓橡皮筋的一頭，利用右手拉住橡皮筋由杯子的下方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋由杯子下方往前拉出，我們想改變橡皮筋的纏繞方向，讓橡皮筋從杯子的上方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋會由杯子的上方往前拉出，比較飛行的結果。

4. 橡皮筋纏繞圈數與發射彈力的影響

我們想知道橡皮筋纏繞的鬆緊度(圈數)以及發射繩的彈力(單條與雙條並聯)對飛行效果的差別，首先我們利用 3 條及 4 條橡皮筋，製成 3 個與 4 個相連圈圈的單條發射繩，比較纏繞杯子不同圈數的飛行效果。另外利用 6 條及 8 條橡皮筋，製作 3 個及 4 個相連圈圈的並聯發射繩，比較飛行效果。



5. 發射角度的比較②③④⑤⑥

改變拿拉發射繩時的角度，比較飛行的效果(0 度、30 度、45 度、60 度、90 度)。



6. 飛行器的拿法比較

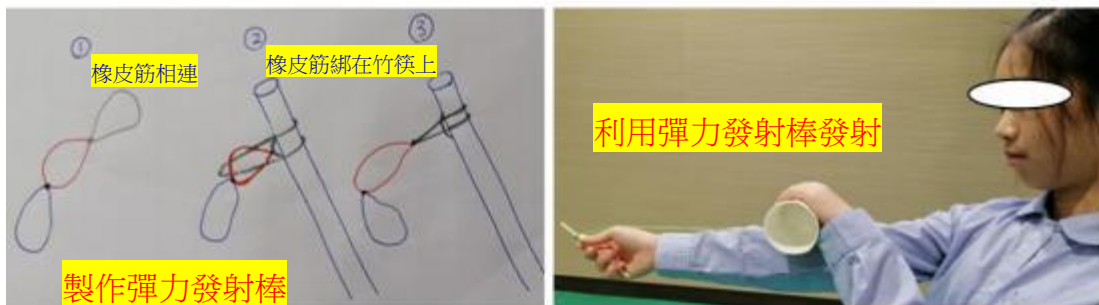
比較飛行器水平與垂直地面的拿法，探討飛行路徑的差異。



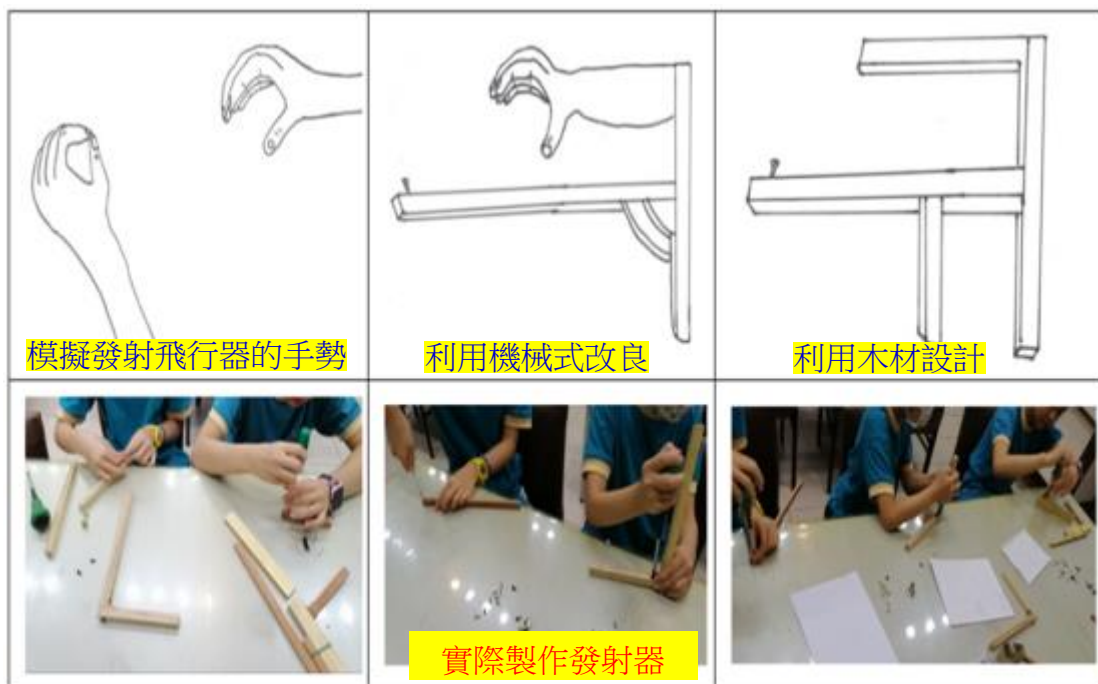
比較飛行器拿法-由水平改為垂直的差異

研究4：發射器的製作

當我們利用橡皮筋發射繩來彈射飛行器時，杯子在彈出後常常會因為打到手而造成失誤，必須反覆重做實驗，我們想起以前玩彈弓的經驗，也許可以製作類似的彈力發射棒或發射器來改善。



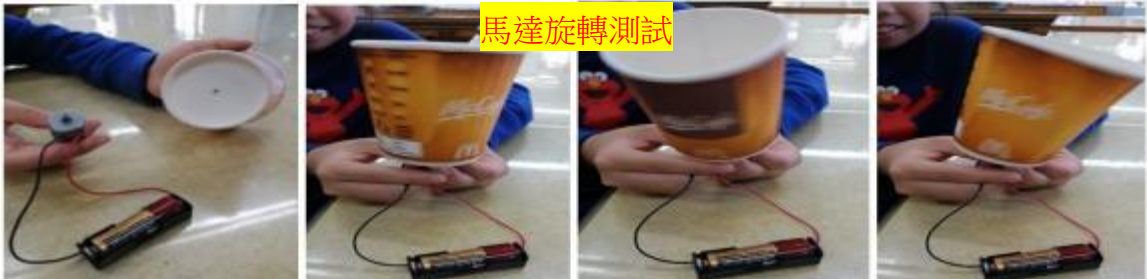
彈力發射棒及發射器的設計與製作



發射器的設計與製作

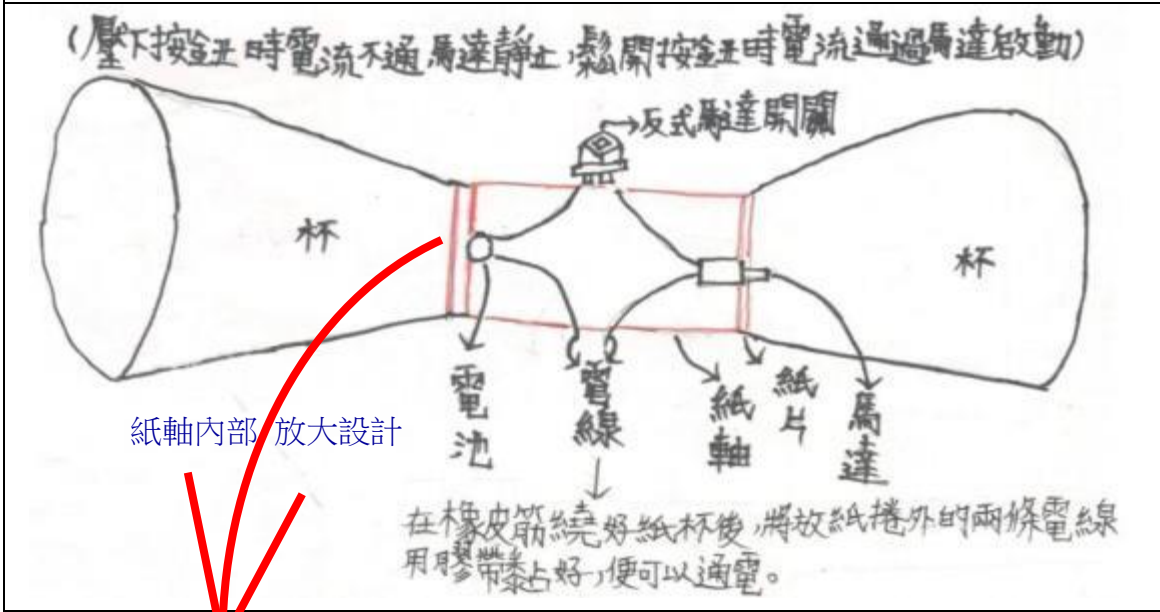
研究5：設計製作簡易飛行器，以便日後作為空中Ubyke的模型

我們在四年級學過電池的串並聯，也使用過馬達的零件。我們想：如果能利用馬達讓杯子持續的旋轉，也許就能讓杯子持續的在空中旋轉飛行。若在兩杯子的相連處再加一個空間(如紙軸：就可增加使用空間)，也許能為日後的交通工具--空中Ubyke預留研究方向。



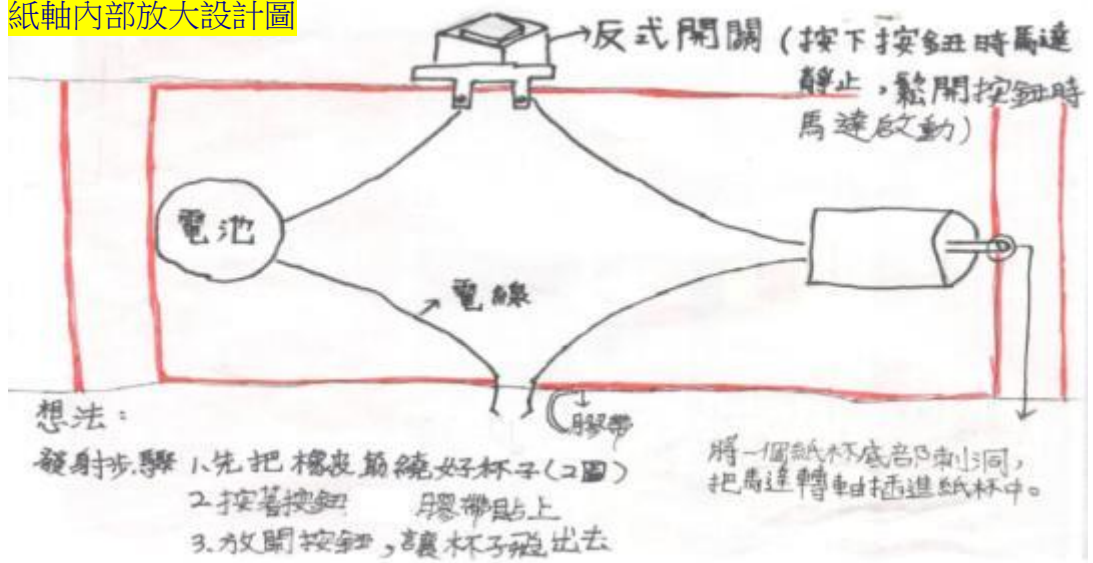
馬達旋轉測試

設計飛行器的初步構想



飛行器內部運轉設計構想

紙軸內部放大設計圖



設計實驗路徑 →

第一代 飛行器
缺點：無法持續飛行(在空中時間有限)

修正改良

第二代 飛行器
修正改良後可以讓杯子持續旋轉
缺點：電線纏繞後會卡住停止、中間軸也會跟著旋轉

修正改良

第三代 飛行器
修正改良後電線不會纏繞，中間軸也不再旋轉
缺點：組裝成飛行器時，兩邊的杯子轉向不同

修正改良

第四代 飛行器
修正改良後可控制飛行器兩邊杯子的轉向
缺點：微型馬達軸心細小，杯子易偏心無法平衡，導致微型馬達卡住無法旋轉。

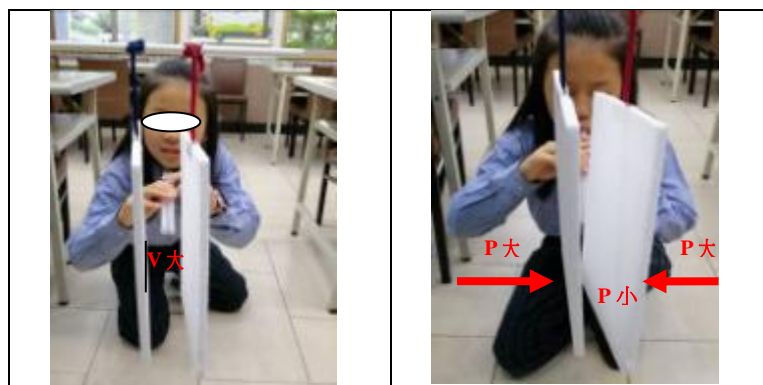
修正改良

分離式飛行器
修正改良後馬達不會因重心的微小誤差而停止

伍、研究結果與討論

研究1：探討速度與壓力對物體運動方式的影響

觀察實驗結果我們發現：如果從兩個保麗龍板之間吹氣，會使保麗龍板中間的空氣流速比保麗龍板的兩旁流速快，由實驗結果推想：保麗龍板最外側的兩旁有一股力量往保麗龍的中間擠壓，所以推論保麗龍兩旁的氣流壓力比中間大所造成。這個實驗驗證了白努利的定理：如果保麗龍板中間的空氣流速變快，壓力就變小；兩片保麗龍板外側周圍的正常大氣壓就會把兩片保麗龍板壓在一起了。



研究2：比較有無旋轉對圓柱體運動軌跡的差異

1.比較有無旋轉紙軸的運動軌跡

因為馬格努斯效應是討論物體運動軌跡的變化，在物體同時滿足旋轉及運動的狀態時，原先的行進軌跡就會發生偏轉。為了驗證這個現象，我們設計了 2 個比較的實驗：

(1).無旋轉紙軸

我們發現當紙軸無旋轉，紙軸直接利用卡榫讓橡皮筋彈射出去時，紙軸的飛行路徑從離開桌面就直接是往桌下飛出的拋物線，紙軸最後飛離桌子掉落的距離不遠。

(2).旋轉紙軸

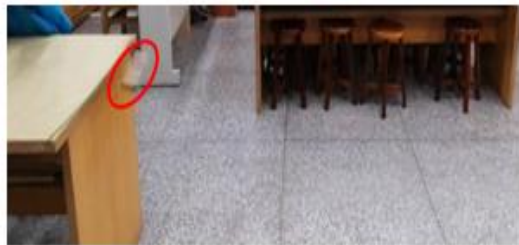
如果利用條狀塑膠袋纏繞紙軸，當橡皮筋將紙軸彈射後發現：紙軸在離開桌面飛行時會不斷的旋轉且飛行的高度越來越高，當紙軸飛到最高處後便迴轉且開始往下做拋物線的前進，紙軸最後飛離桌子的距離相較沒有旋轉的紙軸長了很多。

比較有無旋轉的紙軸飛行路徑的差異



紙軸無旋轉(利用卡樺)

紙軸有旋轉(利用長塑膠袋)



