

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：不可思議飛行體---四臂式迴力鏢的研究

關 鍵 詞：迴力鏢、蘆筍、風洞

編 號：030103

學校名稱：

臺北縣立蘆洲國民中學

作者姓名：

陳睿遠、黃韋超、郭曉涵、莊雅雯

指導老師：

郭春華、廖智偉



壹、摘要：

緣起老師的示範演示—迴力鏢飛行演示（國中理化課本第一冊第六章），展開艱辛的路程。首先是迴力鏢投擲器的設計，利用蘆筍的特性使迴力鏢和投擲器分離是我們得意之作。利用投擲器，我們可以研究迴力鏢飛行軌跡和投擲力、旋轉速度、仰角、傾斜度、葉面弧度都有密切關係。為了解釋飛行軌跡的變化，我們著手設計風洞，以測出迴力鏢在飛行過程受力的變化。我們利用菜市場廢棄的方形保麗龍盒加上麵包店的生日蛋糕盒蓋，就組成了簡易而實用的風洞。這又是我們就地取材的傑作。利用風洞裝置我們可以測出抬昇力的大小和風洞、葉面弧度及旋轉速度都有著密切的關聯。最後我們利用風洞所得的數據，合理解釋飛行軌跡的變化。

貳、研究動機：

我們的理化老師常秉持教學生活化·活潑化·生動化，因此在課堂上常有精采示範實驗演示。之後並要我們提問、討論，並找尋答案。在一次迴力鏢飛行演示時，它那劃過天際有弧度的優雅飛行，吸引我們的眼光，大家熱烈提出問題，為何它可迴飛、如何投擲、如何製作、軌跡形狀等等。老師按慣例指派我們去尋找答案，因此就展開此次研究。

叁、研究目的：

- 一、迴力鏢投擲器的製作。
- 二、利用迴力鏢投擲器投擲迴力鏢並描出軌跡，以便比較分析。
- 三、簡易風洞設計，以便分析迴力鏢飛行時受力的探討。

肆、研究器材：

四臂式迴力鏢、迴力鏢投擲器、蘆筍、風洞、電子天平、直流電源供應器、可變電阻器、旋轉速度測量器。

伍、研究過程：

研究 一、迴力鏢投擲器的製作

- （一）初步構想：我們分析迴力鏢飛行軌跡和投擲力、旋轉速度、傾斜角度、仰角有關，因此必須設計一個可以控制上述變因的投擲器。
- （二）設計關鍵：反覆觀察以手投擲的動作，我們初步決定以鋼尺的彎曲度改變投擲力的大小。迴力鏢架設在直流馬達上可控制旋轉速度，至於傾斜角度、仰角則由控制木板即可達到目的。最令我們困擾的是，如何讓旋轉中的迴力鏢離開投擲器而向前飛行。
- （三）突破困難：首先我們想利用電磁鐵裝置，但因去磁效果不佳而放棄。經過多次嘗試，我們想到如圖（一）的裝置。馬達固定在鋼尺上端，在馬達轉

軸上及迴力鏢中心位置，用塑膠套子各做一個圓柱洞。此二者間可用易切斷及硬度合適的蔬菜連接，經過連續測試多種蔬果之後，我們決定用蘆筍。當彎曲的鋼尺戴著旋轉的迴力鏢，彈至美工刀時，美工刀可輕易切斷蘆筍，迴力鏢也可順利脫離而飛行。



圖（一） 迴力鏢投擲器

研究 二、 利用迴力鏢投擲器投擲迴力鏢描出軌跡，以便分析比較

（一） 說明:

軌跡的描繪：先在地板用粉筆繪出 30×30 cm 的正方格，如下列照片（一）。我們再站在各個適合觀察的位置，當迴力鏢被投擲時，每位同學準確地標定出迴力鏢飛行軌跡，並迅速用繩子按照飛行軌跡平鋪在地上，並請同學使用碼錶測量迴力鏢空中飛行時間。反覆多次，即可得到飛行軌跡，將軌跡圖描至方眼紙中並標明時間。



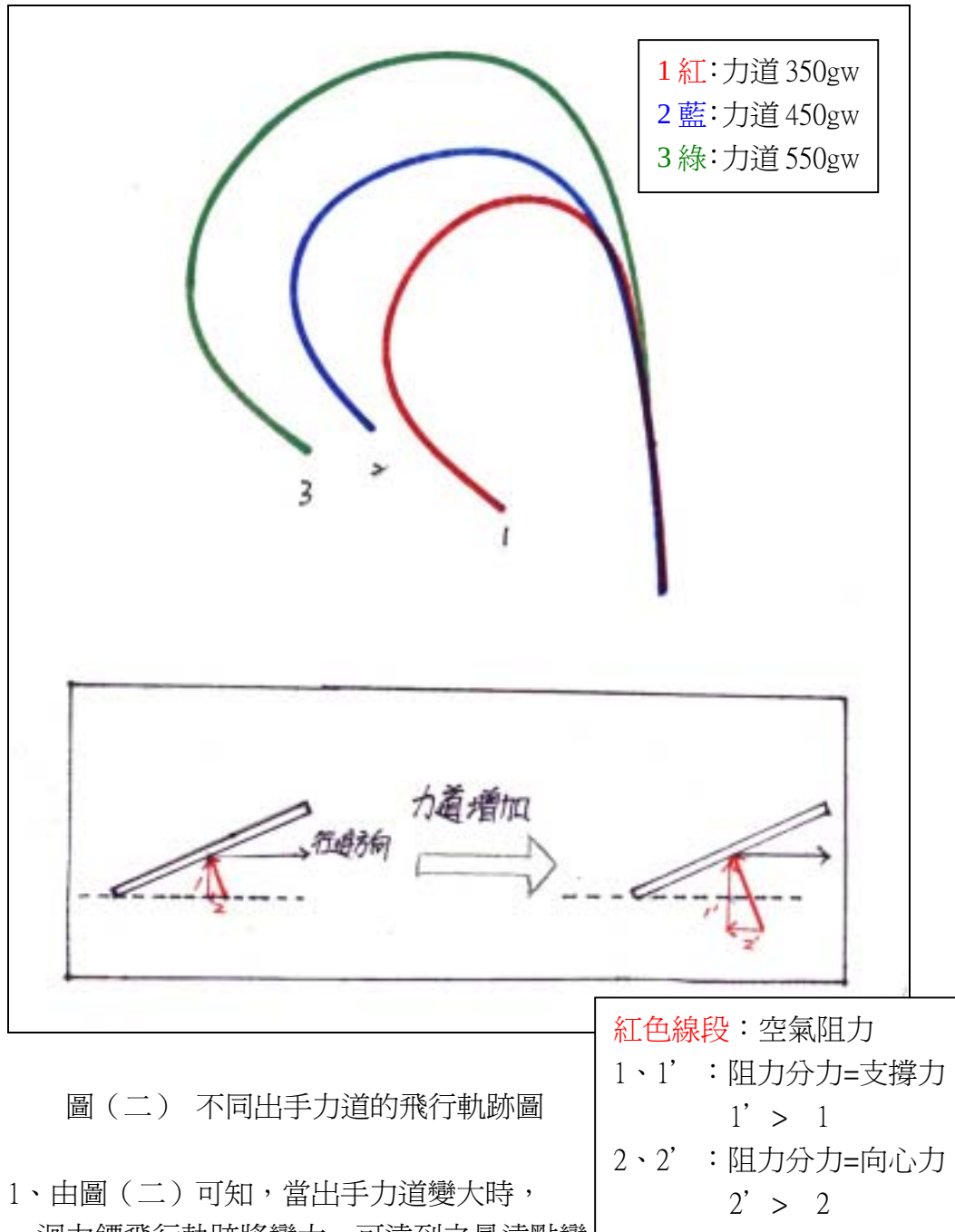
照片（一）

（二） 步驟：

- 1、投擲力道不同：固定旋轉速度 420rpm，傾斜角度 15 度，葉面弧度 2 度，重量 7.02 公克，分別以 350gw、450gw、550gw 的力投擲，描出軌跡如圖（二）。
- 2、旋轉速度不同：固定傾斜角度 0 度、葉面弧度 2 度，而旋轉速度分別為 280rpm、380rpm、480rpm、580rpm 以固定投擲力 450gw 投擲，描出軌跡如圖（三）。
- 3、傾斜角度不同：旋轉速度 300rpm，仰角 20 度，改變傾斜角度分別為 0 度、15 度、30 度、45 度，以固定力道 450gw 投擲，描出軌跡如圖（四）。
- 4、重量不同：旋轉速度 420rpm，傾斜角度 0 度，以膠帶貼在葉面中心點，改變不同重量，分別為 7.02gw、8.02gw、9.02gw，以固定力道 450gw 投擲，描出軌跡如圖（五）。
- 5、葉面弧度不同：旋轉速度 420rpm，傾斜角度 0 度，以火烤方式固定葉面弧度分別為 2 度、4 度、6 度，固定力道 450gw 投擲，描出軌跡如圖（六）。

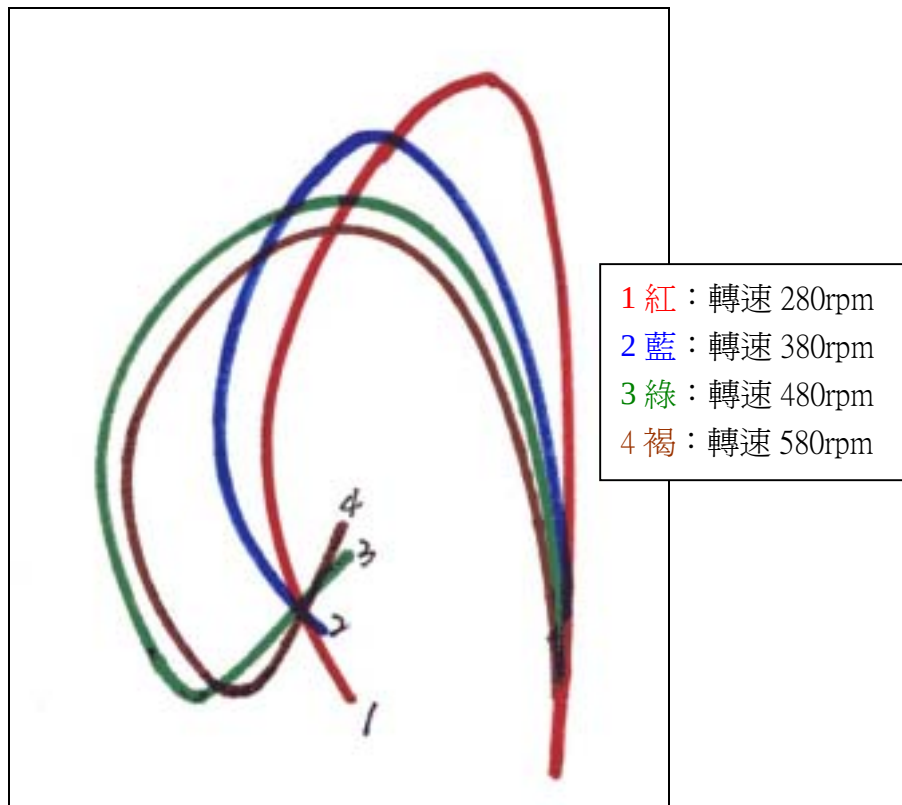
6、出手仰角不同：旋轉速度 420rpm，傾斜角度 0 度，改變仰角分別為 0 度、10 度、20 度，以固定力道 450gw 投擲，描出軌跡如圖（七）。