無旋轉紙軸飛行路徑

發射後拋物線落下 距離短



有旋轉紙軸飛行路徑



發射後飛行路徑 又高又遠

2.利用旋轉的保麗龍圓柱使小車前進

我們先利用馬達使保麗龍圓柱能持續的旋轉，並將此裝置放在自製的無動力小車上(小車上的保麗龍圓柱一直持續的旋轉，但整台小車是靜止在桌面上不動)，若在小車的右側拿一支吹風機對準小車上旋轉的保麗龍圓柱吹，會發現小車並不是因右側的吹風機風力讓小車橫向往左移動，反而是因為馬格努斯效應使運動路徑改變，讓小車往車子的正前方移動。



<p>驗證馬格努斯效應會讓行徑路線改變</p>	
<p>圓柱旋轉方向</p>	<p>車子移動</p>
<p>無動力小車 馬達與電池是讓保麗龍圓柱旋轉</p>	<p>對準旋轉的保麗龍圓柱吹 觀察小車行進的方向</p>

研究 3：找出最適合製作飛行器的紙杯條件

1. 找出最適合製作飛行器的杯子

我們想利用馬格努斯原理試著自己製作飛行器，在能產生飛行效果的可旋轉環狀物體且重量又輕的條件下，我們選擇了各種免洗杯子，搭配橡皮筋纏繞讓杯子旋轉並提供飛行的動力。我們試過許多種類的杯子，最後選出 9 種來做實驗，希望找出最適合製作飛行器的杯子條件。



杯子	材質	杯口直徑 cm	杯底直徑 cm	口底 直徑差	單個 杯子重 g	飛行器 總長 cm	總重 g (2 杯子+膠帶)
A	塑膠	7	5.0	2.0	1.81	16.5	3.76
B	紙	7.3	5.3	2.0	4.66	16.5	9.56
C	塑膠	7.7	5.4	2.3	8.03	20.5	16.27
D	紙	7.6	5.4	2.2	5.98	19.5	12.17
E	塑膠	9.5	5.8	3.7	4.61	20.1	10.47
F	紙	9.5	6.2	3.3	7.36	17.7	16.05
G	紙	6.7	5.2	1.5	2.67	14.0	5.52
H	紙	9.1	7.6	1.5	7.92	14.0	16.00
I	塑膠	9.5	6.5	3.0	8.09	29.8	14.43

A、B 杯子	C、D 杯子	E、F 杯子
杯口小 重量輕 材質不同	杯口小 厚度厚 材質不同	杯口大 材質不同
G、H 杯子	I、E 杯子	
長度相同 杯口不同	材質同 杯口相同 長度不同	

塑膠杯(輕 A 杯) 橡皮筋 3 條轉 2 圈

	甲同學(蕭)		乙同學(謝)		丙同學(鄭)		丁同學(林)	
	時間 (s)	距離 (cm)	時間 (s)	距離 (cm)	時間 (s)	距離 (cm)	時間 (s)	距離 (cm)
第一次發射	2.6	241	2.39	240	2.6	252	2.06	265
第二次發射	2.1	232	2.41	198	2.13	192	2.06	264
第三次發射	2.3	192	2.51	274	2.36	243	1.89	234
三次平均	2.33	221.67	2.44	237.33	2.36	229.00	2.00	254.33
飛行時間 總平均	2.28 (秒)							
飛行距離 總平均	235.58 (公分)							

各種杯子飛行平均時間比較表(秒)

代號	杯子描述	甲同學(蕭)	乙同學(謝)	丙同學(鄭)	丁同學(林)	時間總平均
A	塑膠杯 (輕 A 杯)	2.33	2.44	2.36	2.00	2.28
B	紙杯 (輕 B 杯)	1.56	1.68	1.43	1.46	1.53
C	塑膠杯 (重 C 杯)	1.25	1.38	1.04	1.39	1.26
D	紙杯 (重 D 杯)	1.40	1.68	1.34	1.43	1.46
E	塑膠杯 (大口 E 杯)	1.73	1.60	1.82	1.55	1.67
F	紙杯 (大口 F 杯)	0.91	1.00	1.23	1.00	1.03
G	紙杯 (小口 G 杯)	1.90	2.37	2.20	1.85	2.08
H	紙杯 (寬口湯杯 H)	1.17	1.13	1.03	1.16	1.12
I	塑膠杯 (長大口 I 杯)	1.53	1.30	1.85	1.48	1.54
E	塑膠杯 (短大口 E 杯)	1.73	1.60	1.82	1.55	1.67




各種杯子飛行平均距離比較表(公分)

代號	杯子描述	甲同學(蕭)	乙同學(謝)	丙同學(鄭)	丁同學(林)	距離總平均
A	塑膠杯 (輕 A 杯)	221.7	237.3	229.0	254.3	235.6
B	紙杯 (輕 B 杯)	296.0	325.0	287.7	323.0	307.9
C	塑膠杯 (重 C 杯)	412.0	457.7	398.0	380.3	412.0
D	紙杯 (重 D 杯)	413.0	420.0	401.0	395.0	407.3
E	塑膠杯 (大口 E 杯)	356.0	353.0	344.7	335.3	347.3
F	紙杯 (大口 F 杯)	345.3	358.7	353.0	339.7	349.2
G	紙杯 (小口 G 杯)	319.0	341.0	267.3	285.3	303.2
H	紙杯 (寬口湯杯 H)	409.7	400.3	358.0	382.3	387.6
I	塑膠杯 (長大口 I 杯)	307.0	329.3	333.0	323.0	323.1
E	塑膠杯 (短大口 E 杯)	356.0	353.0	344.7	335.3	347.3

各種杯子飛行時間與距離比較表

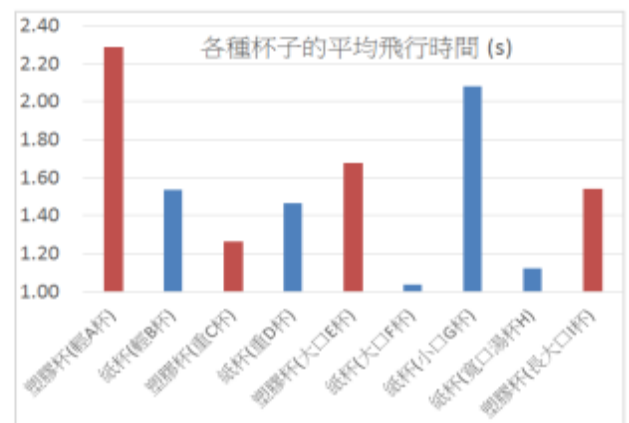
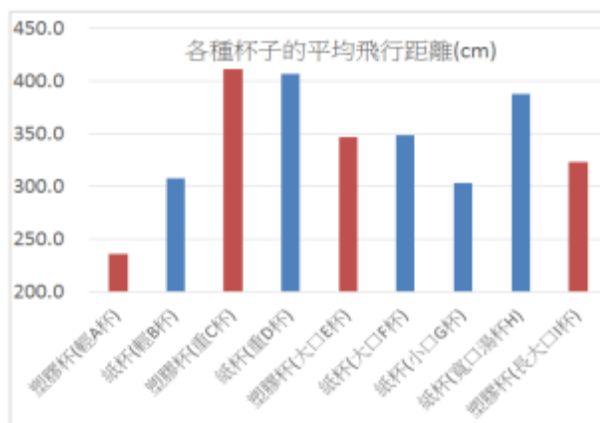
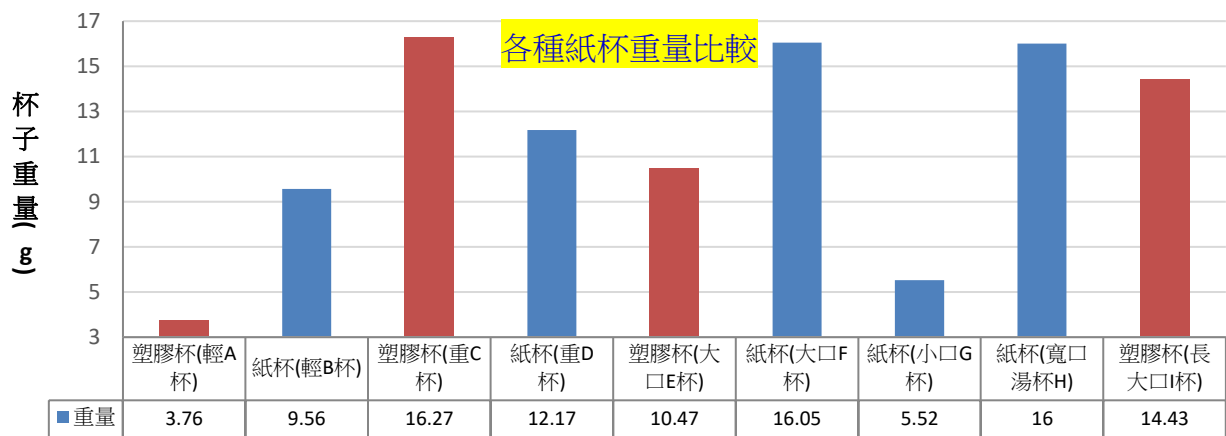
飛行時間與距離比較	重量	重量排序 (輕到重)	飛行時間 平均	時間排序 (長到短)	飛行距離 平均	距離排序 (短到長)
塑膠杯(輕 A 杯)	3.76	1	2.28	1	235.6	1
紙杯(輕 B 杯)	9.56	3	1.53	5	307.9	3
塑膠杯(重 C 杯)	16.27	9	1.26	7	412.0	9
紙杯(重 D 杯)	12.17	5	1.46	6	407.3	8
塑膠杯(大口 E 杯)	10.47	4	1.67	3	347.3	5
紙杯(大口 F 杯)	16.05	8	1.03	9	349.2	6
紙杯(小口 G 杯)	5.52	2	2.08	2	303.2	2
紙杯(寬口湯杯 H)	16	7	1.12	8	387.6	7
塑膠杯(長大口 I 杯)	14.43	6	1.54	4	323.1	4

三種飛行路徑分析

A、B、E、G 杯 飛行路徑	C、D、F、H 杯 飛行路徑	I 杯 飛行路徑
		
<p>這四種飛行器在空中飛行路徑都是先往上飛至最高點後繞圈迴旋，因此在空中停留的時間久，尤其重量較輕的 A 杯與 G 杯，但是飛行的距離比較短。</p>	<p>這四種飛行器在空中飛行路徑都是直接往前飛再向下掉落，因此在空中停留的時間短，F 與 H 杯速度很快就像直接俯衝，但是飛行的距離較遠。</p>	<p>I 杯很特別，飛行時雖然在空中沒有迴旋繞圈，而且重量還比 D 杯重，但是飛行路徑也是往上飛至最高點後落下。我們想也許是杯子的重量與長寬比例很恰當，所以飛行的時間與距離都在中間排序。</p>

實驗發現：

- (1) 我們發現杯子重量愈輕，在空中飛行的時間愈久，且飛行在空中最高處時，愈容易有繞圈迴旋的現象，例如重量最輕的前四種杯子 A、B、E、G 杯，但也因為在空中有迴旋現象，所以飛行的距離比較短。
- (2) 一般而言，杯子大小相似的杯子，塑膠杯會比紙杯輕，但因 C 杯屬於較厚的塑膠材質，因此比同大小的紙杯重很多；B、D、F、G、H 都是紙杯，但因為 G 杯內沒有貼塑膠膜，因此 G 杯重量僅次於最輕的塑膠杯。實驗後發現：如果重量大於 12 克以上，就無法在空中有繞圈迴旋的情形，飛行路徑都是往前直飛後就往下墜，杯子都沒有上揚的現象，雖然飛行時間較短，但是飛行距離較長。
- (3) I 杯是實驗中最大最長的杯子，雖然重量大於 12 克，在空中也沒有繞圈迴旋的現象，但是飛行路徑卻也不是往前直飛後就下墜，而是發現杯子在發射後會有上揚往最高處飛揚後再往下滑落的情形，我們想也許是杯子的重量與長寬比例很恰當，因此在空中飛行的距離與時間也相對的增加。
- (4) 在杯子飛行時我們測量了距離和時間。我們發現：除了飛行距離外，飛行的高度也是一個變因，但是由於飛行高度對我們有限的的能力與工具在測量上有困難，於是我們決定選用飛行時間最長的 A 杯與 G 杯，做為日後要實驗改良的飛行器材料。



2. 變形紙杯的飛行

我們選出飛行時間最久的 A 杯與 G 杯，決定以它們來做紙杯的變形實驗。首先量好杯口的口徑，從杯口邊緣用剪刀平均剪成 10 個、20 個，2 公分深淺的花瓣狀，比較剪花後折下杯緣、只剪開不折下與原先沒有剪花時的飛行效果。



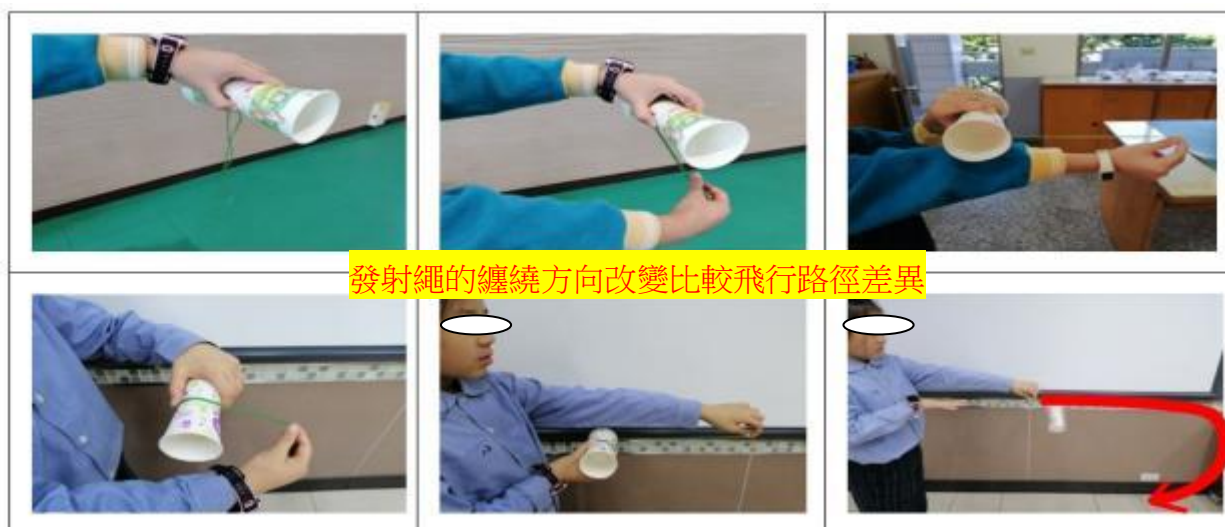
我們把塑膠 A 杯杯口剪花後，發現塑膠杯少了杯緣的固定而變得很軟無法塑形，若再用橡皮筋繞飛行器，則杯子就會變形無法實驗。於是我們用紙 G 杯做以下的變形實驗。