（三）結果：



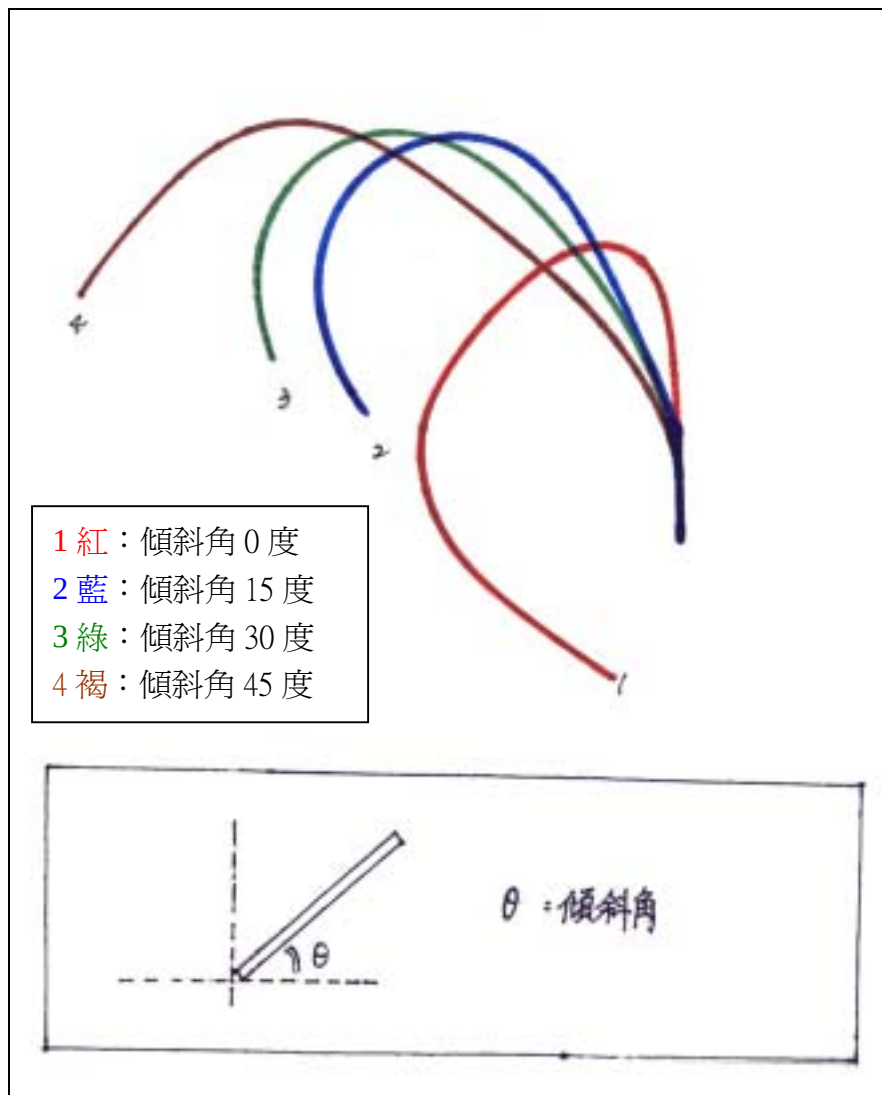
圖（二） 不同出手力道的飛行軌跡圖

1、由圖（二）可知，當出手力道變大時，迴力鏢飛行軌跡將變大，可達到之最遠點變遠；且空中飛行時間變長。



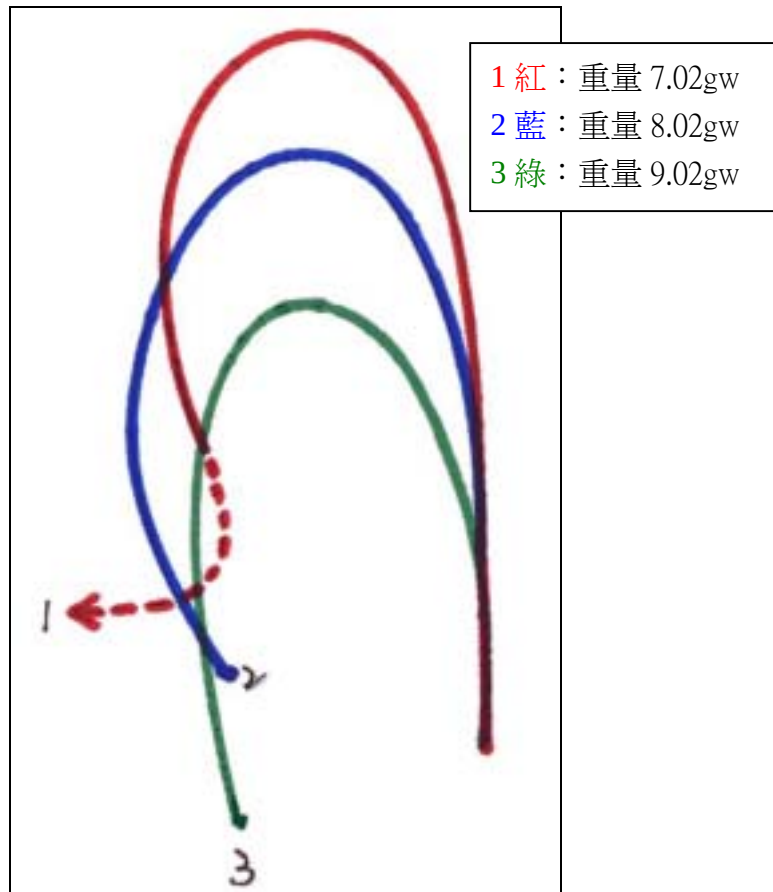
圖（三） 不同旋轉速度的飛行軌跡圖

2、由圖（三）可知，當旋轉速度從 280rpm 增加至 480rpm 時，空中飛行時間增加，飛行軌跡變大；當旋轉速度從 480rpm 增加至之 580rpm 時，空中飛行時間卻減少，飛行軌跡變小。不過，飛行軌跡形狀並無太大改變。



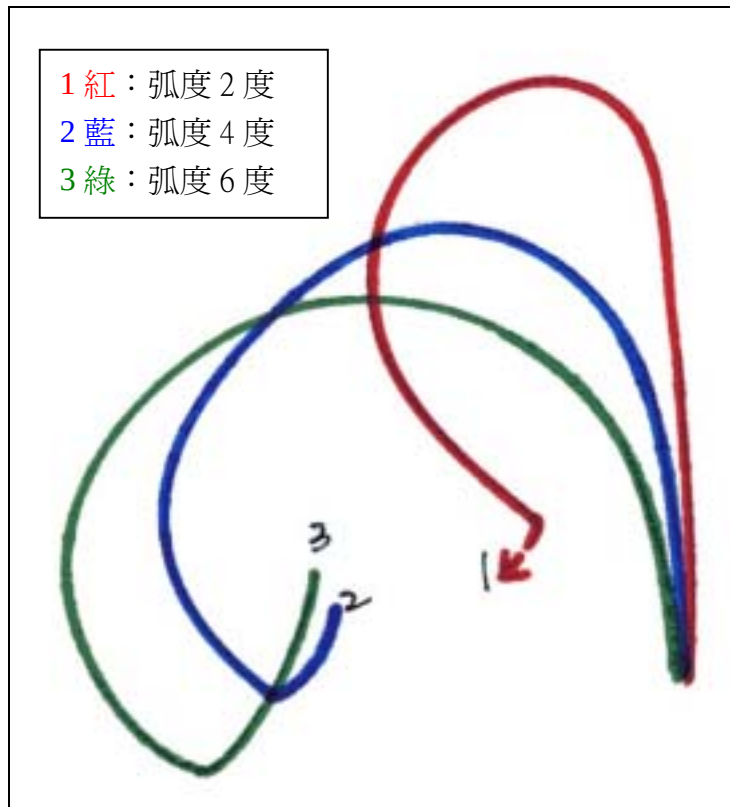
圖（四） 不同傾斜角度的飛行軌跡圖

- 3、由圖（四）可知，當傾斜角度增加時，迴力鏢飛行軌跡將變大，在一定直線距離內偏向程度增加，可達之最遠點距離十分接近，而空中飛行時間減少且軌跡較不趨近完整。



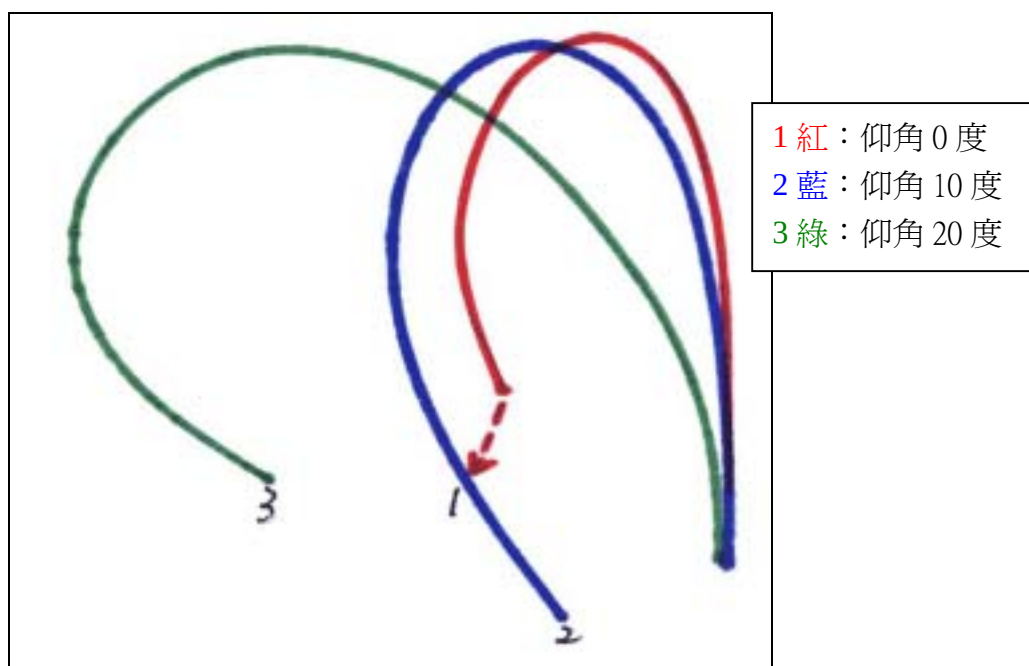
圖（五）不同重量的飛行軌跡圖

4、由圖（五）可知，當迴力鏢重量增加時，飛行軌跡之迴旋程度減弱，但空中飛行時間並無明顯變化，可達之最遠點距離將減少，落地位置亦往後。飛行軌跡之形狀並無太大改變。



圖（六） 不同葉面弧度的飛行軌跡圖

5、由圖（六）可知，當迴力鏢葉面弧度增加時，迴力鏢飛行軌跡在一定直線距離內偏向程度增加，而迴力鏢可達之最遠點距離將減少，空中飛行時間變長，迴力鏢飛行軌跡將變大，軌跡後半段有明顯的迴旋。