變形 G 杯	甲同學(蕭)		乙同學(謝)		丙同學(鄭)		丁同學(林)		平均	
	時間 (s)	距離 (cm)	時間 (s)	距離 (cm)	時間 (s)	距離 (cm)	時間 (s)	距離 (cm)	時間平均 (s)	距離平均 (cm)
正常不剪	1.90	319.0	2.37	341.0	2.20	267.3	1.85	285.3	2.08	303.2
10 個剪花不折	1.91	307.0	2.24	298.0	2.15	274.0	1.95	296.0	2.06	293.8
20 個剪花不折	1.89	312.0	2.15	291.0	2.20	286.0	1.90	290.0	2.04	294.8
10 個剪花折下	1.84	293.0	2.02	283.0	1.91	270.0	1.87	312.0	1.91	289.5
20 個剪花折下	1.83	300.0	2.06	278.0	2.14	268.0	1.92	294.0	1.99	285.0

實驗後發現：紙杯剪成花瓣狀時，不管剪的數量是多少，只要沒將花瓣往下折，飛行的時間與距離與先前沒剪成花瓣時的差異不大，如果將剪好的花瓣往下折，發現花瓣易勾到發射用的橡皮筋造成失誤，飛行時間與距離也比沒有折下時的 G 杯差。

3. 動力發射繩的纏繞方向

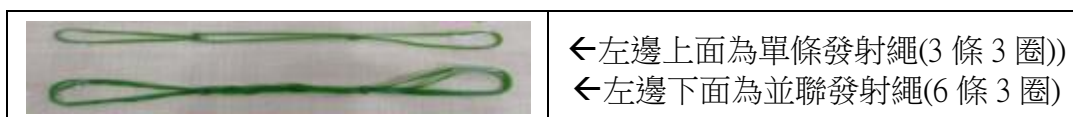
一般我們常用左手平拿杯子並用拇指按壓橡皮筋的一頭，利用右手拉住橡皮筋由杯子的下方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋由杯子下方往前拉出約 15 公分長。我們改變橡皮筋的纏繞方向，讓橡皮筋從杯子的上方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋由杯子的上方往前拉出。實驗後發現：如果橡皮筋纏繞的方向改變，飛行器發射後就不會往上飛，還很容易在飛出時打到拉橡皮筋的手，而且飛行落下前杯子還會迴轉一些，造成測量的距離更短。



4. 橡皮筋纏繞圈數與發射彈力的影響

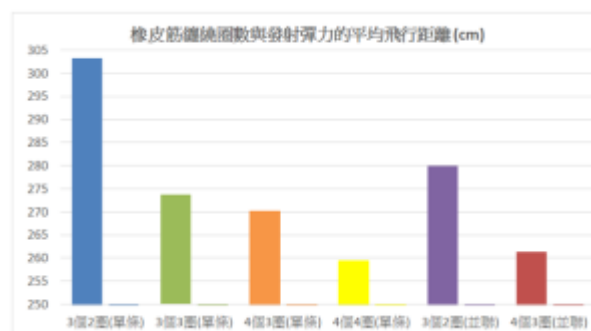
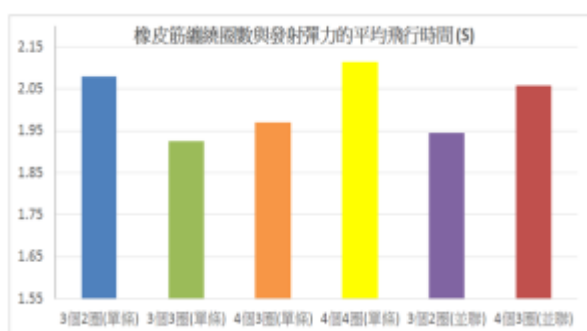
我們想知道橡皮筋纏繞的鬆緊度(圈數)以及發射繩的彈力(單條與雙條並聯)對飛行效果的差別，首先我們利用 3 條及 4 條橡皮筋，製成 3 個與 4 個相連圈圈的發射繩，比較繞杯子不同圈數的飛行效果。另外再利用 6 條及 8 條橡皮筋製作 3 個及 4 個相連圈圈的並聯發射繩，比較飛行效果。

- (1) 3 條橡皮筋製作的發射繩，纏繞杯子 2 圈與 3 圈的飛行效果比較。
- (2) 4 條橡皮筋製作的發射繩，纏繞杯子 3 圈與 4 圈的飛行效果比較
- (3) 將橡皮筋兩兩併用，用 6 條、8 條橡皮筋製成三個及四個雙圈圈相連的並聯發射繩，比較單圈與雙圈不同彈力發射繩的飛行效果。



單條/並聯	發射繩的圈圈	纏繞杯子	甲同學(蕭)		乙同學(謝)		丙同學(鄭)		丁同學(林)		平均	
			時間(S)	距離(cm)	時間(S)	距離(cm)	時間(S)	距離(cm)	時間(S)	距離(cm)	時間平均(S)	距離平均(cm)
單條發射繩	3個	2圈	1.90	319.0	2.37	341.0	2.20	267.3	1.85	285.3	2.08	303.2
		3圈	1.94	274	1.87	282	1.91	270	1.98	269	1.93	273.8
	4個	3圈	2.01	264	1.93	272	1.95	278	1.99	267	1.97	270.3
		4圈	2.21	258	2.03	267	2.16	254	2.06	259	2.12	259.5
並聯發射繩	3個	2圈	2.05	276	1.84	297	1.96	278	1.93	269	1.95	280.0
	4個	3圈	2.13	254	2.06	263	1.97	269	2.07	259	2.06	261.3

- (1)單條發射繩時 3 個橡皮筋纏繞 2 圈和 3 圈的飛行結果沒有差很多，但是纏繞 3 圈因為橡皮筋拉的比較緊，所以彈力較大，杯子飛得較高，時間較久，但飛行距離會較短。
- (2)單條發射繩時 4 個橡皮筋纏繞 3 圈和 4 圈的結果與單條發射繩時 3 個橡皮筋纏繞 2 圈和 3 圈的差不多。
- (3)單條發射繩時 3 個橡皮筋和 4 個橡皮筋都是纏繞 3 圈時，因為 4 個橡皮筋纏繞 3 圈相對拉比較鬆，所以紙杯飛得比較遠但是飛行時間比較短。
- (4)單條與並聯發射繩比較時，不管是 3 個 2 圈或是 4 個 3 圈，會發現並聯的飛行時間都比較長，但是飛行的距離變短。我們想也許橡皮筋並聯後，彈力都變大了。



5. 發射角度的比較

不管是在空中平拿角度板，或是利用桌子準確的架上角度板，只要改變發射的角度(0、30、45、60、90度)，會發現杯子飛行的高度與距離會因發射的角度而產生變化，在發射角度 90 度時，甚至可以讓杯子迴旋，回到發射者的手中。

發射角度	甲同學(蕭)		乙同學(謝)		丙同學(鄭)		丁同學(林)		平均	
	時間(S)	距離(cm)	時間(S)	距離(cm)	時間(S)	距離(cm)	時間(S)	距離(cm)	時間平均(S)	距離平均(cm)
0度	1.90	319.00	2.37	341.00	2.20	267.33	1.85	285.33	2.08	303.17
30度	2.05	315.33	2.26	326.00	2.12	269.67	2.03	286.67	2.12	299.42
45度	2.10	291.33	2.27	295.00	2.15	265.33	2.08	276.67	2.15	282.08
60度	2.08	273.33	2.26	286.00	2.19	266.00	2.10	266.00	2.16	272.83
90度	2.19	210.67	2.38	197.00	2.19	209.33	2.09	205.67	2.21	205.67

- 我們發現杯子平射時(0度)，杯子飛行的距離最遠，但飛行在空中的時間最短；當發射角度越大時(90度)，杯子是往上飛行，所以飛的最高，且落下的時間最長，但是飛行的距離最短，而且仍有大迴旋的發生，所以杯子落下時還是會往前飛行，我們想應該是橡皮筋纏繞方向的關係，發射者甚至可以在杯子落下時握住杯子。



(示範 30 度角發射)

(90 度角發射時可以讓杯子迴旋，回到發射者的手中)

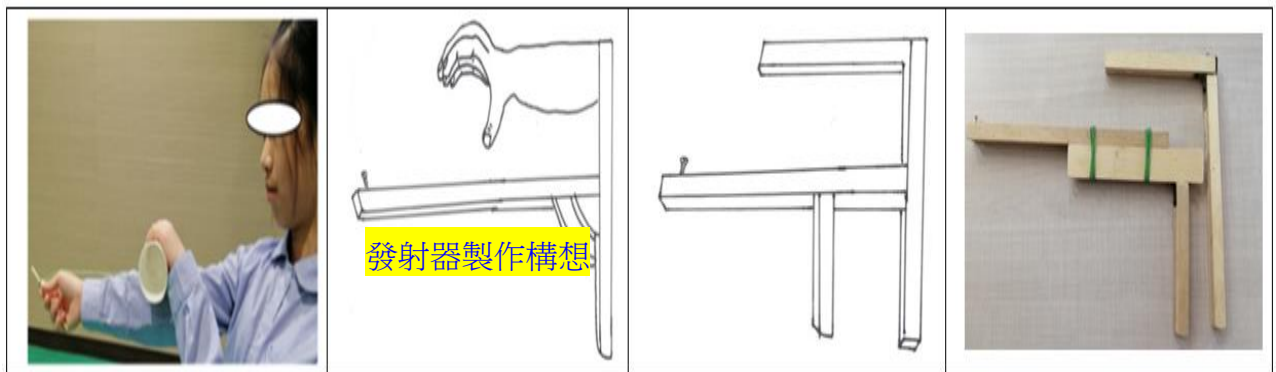
6. 飛行器的拿法比較

將杯子飛行器由水平持拿，改變為垂直地面的拿法，看看飛行的結果。如果改變手拿杯子發射的放式(由水平變成垂直)，讓杯子直立發射，利用橡皮筋的不同纏繞方式，可以改變杯子的飛行方向，如果用右手拉橡皮筋，則杯子會往左大轉彎，相反的，如果用左手拉橡皮筋，則杯子會往右大轉彎，我們看見杯子的行徑路線會像足球中的香蕉球，變成了大曲線。



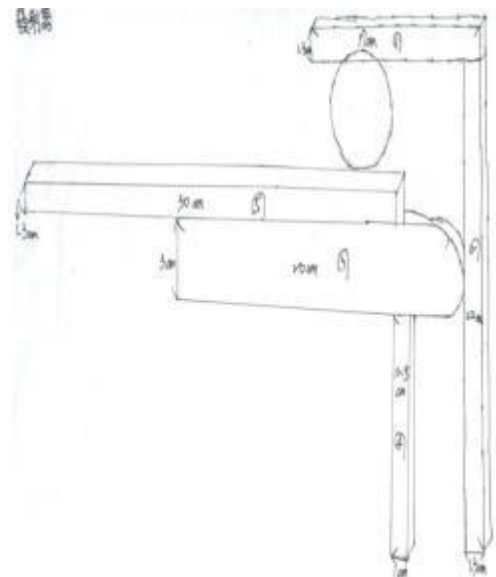
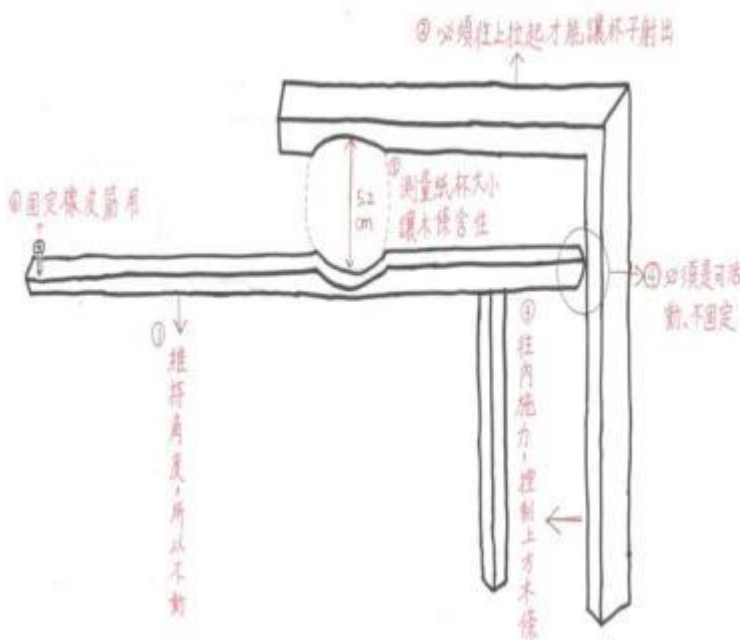
研究4：發射器的製作

當我們用橡皮筋發射繩來彈射飛行器時，杯子在彈出後常常會因為打到手而造成失誤，我們製作了彈力發射棒和發射器來改善。實驗後發現使用彈力發射棒失誤情況變少，使用起來也較方便；利用發射器來發射雖然看似簡單，好像按下把手就可以將杯子發射出去，但是發射前的準備工作須更仔細與費時，首先。橡皮筋必須先繞好杯子後正確的卡在凹槽，另一端則要勾住釘子，保持發射器的平衡後按下把手就能順利的完成發射。



發射器製作構想

發射器製作修正再改良



使用發射器進行發射實測

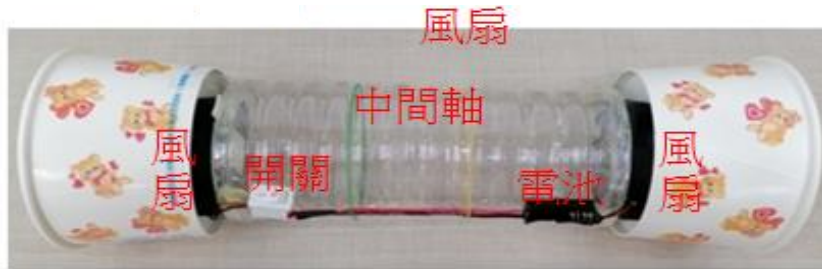
研究5：設計製作簡易飛行器，以便日後作為空中Ubyke的模型

利用四年級學過通電的馬達，可以讓杯子不停的旋轉，只要有動力讓杯子往前彈飛出去，應該就可以拉長杯子停留在空中的時間。如果再加上有一個固定方向的風力，也許就能利用馬格努斯的原理，製作一個省能源的飛行器。我們在兩個杯子的相連處增加一個空間，為日後的設計預留研究方向。我們嘗試製作Ubyke的模型，在過程中發現了不同的困難與挑戰，設計時的想法及製作後發現的缺失，經過我們討論改良後的結果，整理如下：

	<p>第一代 飛行器</p> <p>優點在紙杯中間加入一個承載空間，能為日後的飛行設計預留研究方向。</p> <p>缺點紙杯無法持續旋轉，飛行器空中飛行的時間有限。</p>
<p>2-1 馬達運轉測試 2-2 馬達與紙杯、轉軸連接</p> <p>2-3 開關設在中間支撐軸</p>	<p>第二代 飛行器</p> <p>2-1 馬達運轉測試</p> <p>2-2 馬達與紙杯、轉軸連接</p> <p>優點可使紙杯持續旋轉。</p> <p>缺點將原先設計的反式開關裝設在外軸上，發現馬達旋轉時電線會纏繞中間支撐軸，直到馬達卡住停止。</p> <p>2-3 開關設在中間支撐軸</p> <p>優點可使紙杯持續旋轉，且沒有電線纏繞的困擾。</p> <p>缺點雖可由內部承載人操作開關，但是當杯子旋轉飛行時，中間乘載中的人也會跟著不斷旋轉翻跟斗。</p>



3-1 利用風扇取代馬達



3-2 風扇飛行器

第三代 飛行器

3-1 利用風扇取代馬達

測試用風扇當杯子與中間乘載軸的介面，風扇上下兩面一面旋轉，一面是靜止。

3-2 風扇飛行器

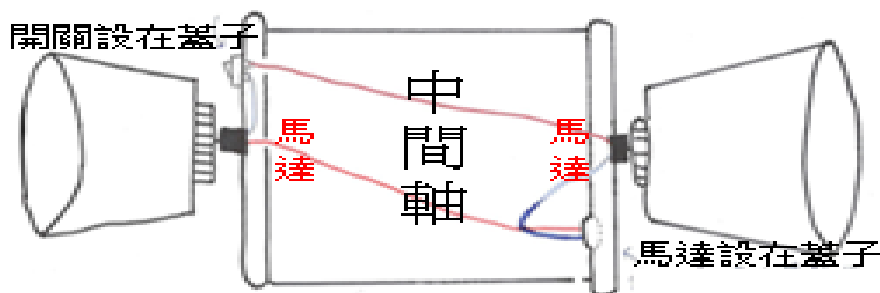
優點可使紙杯旋轉而中間承載軸不動。

缺點風扇運轉的方向固定，無法像馬達可利用改變正負極的連接方式控制轉軸的轉向，因此組裝好的飛行器，兩邊的杯子轉向卻不同，是一大缺失。



4-1 分離式微型馬達轉軸

4-3 微型馬達運轉測試



4-2 微型馬達飛行器模型

第四代 飛行器

4-1 分離式 微型馬達轉軸

測試參考風扇的運轉原理，將杯子與承載軸的介面馬達設計不同的銜接方式。

4-2 微型馬達飛行器模型

優點可使紙杯同方向旋轉而中間承載軸不動。

缺點微型馬達軸心細小，容易因些微重心偏離而無法達到平衡穩定，若沒有掌控正確的中心點，會讓微型馬達卡住而不旋轉。

4-3 微型馬達運轉測試

測試確認微型馬達會因電池正負極的接法不同，而控制馬達的轉向。當微型馬達軸心向上時，飛行器的裝設偏心影響較小。



經過我們不斷的修正與改良後，完成的分離式馬達飛行器可以讓兩旁的杯子不斷的旋轉，中間乘載空間可以維持固定的方向，只要有足夠的動力發射出去，應該就能長時間在空中飛行，當然要克服飛行器的重量是一大考驗。不過，人因夢想而偉大！也許經過我們小小的研究，難說未來的交通工具中，不會在空中看到我們的想法，就如空中Ubyke。

陸、結論

- 一、利用兩片保麗龍板可以驗證白努利定律：吹氣讓保麗龍板中間的空氣流速變快，壓力就變小；保麗龍板外側周圍的正常氣流與氣壓會把兩片保麗龍板擠壓在一起。
- 二、
 - 1.比較有無旋轉紙軸運動軌跡時發現：當紙軸無旋轉，直接利用卡榫彈射出去，紙軸的飛行路徑從離開桌面就往桌下飛出成拋物線，最後飛落的距離不遠。若利用條狀塑膠袋纏繞紙軸，當紙軸利用橡皮筋將彈射後會不斷的旋轉且飛行的高度越來越高，在到達最高處還會迴轉再往下做拋物線的前進，紙軸最後飛離桌子的距離比沒有旋轉的紙軸長了很多。所以發現若物體在旋轉及運動狀態同時產生時，原先的行進軌跡會發生偏轉。
 - 2.利用旋轉的保麗龍圓柱使小車前進：當發現物體旋轉及運動狀態同時產生時，原先的行進軌跡會發生偏轉，所以我們利用馬達使無動力小車的保麗龍圓柱旋轉，再利用側邊吹風機讓小車移動，會發現小車因馬格努斯效應使小車的行進路徑改變成往前走。
- 三、想利用馬格努斯原理製作飛行器，我們選擇了免洗杯子，搭配橡皮筋纏繞讓杯子旋轉並提供飛行的動力。

- 1.我們發現杯子重量愈輕，在空中飛行的時間愈久，且飛行在空中最高處時，愈容易有繞圈迴旋的現象，但飛行的距離比較短，如實驗中的 A、B、E、G 杯。
- 2.重量太重的杯子無法在空中有繞圈迴旋的情形，飛行路徑都是往前直飛後就往下墜，杯子都沒有上揚的現象，雖然飛行時間較短，但是飛行距離較長，如 C、D、F、H 杯。
- 3.如果杯子的重量與長寬比例恰當，就算最大最長的杯子，雖然在空中沒有繞圈迴旋的現象，但是杯子在發射後會有上揚往最高處飛後再往下滑落的情形，所以在空中飛行的距離與時間也相對的增加，如實驗中的 I 杯。

四、紙杯剪成花瓣狀時，不管剪的數量是 10 個或 20 個，只要沒將花瓣往下折，飛行的時間與距離都與先前沒剪成花瓣的 G 杯差異不大，如果將剪好的花瓣往下折後，發現花瓣常會勾到發射用的橡皮筋，容易造成失誤。

五、如果改變橡皮筋纏繞的方向，會影響飛行器發射後的旋轉方向及上飛或下墜的選擇，若想让飛行器順利的在空中飛行，動力發射繩纏繞杯子的方向必須：**用左手平拿杯子拇指按壓橡皮筋的一頭，利用右手拉住橡皮筋由杯子的下方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋由杯子下方往前拉出。**

六、當杯子上纏繞橡皮筋的圈數越多，橡皮筋拉的越緊彈力就越大，杯子飛得會較高，飛行的時間也較久，但飛行距離會較短。單條與並聯發射繩比較時，會發現並聯的飛行時間都比較長，但是飛行的距離變短，我們想是橡皮筋並聯後，彈力也變大的因素。

七、我們改變發射的角度，發現杯子飛行的高度與距離會產生變化，甚至可以讓杯子迴旋，回到發射者的手中。杯子平射時(0 度)，杯子飛行的距離最遠，但停留在空中的時間最短；當發射角度越大時(90 度)，杯子是往上飛行，所以飛的最高，杯子落下的時間最長，但是飛行的距離最短，而且仍有大迴旋的發生，所以杯子落下時還是會往前飛行。

八、當改變飛行器拿法，讓杯子變為垂直地面直立發射，利用橡皮筋的不同纏繞方式，可以改變杯子的飛行方向，如果用右手拉橡皮筋，則杯子會往左大轉彎，相反的，如果用左手拉橡皮筋，則杯子會往右大轉彎，可以看見杯子的行進路線會像足球中的香蕉球，變成了大曲線。

九、製作彈力發射棒可以減少初實驗者打到手的失誤，發射器使用簡單，但是發射前的準備工作要更仔細與費時。

十、利用四年級學過通電的馬達，可以讓杯子不停的旋轉，只要有動力讓杯子往前彈飛出去，就能拉長杯子停留在空中的時間。也許能利用馬格努斯的原理，製作一個省能源的飛行器。如果在兩個杯子的相連處增加一個空間，也許能為日後的設計預留研究方向。而且要克服飛行器的整體重量也是一大考驗。不過，人因夢想而偉大！也許經過我們小小的研究，難說未來的交通工具中，不會在空中看到我們的想法，就如空中Ubyke。

柒、參考資料與其他

一、維基百科(2019)白努力定律。【on line】：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

二、維基百科(2019)馬格努斯效應。【on line】：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A9%AC%E6%A0%BC%E5%8A%AA%E6%96%AF%E6%95%88%E5%BA%94>

https://en.wikipedia.org/wiki/Magnus_effect

三、國立台中教育大學(NTCU)科學教育與應用學系,科學遊戲實驗室:馬格努斯效應(2019)。

【on line】：

<http://blog.ilc.edu.tw/blog/index.php?op=printView&articleId=658389&blogId=35458>

四、E-Ship 1 (維基百科)：https://en.wikipedia.org/wiki/E-Ship_1

五、Youtube 影片：

(1)https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=2OSrvzNW9FE

(2)<https://www.youtube.com/watch?v=Fk2xU8pEIII>

(3) https://www.youtube.com/watch?v=8kVuKAqy_2k

(4) <https://fischair.wordpress.com/projects/modellflug/flettner-rotorflugzeug/>

【評語】 082905

本研究從棒球的曲球和足球的香蕉球運動軌跡的變化發想，了解「白努力定律」及「馬格努斯效應」的原理，設計並以紙杯等製作出簡易的飛行器與發射器，頗具創意與實作能力，也探討不同變因對於飛行模式與軌跡的影響。載人的空中 Ubyke 與目前技術相距甚遠，尚未能實現，但經由原理的探討和理解做出未來設計，值得嘉許。有些現象的觀察若能增加數據的紀錄，可使此研究更臻完整。

壹、研究動機

去年最讓棒球迷熱血沸騰的賽事，莫過世界12強棒球賽了，我們也跟著家人看了幾場比賽。幾次發現了棒球飛行的路線會突然的改變方向，我們很納悶，查詢資料後發現這與足球繞過守門員的香蕉球原理類似，是因為當旋轉物體飛行時產生了偏移的現象，我們覺得很神奇，於是開始了我們一連串的研究。

貳、研究目的

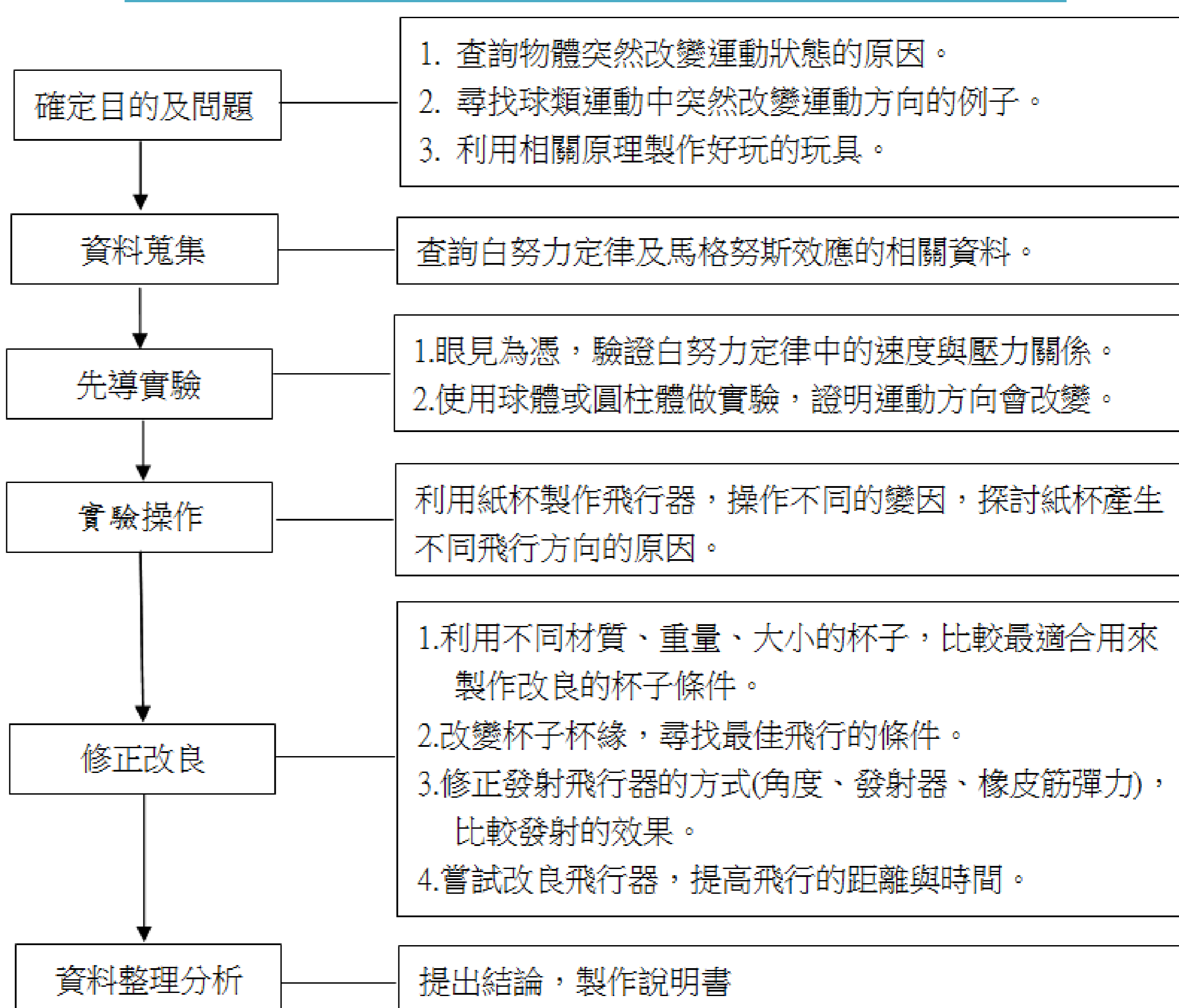
我們希望了解飛行的球體為何路線會突然偏轉，產生意想不到的運動軌跡？並希望利用此原理製作簡易飛行器。為此，我們的研究目的為：

- 一、探討速度與壓力對物體運動方式的影響。
- 二、比較有無旋轉對圓柱體運動軌跡的差異。
- 三、找出最適合製作飛行器的杯子條件。
- 四、發射器的製作。
- 五、設計製作簡易飛行器，以便日後作為空中Ubyke的模型。

參、研究設備及器材

保麗龍片、棉繩、膠帶、竹棍、大吸管、保麗龍圓柱、小車子、吹風機、剪刀、紙捲、長形塑膠袋、橡皮筋、各種大小材質的紙杯與塑膠杯、馬達電池組、微型馬達、帶線電池、捲尺、碼表、大量角器、筆記本、計算機、電腦等。