圖（七） 不同出手仰角的飛行軌跡圖

6、由圖（七）可知，當迴力鏢出手仰角增大時，迴力鏢飛行軌跡在一定直線距離內偏向程度增加且軌跡將變大，而空中飛行時間變長。

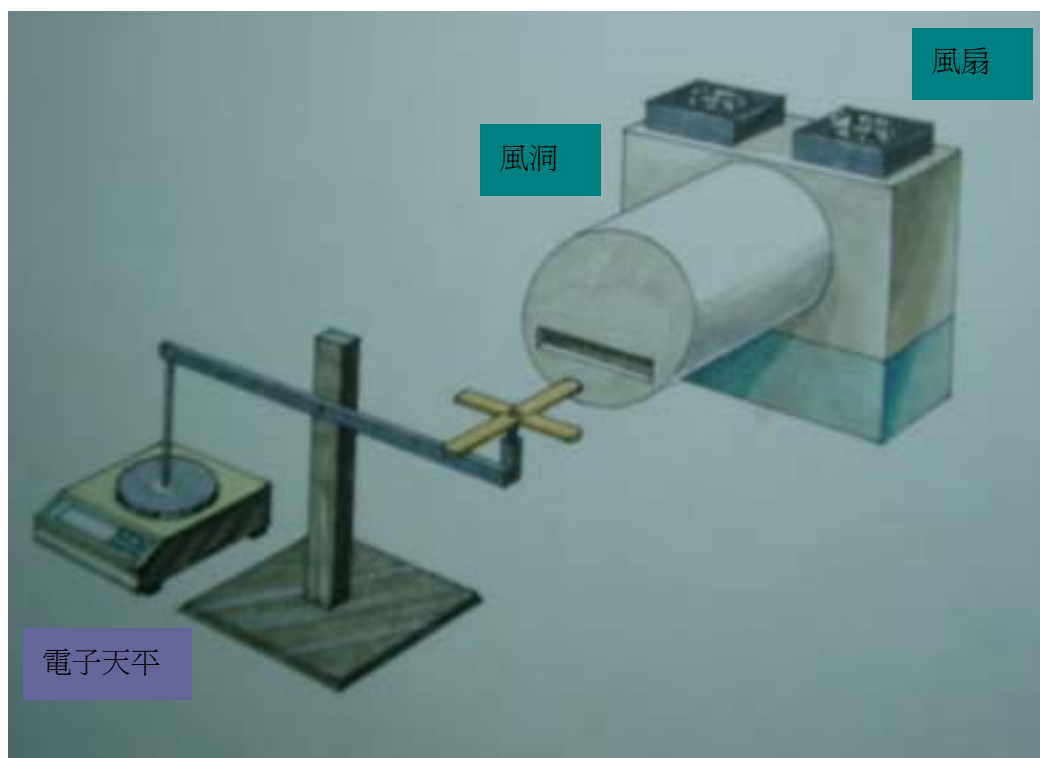
研究 三、簡易風洞設計以探討迴力鏢飛行時受力的探討

（一）說明：

對於飛行軌跡的變化，大致上有它的規律性，但是在旋轉速度實驗時，竟出現令我們百思不解的變化。旋轉速度增加至 480rpm 以上時，軌跡大小不增反而縮小。本以為是實驗誤差，但反覆多次卻都得到相同的結果，為何會如此呢？唯有從力的分析，才能解惑。

（二）力的測量：

如圖(八)，是利用方型及圓柱型保麗龍盒所做的簡易風洞。為了使流出的空氣很平穩，我們在圓柱型保麗龍盒底部切割一條 30×5 cm 的長方形縫，被擠壓的空氣可由此流出，旋轉的迴力鏢受到由此流出空氣的作用，即會有空氣阻力及浮升力共同作用，將此力利用槓桿裝置傳至電子秤上，利用槓桿定律，即可測出力的大小。



圖（八） 風洞裝置圖

（三）步驟：

- 1、旋轉速度對抬昇力的影響：風速固定為 0.2 m/s ，迴力鏢葉面弧度為 2° ，改變迴力鏢旋轉速度分別為 240rpm 、 300rpm 、 360rpm 、 420rpm 、 480rpm 及 540rpm ，測量出抬昇力的大小。
- 2、同步驟（一）將風速分別調整為 0.4 m/s 、 1 m/s 、 2 m/s 、 2.75 m/s ，測出抬昇力的大小，結果如表（一）。
- 3、改變迴力鏢葉面弧度分別為 4° 、 6° ，重覆步驟 1、2，得到結果如表（二）、（三）。
- 4、將以上三表所得的數據結果畫出旋轉速度、風速、葉面弧度對抬昇力的關係圖形。

（四）結果：

浮 升 力 轉 速	風 速 m/s gw	0	0.2	0.4	1	2	2.75
240 rpm		4.87	4.90	5.04	5.38	5.80	6.05
300 rpm		4.87	4.94	5.12	5.47	5.87	6.22
360 rpm		4.87	5.09	5.23	5.59	5.99	6.53
420 rpm		4.87	5.16	5.36	5.67	6.19	6.75
480 rpm		4.87	5.33	5.55	5.70	6.21	6.91
540 rpm		4.87	5.30	5.50	5.68	6.18	6.83

表（一） 迴力鏢葉面弧度 2 度

浮 升 力 轉 速	風 速 m/s gw	0	0.2	0.4	1	2	2.75
240 rpm		4.96	5.19	5.32	5.47	6.31	6.52
300 rpm		4.96	5.27	5.38	5.51	6.37	6.69
360 rpm		4.96	5.39	5.42	5.59	6.43	6.79
420 rpm		4.96	5.45	5.59	5.78	6.58	7.02
480 rpm		4.96	5.59	5.65	5.96	6.77	7.36
540 rpm		4.96	5.50	5.60	5.94	6.72	7.34

表（二） 迴力鏢葉面弧度 4 度

浮 升 力 轉 風 速 m/s gw 速	0	0.2	0.4	1	2	2.75
240 rpm	4.86	5.08	5.48	5.63	5.97	6.27
300 rpm	4.86	5.11	5.54	6.03	6.34	6.74
360 rpm	4.86	5.18	5.69	6.15	6.35	6.84
420 rpm	4.86	5.21	5.77	6.21	6.63	7.22
480 rpm	4.86	5.32	5.88	6.29	6.71	7.84
540 rpm	4.86	5.28	5.82	6.17	6.60	7.83