研究架構



肆、研究過程或方法與結果討論

我們的研究規劃以(1)文獻探討(2)設計實驗驗證(3)比較不同飛行路徑(4)比較杯子不同變化(5)改良飛行器，各研究方法如下：

實驗方法

說明

文獻探討



1. 利用午休、課餘時間收集相關資料。
2. 利用網路觀看球類運動中突然改變運動路徑的影片。
3. 固定每周一、二、四、五的午休時間，共同實驗討論。

設計實驗驗證 白努力定律與 馬格努斯效應



杯子變化的影響

實驗探討項目：

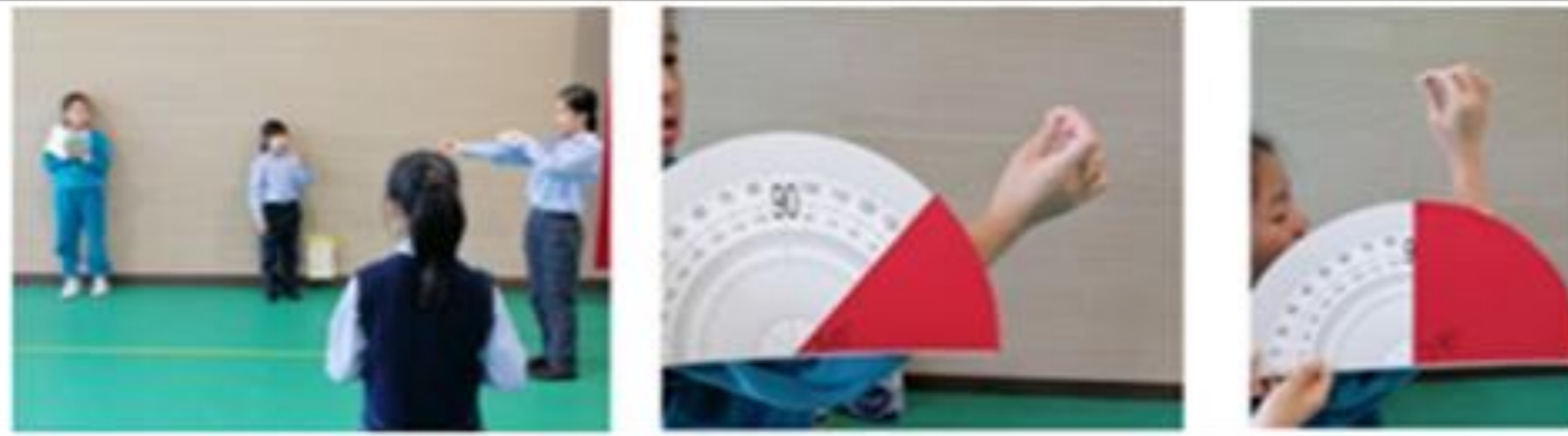
1. 杯子材質、重量等
2. 改變杯子邊緣



比較不同飛行路徑

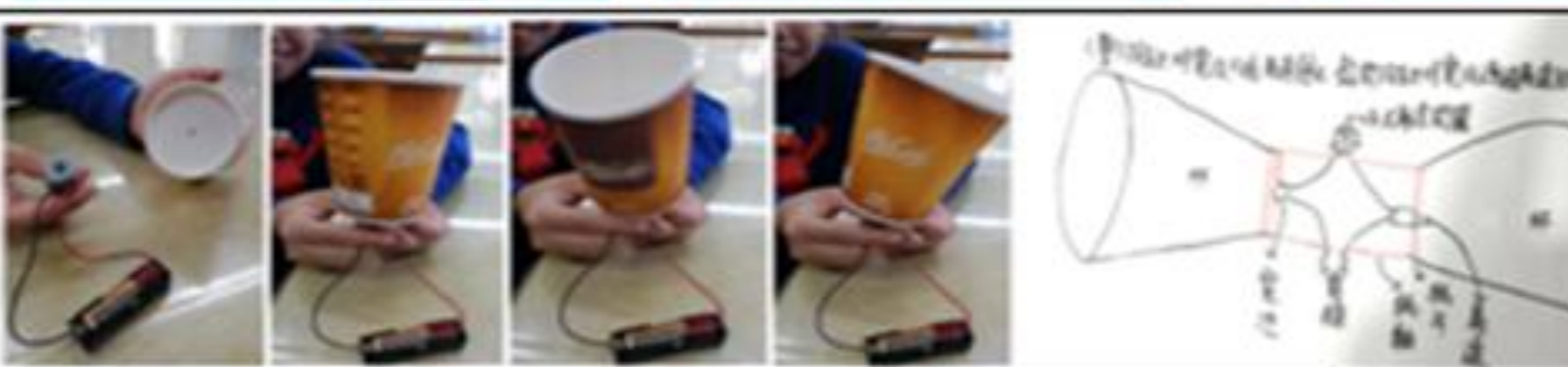
實驗探討變因：

1. 橡皮筋纏繞方向
2. 發射角度
3. 紙杯飛行器拿法
4. 發射器製作



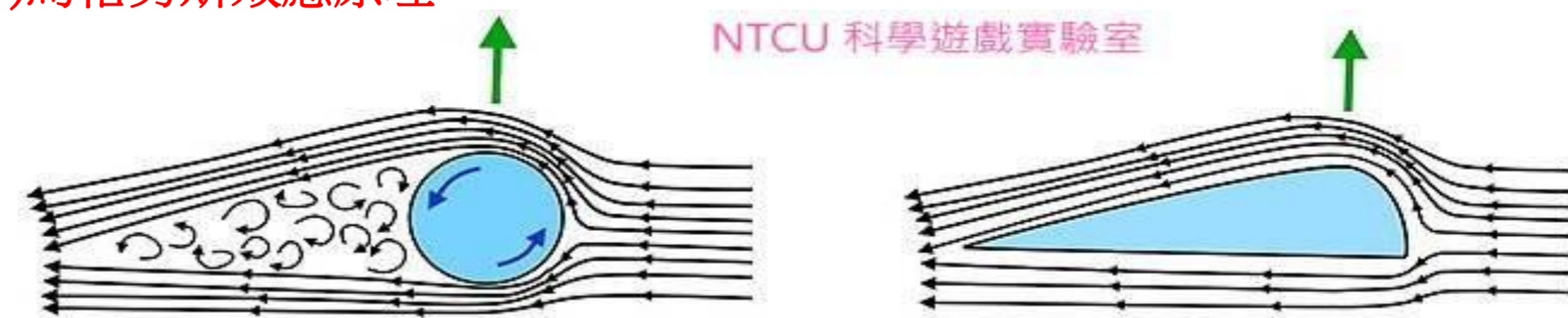
改良飛行器

- 目標：1. 增加飛行的時間
2. 提高飛行與距離



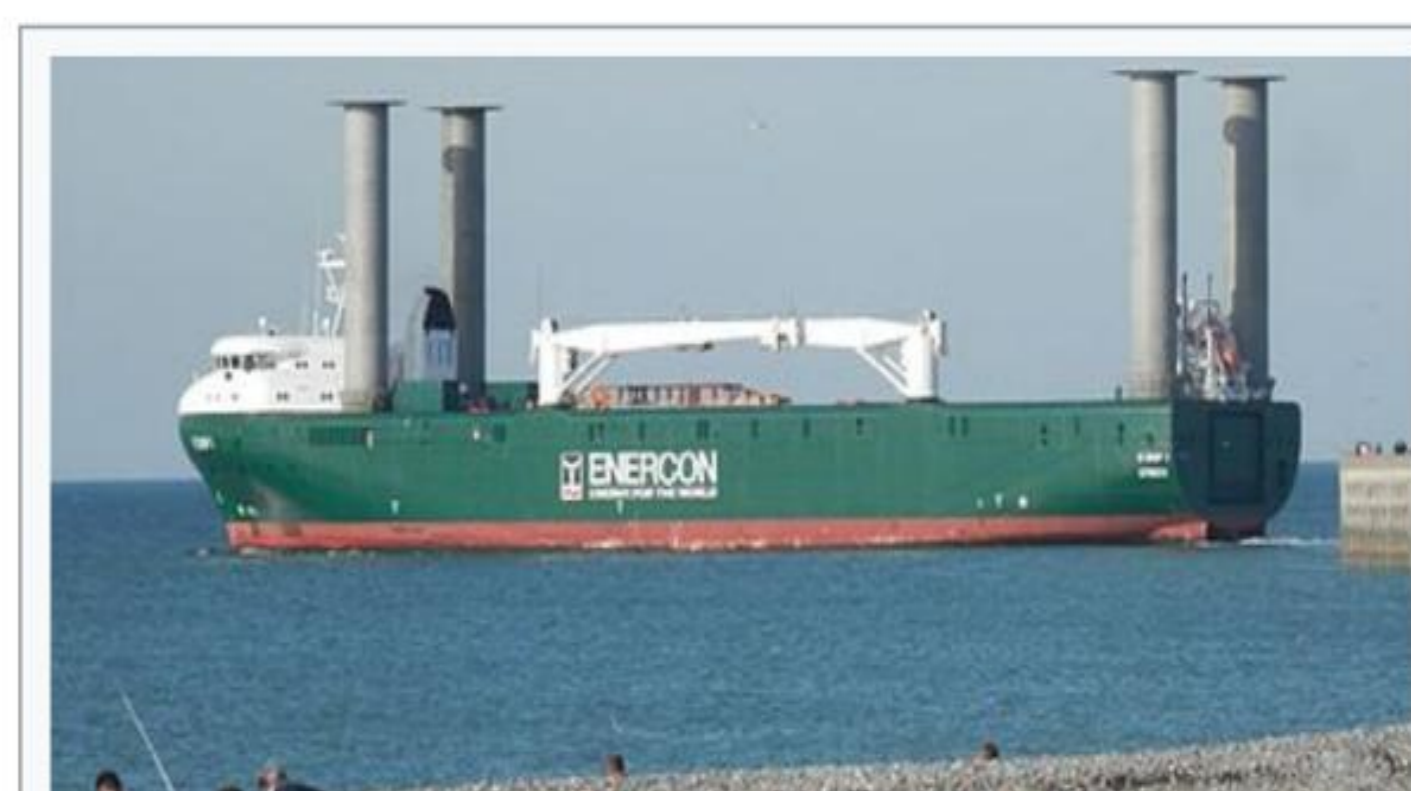
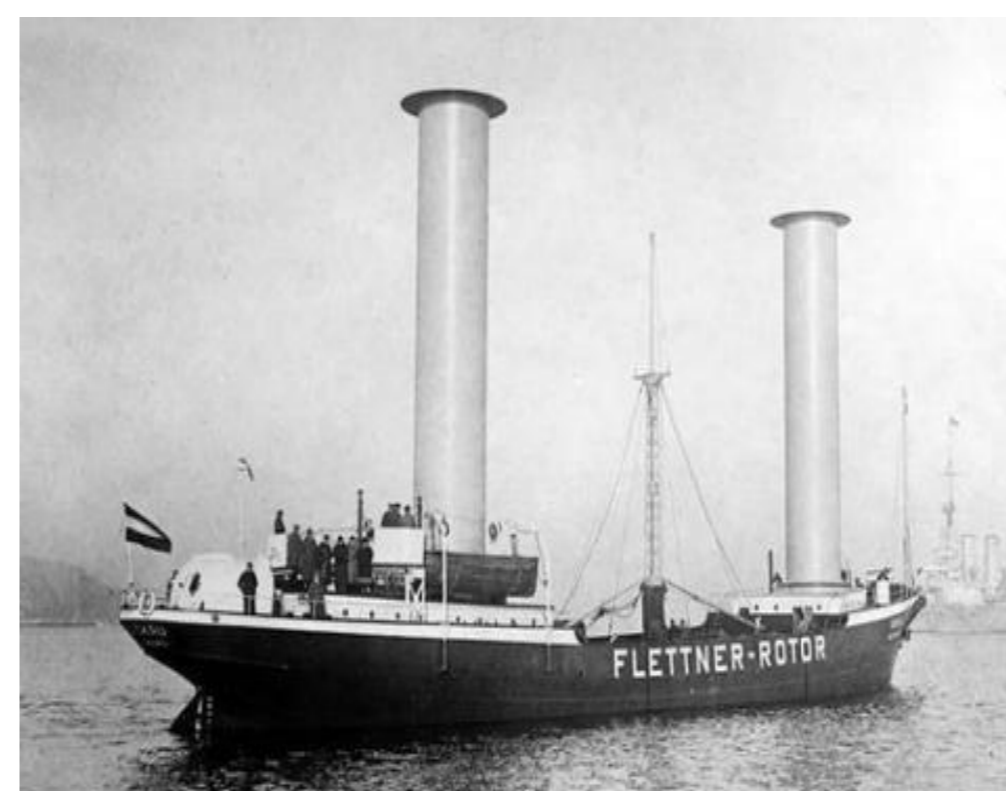
文獻探討

(一)馬格努斯效應原理



(二)馬格努斯效應的應用

1.在航海方面



2.在航空方面



上圖的飛行器利用旋轉圓柱體產生升力來製作小型飛行器，雖然只有圓柱體及可以操控方向的螺旋槳，沒有機翼也沒有起落架，但只要能有產生初速的動力，就能讓圓柱體保持旋轉，並讓螺旋槳帶動飛行器前進，所以製作者選在空曠的高處利用自身力氣將飛行器往前拋出去，使得飛行器獲得啟動的初速，讓飛行器飛起來。

旋轉陀螺——空中Ubyke

證明白努力定律

保麗龍板飄動實驗

證明馬格努斯效應

紙軸的飛行

小車的行進



各種杯子的實驗

找出最適合製作的杯子

變形紙杯的比較

橡皮筋的纏繞方向

橡皮筋纏繞圈數與彈力比較

發射時的角度

飛行器的拿法



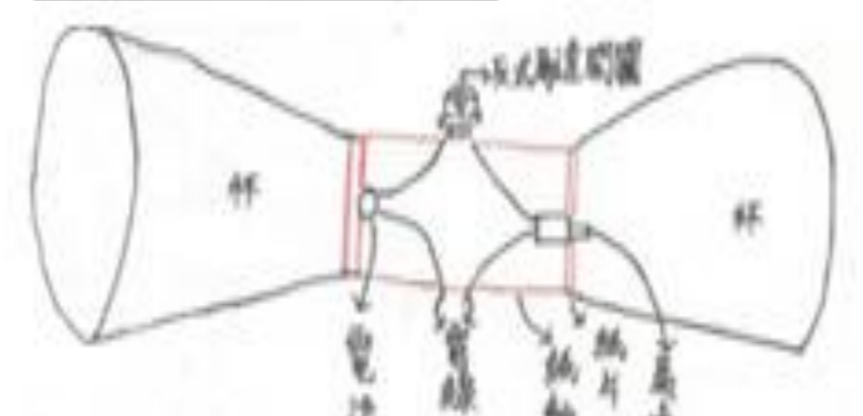
發射器的製作

彈力發射棒

手動發射器



設計製作飛行器



研究1、探討速度與壓力對物體運動方式的影響



觀察實驗結果我們發現：如果從兩個保麗龍板之間吹氣，會使保麗龍板中間的空氣流速比保麗龍板的兩旁流速快，由實驗結果推想：保麗龍板最外側的兩旁有一股力量往保麗龍的兩旁擠壓，所以推論保麗龍兩旁的氣流壓力比中間大所造成。這個實驗驗證了白努力的定理：如果保麗龍板中間的空氣流速變快，壓力就變小；兩片保麗龍板外側周圍的正常大氣壓就會把兩片保麗龍板壓在一起了。

摘要

觀賞球類比賽時曾思考球的飛行路線為何會突然發生偏轉，產生意想不到的運動軌跡？查詢資料發現「馬格努斯效應」是流體力學中，因「白努力定律」所產生的現象；在壓力差的存在下，會使旋轉的運動球體（圓柱體）產生位置的偏移。我們先利用保麗龍的飄動，驗證了白努力定律中因速度差產生的壓力變化，接著利用2種不同的實驗，證明旋轉的圓柱體運動軌跡會因壓力差而產生路徑的改變；最後我們以「紙杯」來設計實驗，利用橡皮筋來纏繞紙杯並提供飛行時的動力，就像空中旋轉的陀螺。我們利用不同的操作變因，探討運動軌跡的變化，希望找出在空中能飛行更久、更遠的簡易飛行器，如果日後能克服重量的問題，也許不久的將來就能成為空中Ubyke。

研究2、比較有無旋轉對圓柱體運動軌跡的差異

橡皮筋套在紙軸卡棒上

無旋轉 紙軸飛行

● 發射後拋物線落下 距離短

長塑膠袋捲好紙軸發射

有旋轉 紙軸飛行

● 發射後飛行路徑 又高又遠

無動力小車 靜止不動

馬達只是讓保麗龍旋轉

有旋轉 保麗龍圓柱的小車

● 旋轉的保麗龍圓柱 讓小車一直往前跑

研究3、找出最適合製作飛行器的杯子條件

1. 找出最適合製作飛行器的杯子

紙杯飛行原理

① 由於橡皮筋纏繞杯子的方向，在杯口側面看杯子，為逆時針旋轉。如：A上及A下。

② 由圖知B為杯子發射飛行方向，所以產生的阻力為與B相反的方向。如：C上及C下均相反。

③ 對杯口甲點而言，受到A上及A下的合力，因為方向相同，所以甲點速度快。同理，對乙點而言，受到A下及A上的合力，但因為方向相反，所以乙點的速度慢。

④ 由白努力定律得知，甲點速度快，壓力小，乙點速度慢，壓力大，因為乙點的壓力比甲點大，所以杯子會由乙點往甲點推而往左飛。

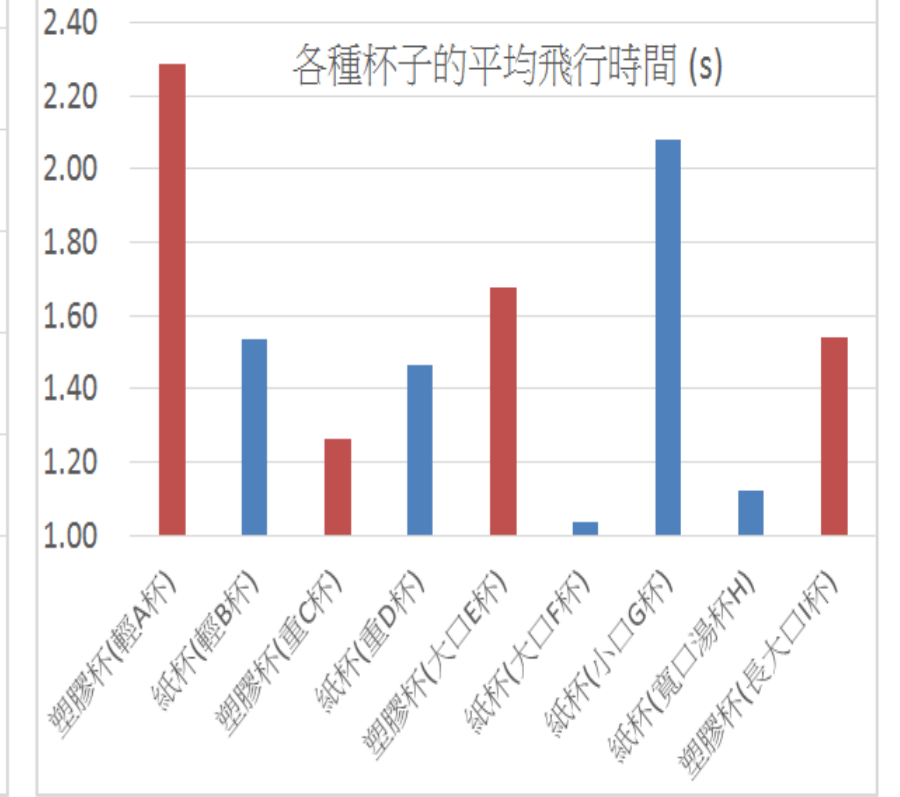
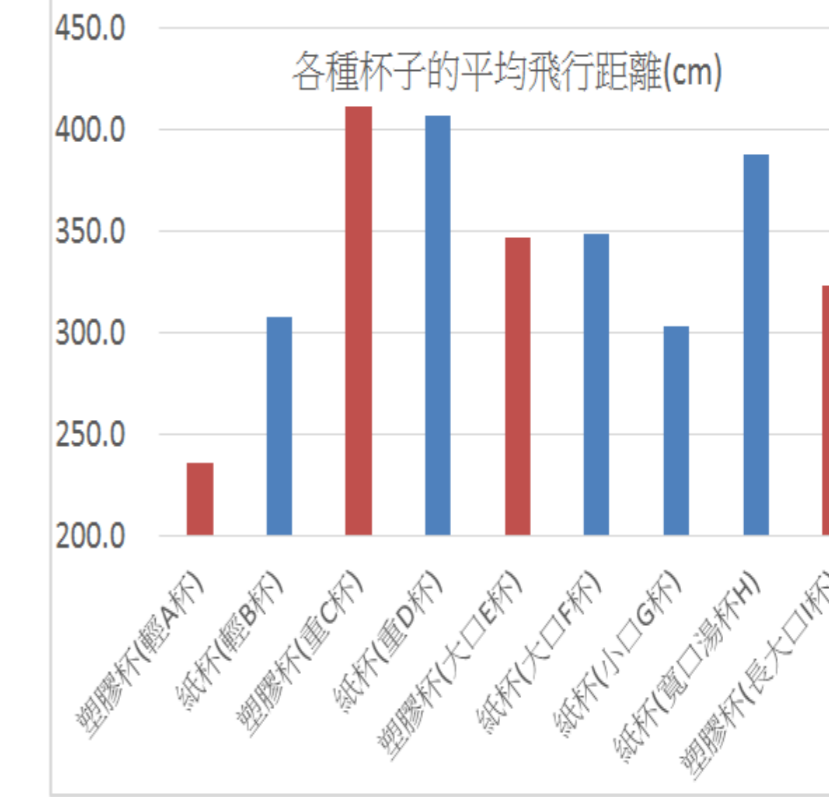
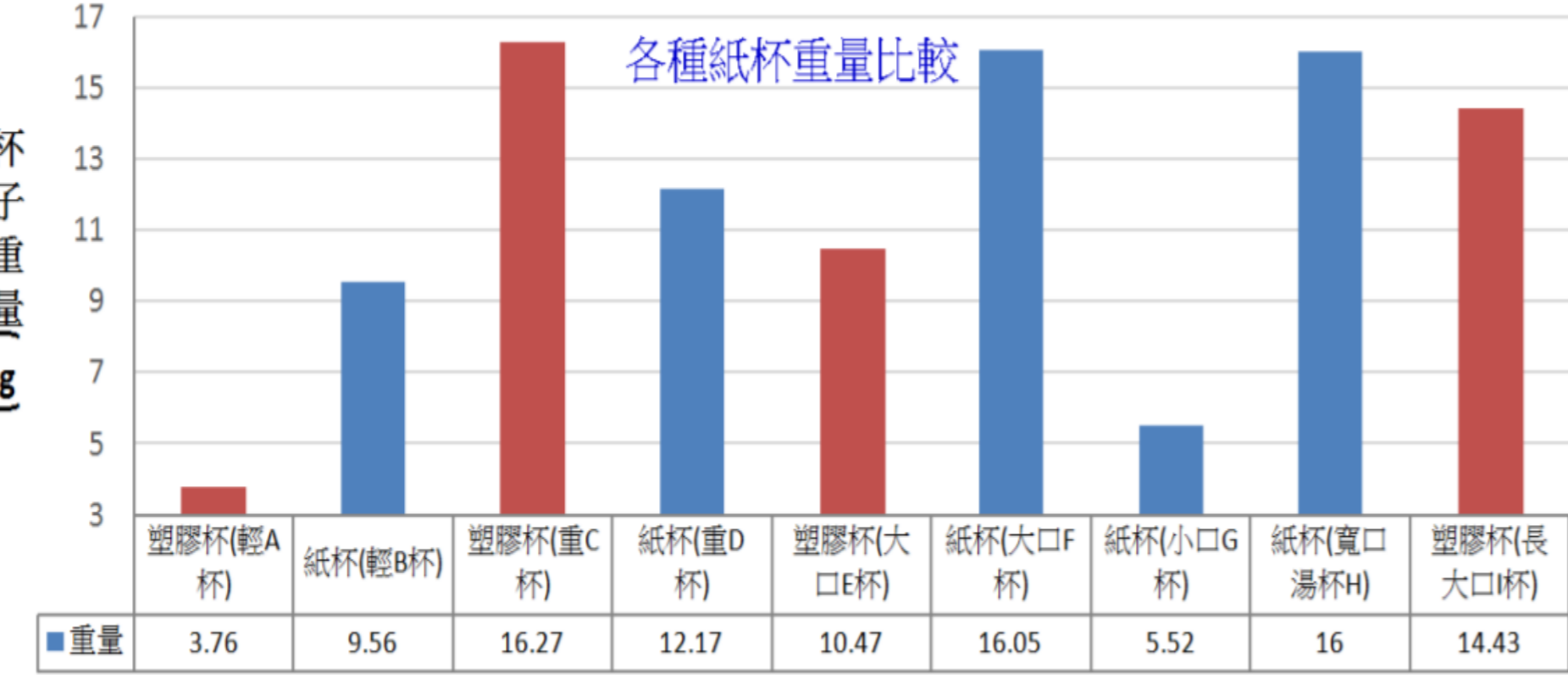
杯子	材質	杯口直徑 cm	杯底直徑 cm	口底直徑差	單個 杯子重 g	飛行器 總長 cm	總重 g
A	塑膠	7	5.0	2.0	1.81	16.5	3.76
B	紙	7.3	5.3	2.0	4.66	16.5	9.56
C	塑膠	7.7	5.4	2.3	8.03	20.5	16.27
D	紙	7.6	5.4	2.2	5.98	19.5	12.17
E	塑膠	9.5	5.8	3.7	4.61	20.1	10.47
F	紙	9.5	6.2	3.3	7.36	17.7	16.05
G	紙	6.7	5.2	1.5	2.67	14.0	5.52
H	紙	9.1	7.6	1.5	7.92	14.0	16.00
I	塑膠	9.5	6.5	3.0	8.09	29.8	14.43

飛行時間與距離比較	重量 (輕到重)	飛行時間 平均 (長到短)	飛行距離 平均 (短到長)	
塑膠杯(輕A杯)	3.76	1	235.6	1
紙杯(輕B杯)	9.56	3	307.9	3
塑膠杯(重C杯)	16.27	9	412.0	9
紙杯(重D杯)	12.17	5	407.3	8
塑膠杯(大口E杯)	10.47	4	347.3	5
紙杯(大口F杯)	16.05	8	349.2	6
紙杯(小口G杯)	5.52	2	295.7	2
紙杯(大口過杯H)	16	7	387.6	7
塑膠杯(長大口I杯)	14.43	6	323.1	4

這四種飛行器在空中飛行路徑都是先往上飛至最高點後繞圈迴旋，因此在空中停留的時間久，尤其重量較輕的A杯與G杯，但是飛行的距離比較短。

這四種飛行器在空中飛行路徑都是直接往前飛再向下掉落，因此在空中停留的時間短，F與H杯速度很快就像直接衝，但是飛行的距離較遠。

I杯飛行時在空中沒有迴旋繞圈，且重量比D杯重，但飛行路徑也是往上飛至最高點後落下。我們想也許是杯子的重量與長寬比例恰當，固飛行時間與距離都排在中間。



2. 變形紙杯的飛行

實驗發現：紙杯剪成花瓣狀時，不管剪的數量是10或20個，只要沒將花瓣往下折，飛行時間與距離都與先前沒剪成花瓣的G杯差異不大，如果將剪好的花瓣往下折，發現花瓣容易勾到發射的橡皮筋，常造成失誤，飛行時間與距離也比沒折下時的G杯差。

3. 動力發射繩的纏繞方向

實驗發現：一般實驗用左手拿杯子並用拇指按壓橡皮筋一頭，右手將橡皮筋由杯子下方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋由杯子下方往前拉出約15公分長。若改變橡皮筋的纏繞方向，讓橡皮筋從杯子的上方順著杯子纏繞轉圈，最後橡皮筋由杯子的上方往前拉出，會發現纏繞方向改變，飛行器發射後就不會往上飛，還很容易在飛出時打到拉橡皮筋的手，且飛行落下前杯子還會迴轉一些，造成測量的距離更短。

4. 橡皮筋纏繞圈數與發射彈力的影響

←左邊上面為單條發射繩(3條3圈)
←左邊下面為並聯發射繩(6條3圈)

實驗發現：單條與並聯發射繩比較時，不管是3個2圈或是4個3圈，會發現並聯的飛行時間都比較長，但是飛行的距離變短。我們想也許橡皮筋並聯後，彈力都變大了。

5. 發射角度的比較

不同發射角度的比較 ①②③圖 利用手動發射 ④⑤⑥圖 利用角度發射台

使用角度發射台

90度發射時 可握住迴旋落下的杯子

(示範 30 度角發射) (90 度角發射時可以讓杯子迴旋，回到發射者的手中)

實驗發現：我們發現杯子平射時(0度)，杯子飛行的距離最遠，但飛行在空中的時間最短；當發射角度越大時(90度)，杯子是往上飛行，所以飛的最高，且落下的時間最長，但是飛行的距離最短，而且仍有大迴旋的現象發生，杯子落下時會往前飛行，我們想應該是橡皮筋纏繞方向的關係，發射者甚至可以在杯子落下時握住杯子。