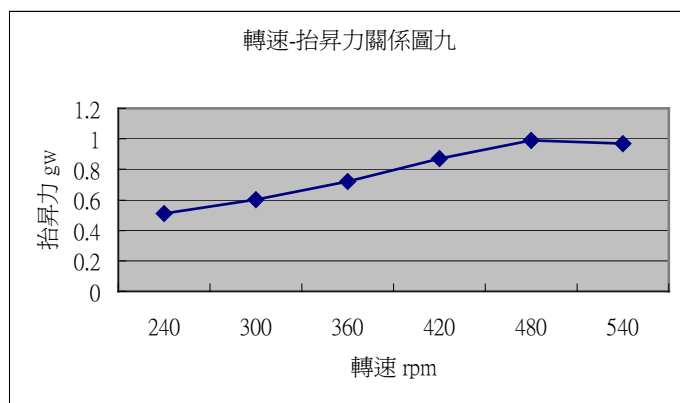
表（三） 迴力鏢葉面弧度 6 度

1、由表（一）、（二）、（三）我們可以發現當出口風速增加及迴力鏢旋轉速度增加至 480rpm 時，迴力鏢所受到的抬昇力將變大。不過在旋轉速度超過 480rpm 後的數據出現了較不符合規律的現象，迴力鏢所受到的抬昇力竟小幅度減少。

2、從表（一）、（二）、（三）中我們分別取風速 1m/s 的三組數據作旋轉速度對抬昇力關係圖（九）、（十）、（十一）如下。由旋轉速度-抬昇力關係圖我們可以更清楚地看出當旋轉速度增加時，迴力鏢所受的抬昇力值持續變大。不過在旋轉速度 480rpm 數據點出現了轉折點，當旋轉速度大於 480rpm，迴力鏢所受到的抬昇力竟小幅度減少。

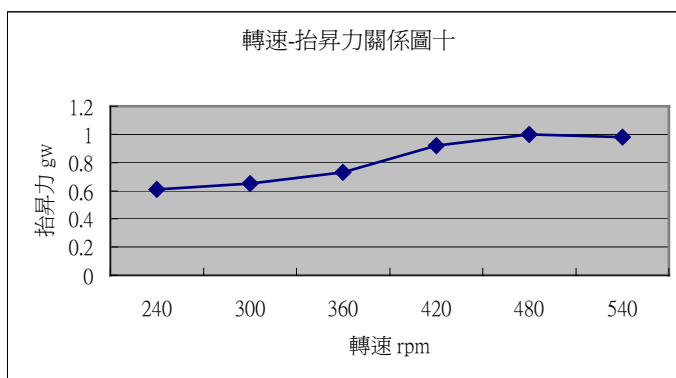
轉速 rpm	抬昇力 gw
240	0.51
300	0.6
360	0.72
420	0.80
480	0.83
540	0.81

葉面弧度 2 度



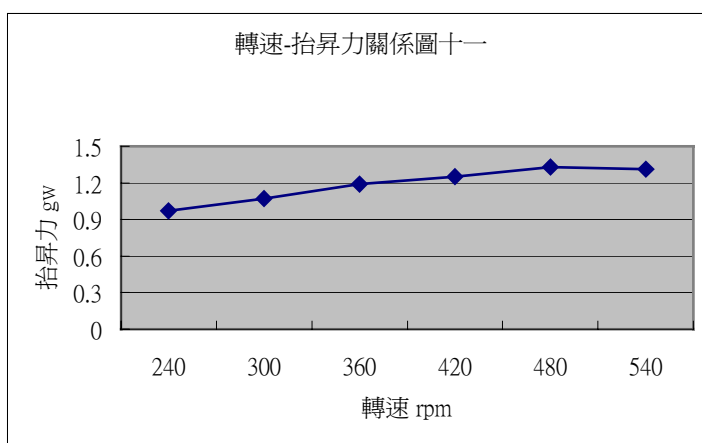
轉速 rpm	抬昇力 gw
240	0.61
300	0.65
360	0.73
420	0.92
480	1.00
540	0.98

葉面弧度 4 度



轉速 rpm	抬昇力 gw
240	0.97
300	1.07
360	1.19
420	1.25
480	1.33
540	1.31

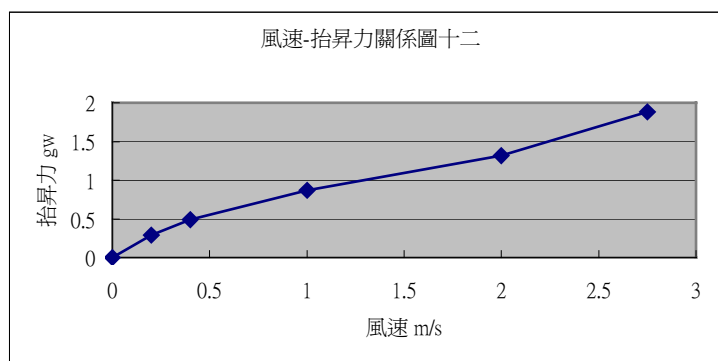
葉面弧度 6 度



3、同樣地，從表（一）、（二）、（三）中我們分別取旋轉速度 420rpm 的三組數據作出風速對抬昇力關係圖（十二）、（十三）、（十四）如下。由風速-抬昇力關係圖我們也可以清楚地看到當風速增加時，迴力鏢所受的抬昇力值持續增大。而且從旋轉速度-抬昇力關係圖及風速-抬昇力關係圖我們可以看出風速改變造成的抬昇力增加量比旋轉速度改變造成抬昇力增加量大得多。

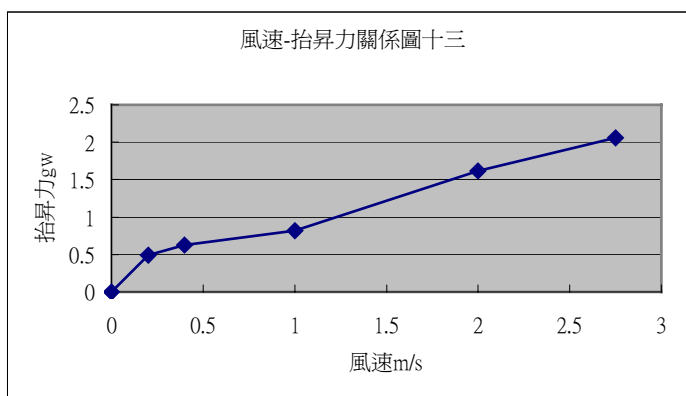
風速 m/s	抬昇力 gw
0	0
0.2	0.29
0.4	0.49
1	0.87
2	1.32
2.75	1.88