6. 飛行器的拿法比較

紙杯飛行路徑

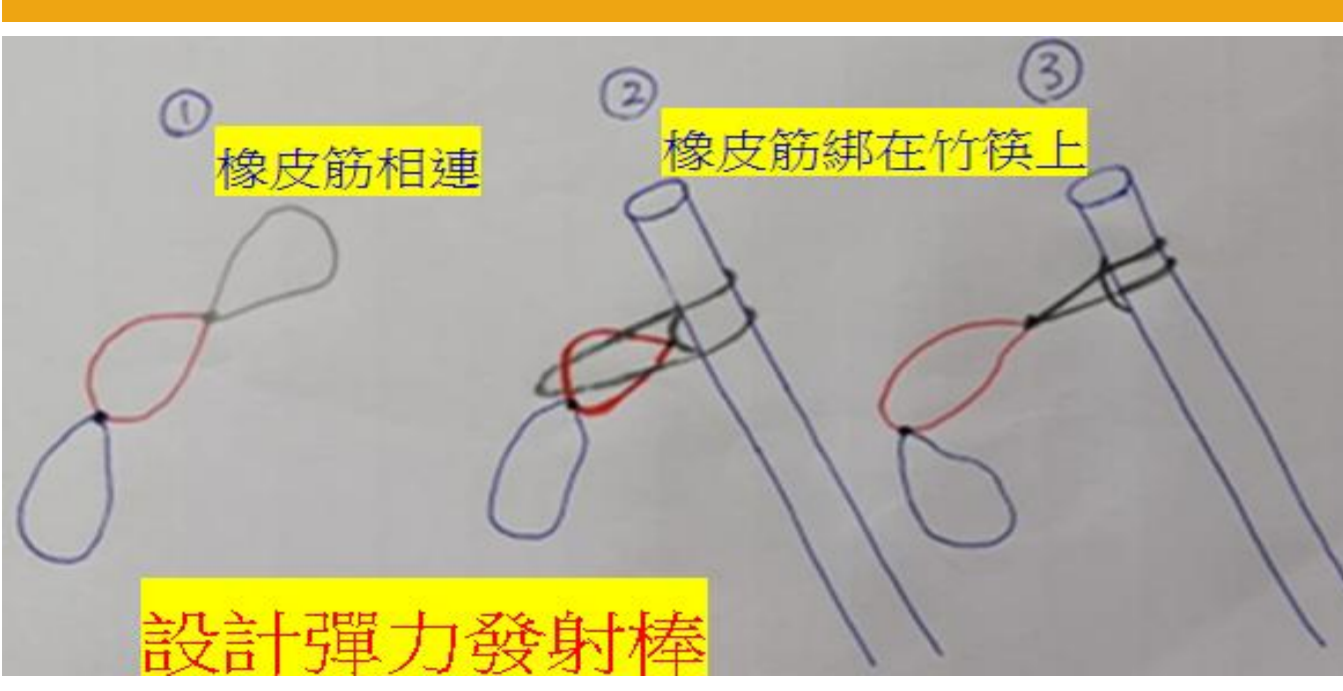
飛行器直立發射時行徑路線如同足球的香蕉球

紙杯飛行路徑

實驗發現：如果改變手拿杯子發射的方式(由水平變成垂直)，讓杯子直立發射，利用橡皮筋的不同纏繞方式，可以改變杯子的飛行方向，若用右手拉橡皮筋，則杯子會往左大轉彎，若用左手拉橡皮筋，則杯子會往右大轉彎，我們看見杯子的行徑路線會像足球中的香蕉球，變成了大曲線。

研究4、發射器的製作

1.彈力發射棒的设计與製作

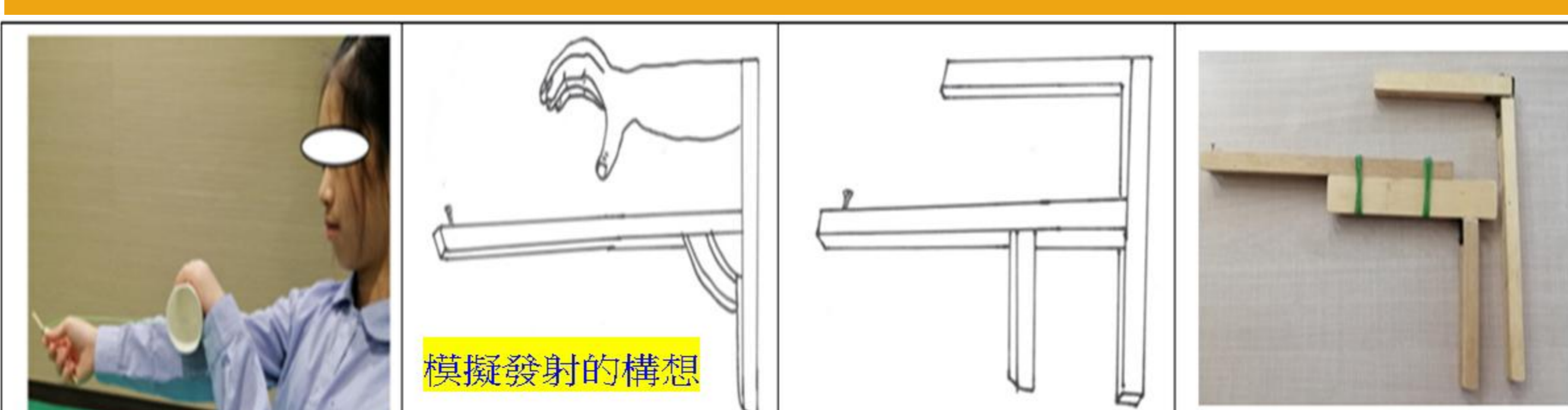


設計彈力發射棒



利用彈力發射棒發射

2.發射器的設計與製作



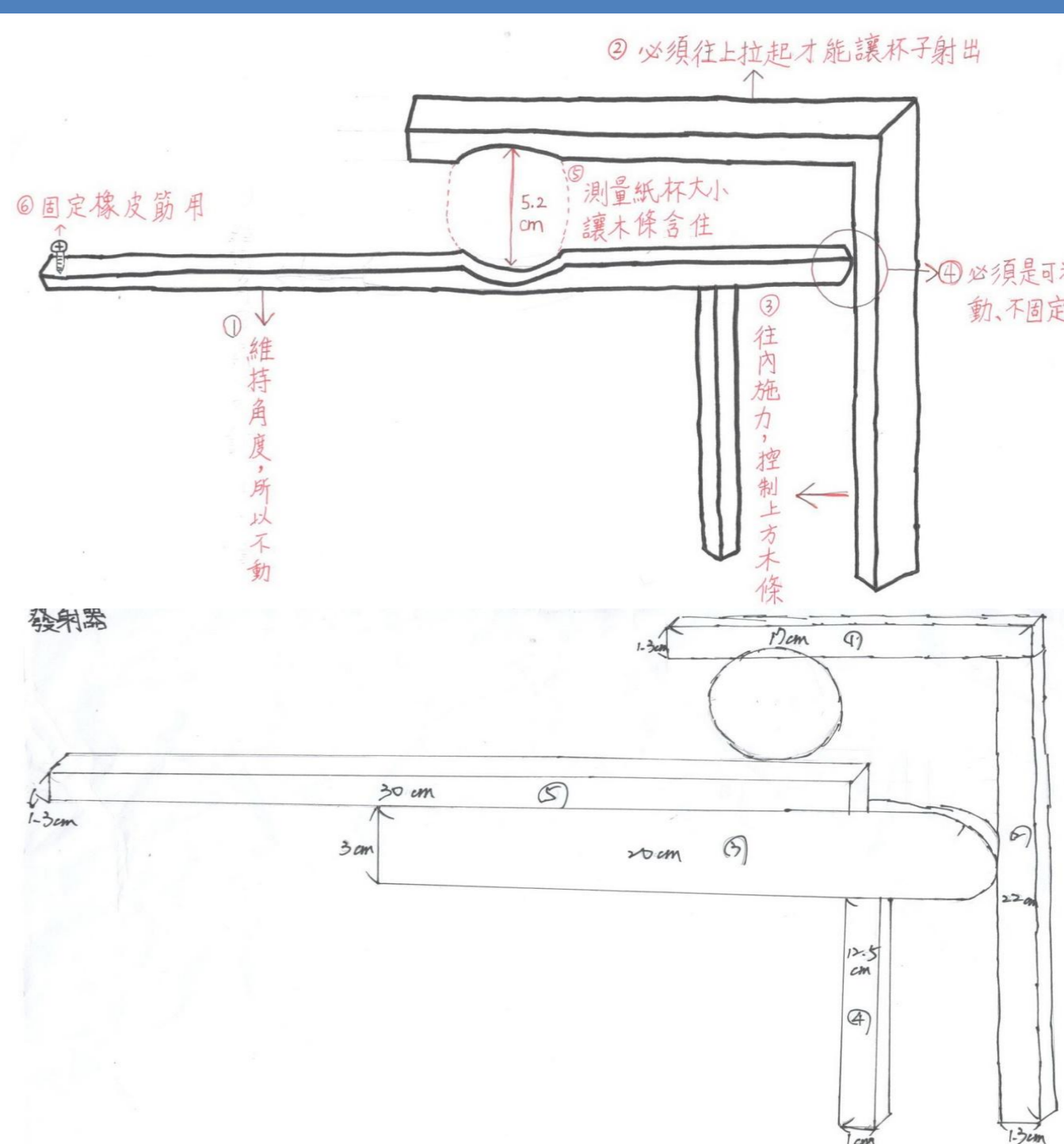
模擬發射的構想



角度發射台

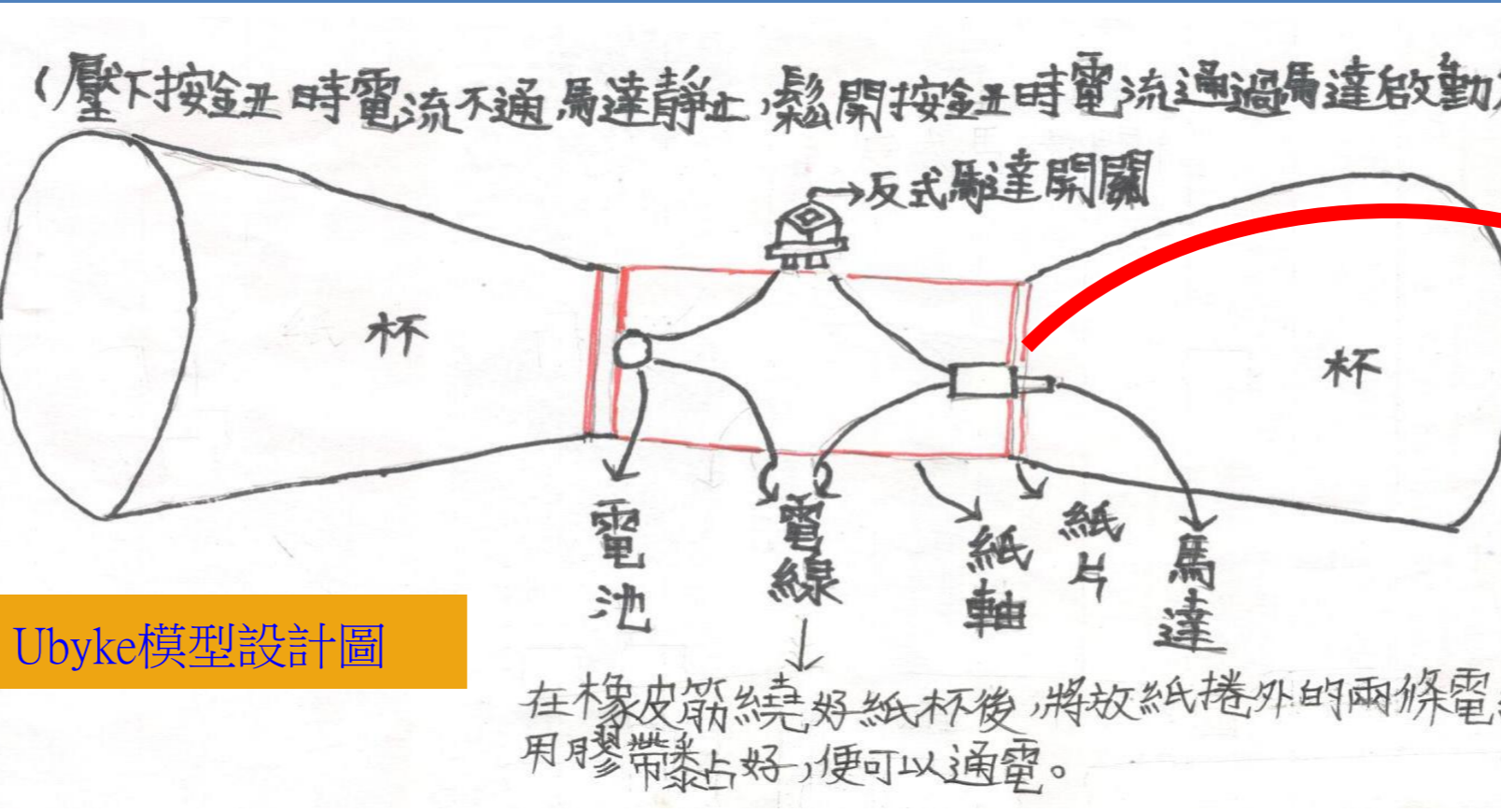
發射器

使用發射器進行發射實測



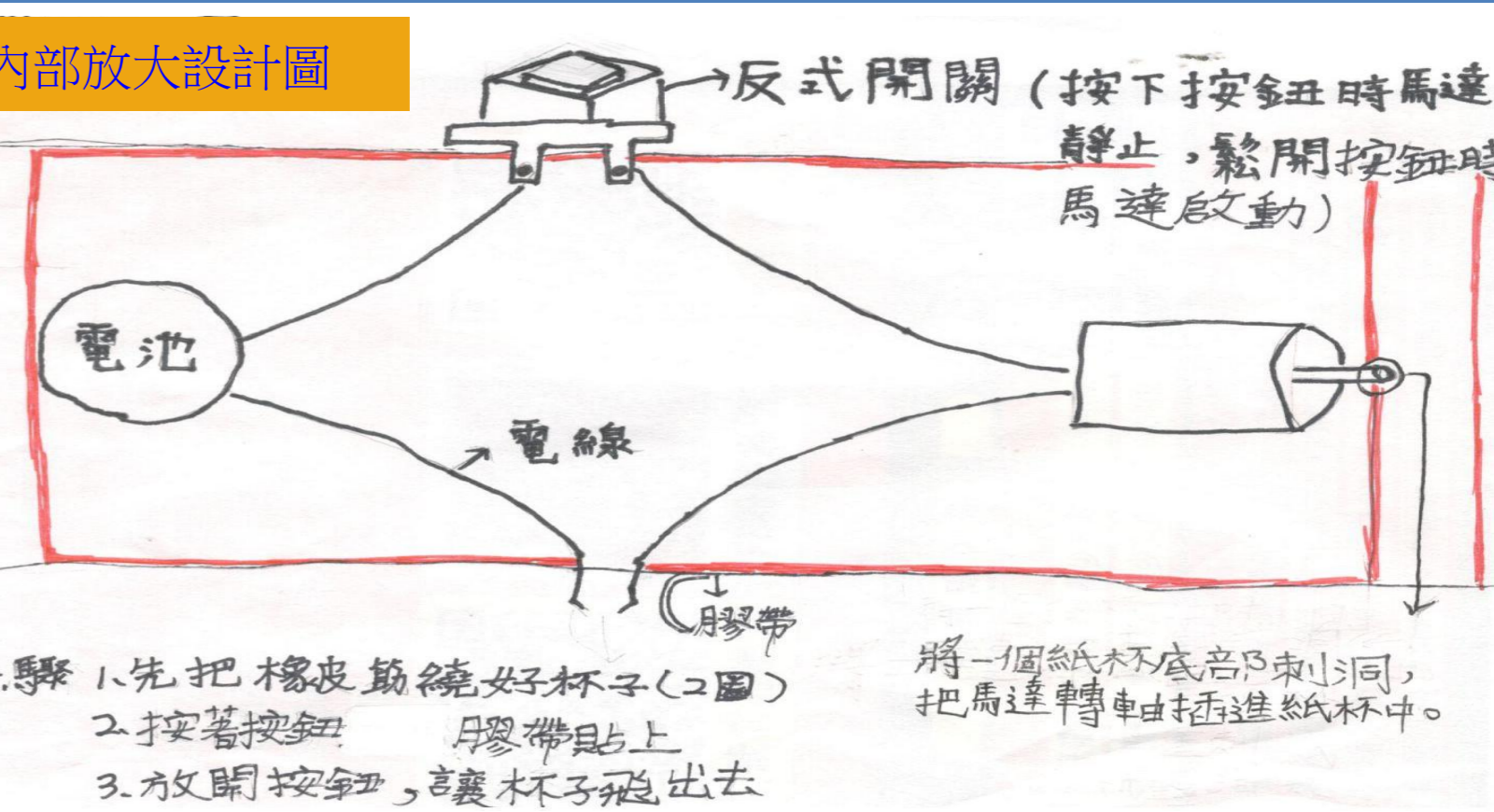
我們起初用橡皮筋發射繩來彈射飛行器時，杯子在彈出後常常會因為打到手而造成失誤，我們製作彈力發射棒和發射器來改善。實驗後發現用彈力發射棒失誤情況變少，使用也較方便；利用發射器來發射雖然看似簡單，好像按下把手就可以將杯子發射出去，但是發射前的準備工作須更仔細與費時。首先，橡皮筋須先繞好杯子後正確的卡在凹槽，另一端則要勾住釘子，保持發射器的平衡後按下把手就能順利的完成發射。

研究5、設計製作簡易飛行器，以便日後作為空中Ubyke的模型



Ubyke模型設計圖

紙軸內部放大設計圖



放大

想法：發射步驟 1.先將橡皮筋繞好杯子(2圈) 2.按著按鈕 膠帶貼上 3.打開按鈕，讓杯子飛出去

利用四年級學過通電的馬達，可以讓杯子不停的旋轉，只要有動力讓杯子往前彈飛出去，應該就可以拉長杯子停留在空中的時間。如果再加上一個固定方向的風力，也許就能利用馬格努斯的原理，製作一個省能源的飛行器。我們在兩個杯子的相連處增加一個空間(如紙軸：增加乘載空間、重量)，也許能為日後的設計預留研究方向。但是如何在飛行器發射飛出後才同時啟動旋轉杯子，而且還要克服馬達及啟動馬達的電池重量，也是一個考驗。我們嘗試製作Ubyke的模型，在過程中發現了不同的困難與挑戰，設計時的想法及製作後發現的缺失，經過我們討論改良後的結果，整理如下：

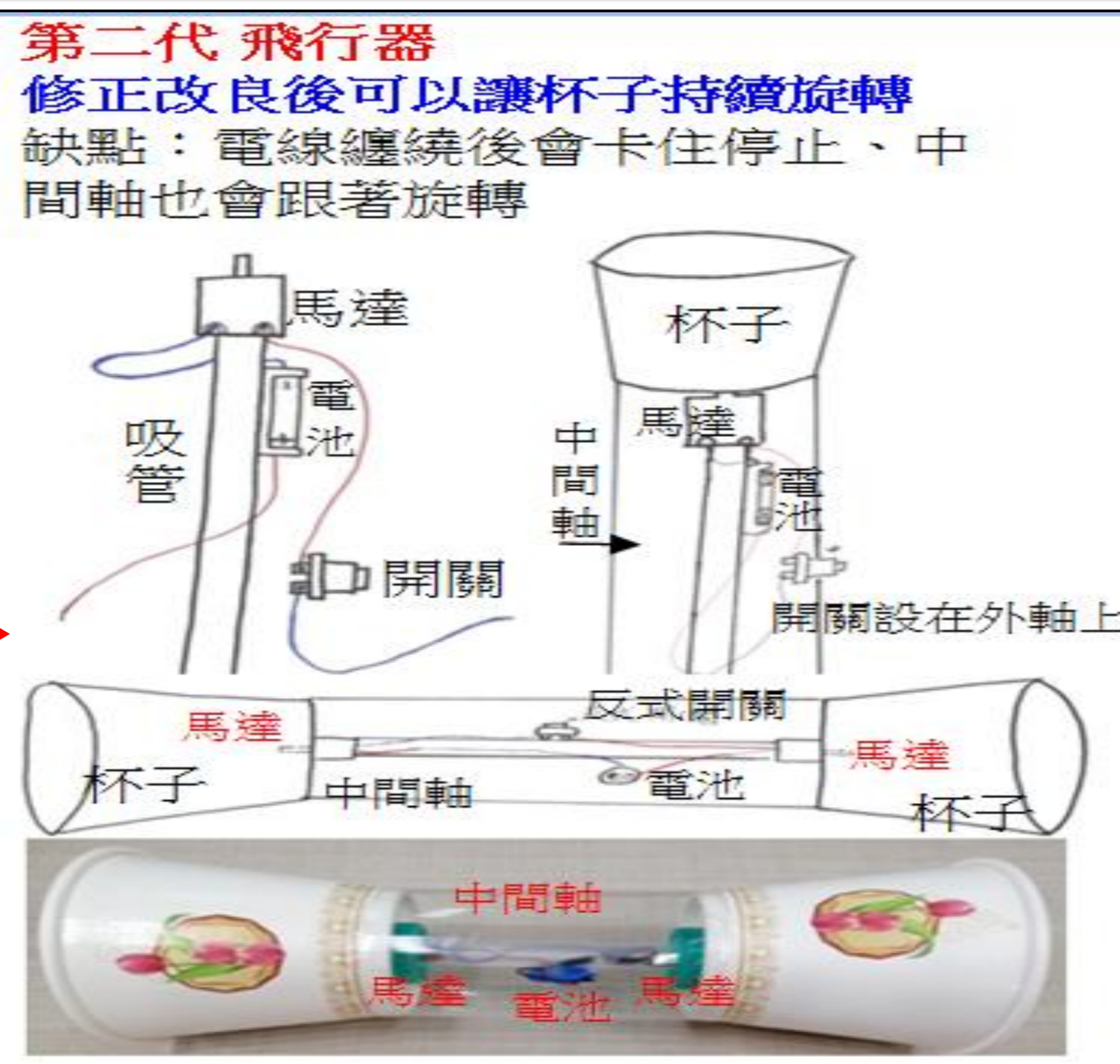
設計實驗路徑



第一代飛行器

缺點：無法持續飛行(在空中時間有限)

修正改良



第二代飛行器

修正改良後可以讓杯子持續旋轉

缺點：電線纏繞後會卡住停止、中間軸也會跟著旋轉

修正改良



第三代飛行器

修正改良後電線不會纏繞，中間軸也不再旋轉

缺點：組裝成飛行器時，兩邊的杯子轉向不同

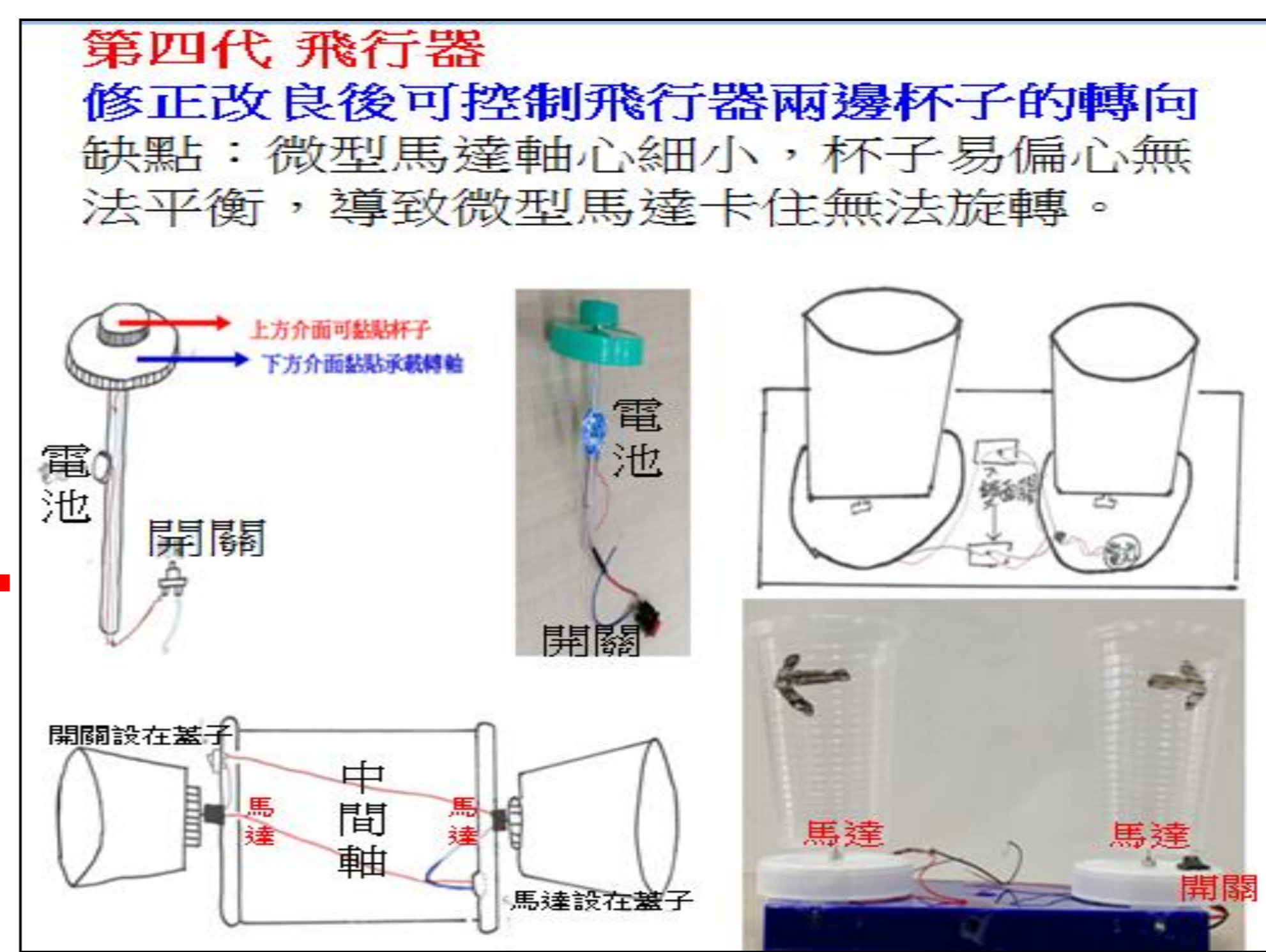
修正改良



分離式飛行器

修正改良後馬達不會因重心的微小誤差而停止

修正改良



第四代飛行器

修正改良後可控制飛行器兩邊杯子的轉向

缺點：微型馬達軸心細小，杯子易偏心無法平衡，導致微型馬達卡住無法旋轉。

經過我們不斷的修正與改良後，完成的分離式馬達飛行器可以讓兩旁的杯子不斷的旋轉，中間乘載空間可以維持固定的方向，只要有足夠的動力發射出去，應該就能長時間在空中飛行，當然要克服飛行器的重量是一大考驗。不過，人因夢想而偉大！經過我們小小的研究，難說未來的交通工具中，不會在空中看到我們的想法，就如空中Ubyke。

伍、結論

- ◎用保麗龍板驗證白努利定律時，吹氣讓保麗龍板中間空氣流速變快，保麗龍板外側周圍的正常氣流與氣壓會把兩片保麗龍板擠壓在一起。
- ◎無旋轉紙軸直接用卡棒彈射出去時，飛行路徑從離開桌面就直接往桌下飛出拋物線掉落距離不遠。若將紙軸旋轉後彈射，紙軸會不斷的旋轉飛行高度越來越高迴轉後再做拋物線的下滑前進，所以飛行距離長很多。
- ◎當物體旋轉及運動狀態同時產生時，原先的行進軌跡會發生偏轉，利用馬達使無動力小車的保麗龍圓柱旋轉，再用側邊吹風機讓小車移動，會發現小車因馬格努斯效應使小車的行進路徑改變成往前走。
- ◎用馬格努斯原理製作杯子飛行器，搭配橡皮筋提供飛行的動力，會發現杯子重量愈輕，在空中飛行的時間愈久，且飛行在空中最高處時，愈容易有繞圈迴旋的現象但飛行的距離比較短。重量太重的杯子無法在空中有繞圈迴旋的情形，飛行路徑都是往前直飛後就往下墜，杯子沒有上揚的現象，飛行時間短，但是飛行距離較長。但如果杯子的重量與長寬比例恰當，雖然在空中沒有繞圈迴旋的現象，但是杯子在發射後也會有上揚往最高處飛後再往下滑落的情形。
- ◎改變橡皮筋纏繞的方向，會影響飛行器發射後的旋轉方向及上飛或下墜的選擇。
- ◎橡皮筋越緊彈力就越大，杯子飛得會較高，飛行的時間也較久，但飛行距離會較短。所以橡皮筋並聯飛行時間長，但是飛行的距離變短。
- ◎改變發射時的角度，發現杯子飛行的高度與距離都會改變，甚至可以讓杯子迴旋，回到發射者的手中。
- ◎改變飛行器拿法，讓杯子變為垂直地面直立發射，利用橡皮筋的不同纏繞方式，就能控制杯子的飛行方向，也可以看見杯子的行進路線如足球中的香蕉球，變成了大曲線。
- ◎利用四年級學過通電的馬達，可以讓杯子不停的旋轉，只要有動力讓杯子往前彈飛出去，並克服重量挑戰，就能拉長杯子停留在空中的時間。

陸、參考資料

- 一、維基百科(2019)白努利定律。【on line】：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8A%A9%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 二、維基百科(2019)馬格努斯效應。【on line】：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A9%AC%E6%A0%BC%E5%8A%AA%E6%96%AF%E6%95%88%E5%BA%94>
https://en.wikipedia.org/wiki/Magnus_effect
- 三、國立台中教育大學(NTCU)科學教育與應用學系，科學遊戲實驗室：馬格努斯效應(2019)。【on line】：
<http://blog.itc.edu.tw/blog/index.php?op=printView&articleId=658389&blogId=35458>
- 四、E-Ship 1 (維基百科)：
https://en.wikipedia.org/wiki/E-Ship_1
- 五、Youtube影片：
https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=20SrvzNW9FE
<https://www.youtube.com/watch?v=Fk2xU8pE11I>
https://www.youtube.com/watch?v=8kVuKAgv_2k
<https://fischair.wordpress.com/projects/modelflug/flettner-rotorflugzeug/>