葉面弧度 2 度



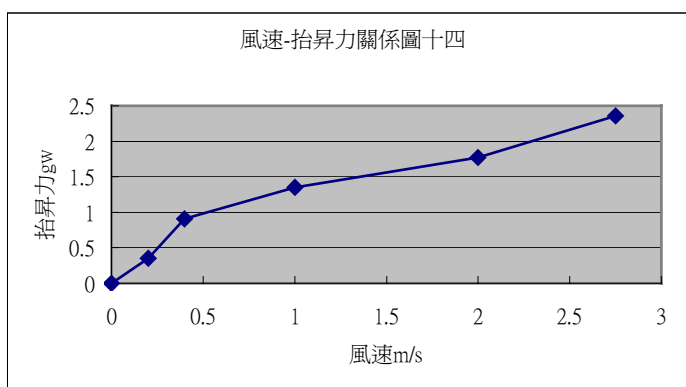
風速 m/s	抬昇力 gw
0	0
0.2	0.49
0.4	0.63
1	0.82
2	1.62
2.75	2.06

葉面弧度 4 度



風速 m/s	抬昇力 gw
0	0
0.2	0.35
0.4	0.91
1	1.35
2	1.77
2.75	2.36

葉面弧度 6 度

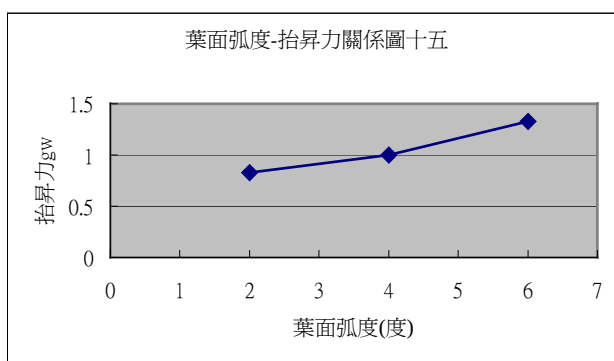


4、由表（一）、表（二）、表（三）我們可以得知當迴力鏢葉面弧度增加時，迴力鏢在各個旋轉速度所受抬昇力平均值將變大〔葉面弧度 2 度，抬昇力平均值約 1.67gw；葉面弧度 4 度，抬昇力平均值約 1.99gw；葉面弧度 6 度，抬昇力平均值約 2.26gw〕：我們從表（一）、（二）、（三）中我們分別取旋轉速度 480rpm，風速 1m/s 作弧度-抬昇力關係圖（十五）如下。從圖我們可以明確地印證當迴力鏢葉面弧度變大，迴力鏢所受的抬昇力將變大。

葉面弧度	抬昇力 gw
2 度	0.83
4 度	1.00
6 度	1.33

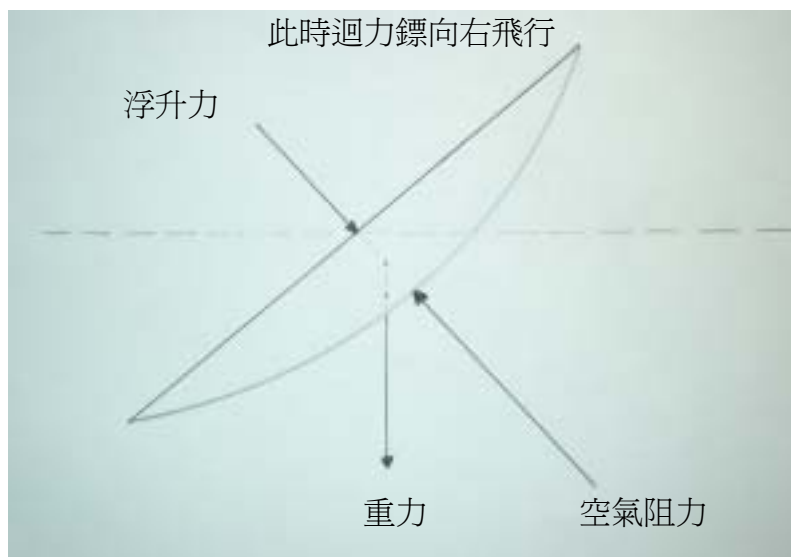
旋轉速度 480rpm

風速 1m/s

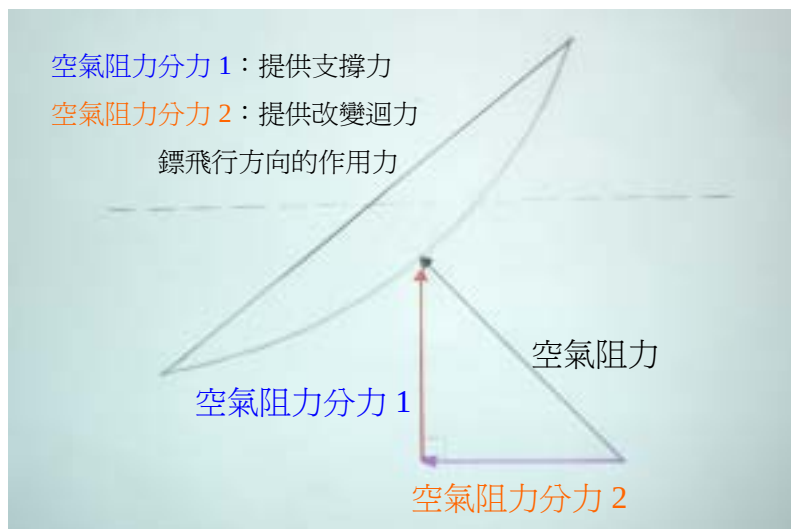


陸、研究討論：

- 一、迴力鏢飛行軌跡的奧秘：迴力鏢飛行時，除了受到重力之外，另有空氣阻力及浮升力的作用，如下列圖（十六）。空氣阻力是因葉面迎風所產生的，浮升力則因葉面有弧度，就如飛行中的飛機受到空氣浮升力一樣，但因我們的迴力鏢弧度向上彎曲，所以浮升力是向下的，重力及向下的浮升力產生向下的拉力；而空氣阻力在迴力鏢飛行過程中提供了向上的作用力，此力可分解成一向上的支持力及改變它飛行方向的作用力，如下列圖（十七），此三力大小交互作用的變化該是決定了迴力鏢飛行軌跡的大小及飛行時間的長短的主因。



圖（十六） 迴力鏢向右飛行之受力圖



圖（十七） 空氣阻力之分力圖

- 二、當出手力道變大時，迴力鏢所受的空氣阻力變大，將使得迴力鏢受到的抬昇力及向心力變大，迴力鏢飛行軌跡變大，且空中飛行時間變長。
- 三、當迴力鏢旋轉速度增加時，迴力鏢所受到向下浮升力將小幅度的增加，而空氣阻力則因受風面積增加而大幅度增大。所以，在研究(一)中我們發現當旋轉速度增加，迴力鏢所受之抬昇力變大，飛行軌跡變大，空中飛行時間增長。但我們發現當旋轉速度快至 480rpm 後，迴力鏢與空氣接觸之受風面積將不再增加，空氣阻力也成一定值。當旋轉速度再增加後，因空氣阻力一定而向下的浮升力些微增加使得抬昇力變小，使得迴力鏢空中飛行時間減少，飛行軌跡變小。不過，飛行軌跡形狀並無太大改變。此結果在研究(三)中，也可得到證實，迴力鏢旋轉速度增加至 480rpm 前，迴力鏢所受到的抬昇力將變大；直至 480rpm 後，所測得的抬昇力數值變小。
- 四、傾斜角度增加時，迴力鏢受到的空氣阻力方向與飛行行進方向夾角改變，使得迴力鏢受到的空氣阻力增加，在一定直線距離內飛行偏向程度增加，飛行軌跡將變大。
- 五、迴力鏢重量增加時，由於施力固定但質量增加，所以，迴力鏢飛行過程之旋轉程度略減，且出手速度減慢，故可達之最遠點距離減少。但由於重力為一向下作用力，故可看出飛行時間些微減少。不過，整個飛行軌跡形狀並無太大改變。
- 六、迴力鏢葉面弧度增加時，飛行時受風面積增加，空氣阻力變大，受到的抬昇力及向心力變大，迴力鏢飛行軌跡在一定直線距離內偏向程度增加，使得軌跡較呈現一圓形，而迴力鏢可達之最遠點距離將減少，軌跡後半段的迴旋軌跡變明顯。
- 七、迴力鏢出手仰角改變時，迴力鏢與空氣的受力面積增加而空氣阻力增加，受到的抬昇力及向心力變大，飛行軌跡在一定直線距離內偏向程度增加且軌跡將變大，而空中飛行時間變長。

柒、研究結論：

- 一、作用在迴力鏢上的力有空氣阻力、浮升力、重力。而飛行軌跡的不同就是由這三種力的合力所產生。
- 二、迴力鏢投擲力道變大時，迴力鏢飛行軌跡將變大，飛行時間將變長。
- 三、迴力鏢旋轉速度在 480rpm 之前，旋轉速度越快，空中飛行時間增加，飛行軌跡變大；當旋轉速度超過 480rpm 時，空中飛行時間將減少，軌跡也變小。
- 四、若投擲較重之迴力鏢，會發現飛行軌跡之迴轉點提前發生，且飛行時間將略減。
- 伍、迴力鏢的葉面弧度增加時，則投擲後飛行軌跡之迴轉點將提前發生，其飛行軌跡較大及呈現接近圓形的弧形，且空中飛行時間增加。
- 六、迴力鏢投擲仰角變大時，則迴力鏢飛行軌跡可達之最高點將增加，且迴力鏢

飛行軌跡偏向程度增加，而飛行時間增長。

七、迴力鏢葉面與水平面夾角（即傾斜角度）增大時，則迴力鏢飛行軌跡轉折點將提前出現，飛行軌跡將變大。但飛行時間減少。

八、由風洞實驗可知：

（一）風速越快，抬昇力愈大。

（二）葉面弧度愈大，抬昇力愈大

（三）旋轉速度在 480rpm 之前，轉速愈快，抬昇力愈大；而旋轉速度大於 480rpm 之後，則旋轉速度愈快，抬昇力略減。

九、實驗中使用蘆筍當連接材料，除了運用其硬度夠、韌性適合及易切斷的特性外，主要是因為它可使迴力鏢在脫離瞬間旋轉速度不會大幅減少。

十、風洞的使用是爲了實驗的需要，但爲了提高數據的可用性，須注意到：

（一）減少多餘的氣流

（二）利用風柵控制氣流流動方向一致

（三）控制人爲判讀數據的誤差

十一、以風洞所測得力的變化，可合理解釋研究(二)飛行軌跡的不同。

捌、感想與展望：

人生有夢，有夢相隨是很美的事。我們實驗做到此，已是精疲力竭，但能完成小小的夢，不辱老師同學所託，內心的喜悅是無法言喻的。一個不起眼的四臂式童玩迴力鏢，竟蘊藏如此多的學問。些微的差異，就會有不同的變化。真是令人著迷的童玩！本想研究所有形狀的迴力鏢，找到飛行模式，但光是一個四臂式的迴力鏢就已讓我們花了一學期時間，用掉的蘆筍，不計其數。也讓我們聞”筍”色變，但在這過程也累積很多的經驗。我們將會繼續研究，找到其他迴力鏢飛行模式。希望能夠美夢成真。

玖、參考文獻：

一、物理學飛行馬戲 — Walker.Jearl 原著—初版—P.254。

二、觀念物理 I — 休伊特著，常雲惠譯 — 天下文化書坊初版—P111~P134，P229~P232。

三、觀念物理 III — 休伊特著，師明睿譯 — 天下文化書坊初版—P100~P102。

四、國民中學生活科技課本 第三冊 — 康軒出版社。

五、國民中學理化課本 第一冊 — 國立編譯館再版—P146~P151。