

# 空中迴旋 ～迴力鏢～

高愛迪斯評語：

1. 能從不同方式、角度探討迴力鏢的原理及實驗，加上整理得宜的圖表和照片，是一份很棒的研究！
2. Y型及+型迴力鏢，可以測試垂直射出方式或抓住迴力鏢末端射出去，比較有何不同效果？

## 1. 製作心得與觀察結果

我一開始投擲自己用紙做的「V」字型迴力鏢時，飛得不是很順利，迴力鏢並沒有回到我的手上。因此我猜測是我投擲方法不對，或是迴力鏢製作有問題。我請爸爸看一下我做得迴力鏢，爸爸覺得做得有些馬虎，所以我再小心翼翼地做了幾個；首先，**A4紙裁成一半時要整齊俐落**，折痕要明顯，可用指甲加強，把每條邊線用手指壓平，**精確對齊折好**。果然，再次試飛後就成功地繞回我手上了，真是太開心了！

我在書上查到，以物體運動的慣性來講，理論上實體的重物，用力往前丟出去，它應該只會往前運動。除非賦予它**旋轉**的力量，才會產生**螺旋運動-向心力**，然後自己再轉回來。經過多次投擲，我發現丟出去的迴力鏢除了會自轉，還會**以我(射手)為中心，由右向左逆時鐘旋轉回來**。

我和爸爸還發現**左右手投擲的握法需相反**。因為我是右撇子、爸爸是左撇子，所以投擲方式要相反才能讓迴力鏢飛回手上。即右撇子投擲時有中線的面朝上，左撇子投擲時有中線的面朝下。要不然就是做出另一種相反的鏢。

接著，我們想到有些飛機的機翼尾端有翹起來，所以我們把一個「V」字型迴力鏢的兩翼尾端摺起來。試驗之後，結果發現並沒有飛得比較好，反而有點不穩。

我們又嘗試用**較硬較厚的紙**來作迴力鏢，投擲後發現**飛得較遠且又穩**。之後，我們又做了「十」字型和「Y」字型的迴力鏢，他們**飛行的軌跡也是橢圓形**的，但迴轉半徑較小，且距離較短。不知道是我們製作的不好還是甚麼其他原因，「十」字型和「Y」字型的迴力鏢並不如我們做的「V」字型迴力鏢飛得穩定；奇怪的是，當我們把他們的尾端摺起來後，竟發現飛得比較穩定了。這部分

與我們投擲尾端摺起的「V」字型迴力鏢是不同的。

最後，我們集合了所有製作出的迴力鏢，想看看以不同的角度投擲出--全部以45度角--看看結果如何(之前都是以15度角投擲)。結果發現普遍來講，「飛行時間」和「飛行距離」都較原先15度角投擲出來的短，而且也較不穩。「十」字型和「Y」字型的甚至會翻過來或亂飛。最後發現，厚紙做的「V」字型迴力鏢仍然是最穩定的。未來若有機會，我想觀察不同重量的迴力鏢之飛行結果。

註：我將製作各種不同類型迴力鏢的飛行比較觀察結果，記錄在以下第四大點--紀錄分享及研究心得中。

### 迴力鏢的實驗過程留影



## 2. 迴力鏢所運用的原理

**迴力鏢** (Boomerang)，又稱**迴飛棒**、**飛旋鏢**、**迴旋鏢**或**迴力棒**，一種曲線形狀的飛行工具，擲出後可以利用空氣動力學原理飛回來的打獵用具，曾作為一些地區土著的狩獵工具，其中澳大利亞原住民的最為著名。此外，在近幾年中，回力棒開始作為體育比賽的項目之一。回力棒繞著弧形軌道飛行，在不使用其他的工具的情況下，以最短的時間飛出最長的距離。

### 飛行原理— “牛頓運動定律的運用—白努利原理”

迴力鏢會飛回來的關鍵在於**它的形狀，以及迴轉運動**。

丟擲迴力鏢的一般方法就是：直向拿著迴力鏢(**但是我們用紙做的必需用投擲飛盤的方式**)，然後快速地丟擲出去；迴力鏢會一直直向迴轉，飛到中途時會側倒，然後再飛回起點位置。

迴轉中的迴力鏢會**因為風的阻力而產生揚力**(上揚的力量)；

這時，迴力鏢所承受的揚力，會使得迴力鏢前進方向由正面變成往下降的形式，使得上側鏢翼承受較強的揚力。然後，比下側鏢翼承受更強揚力的上側鏢翼就會產生強大的朝側邊的壓倒力道。

接著又產生了一股名為「**進動**」(precession)的力量，這個力量可以**讓迴轉的物體沿著迴轉軸方向轉動**。進動現象最常見的例子就是轉銅板。當我們將銅板立起轉動時，銅板速度會漸漸變慢；之後銅板會邊畫弧線邊倒下。這種現象就是進動。當速度變慢的銅板朝右傾倒時，迴轉軸就會朝右傾倒；但是，進動力為了修正向右傾斜的迴轉軸，就會對左側施力。結果，銅板就朝左畫弧線倒下。

當這個**進動力產生作用時，為了修正因為揚力而偏移的迴轉軸，迴力鏢就會畫弧線，飛回原來的起點位置**。

**對同一迴力鏢而言，若投擲離手前進速度加倍，則迴力鏢飛回時間減半，但仍循相同飛行路徑而回。**

至於迴旋直徑的大小，與迴力鏢的旋轉速度(嚴格來講不全然如此，會決定白努利原理的作用力，而轉彎所需的向心力就是它的分力)、前進速度無關，這意味著迴力鏢的路徑直徑已固定(除非我們變更其迴旋鏢的結構)一般而言，迴力鏢的飛行路徑與其轉動慣量成正比。此外如果兩翼產生的浮力越大，

則迴力鏢的飛行路徑會越小，因此，如果想要使迴力鏢的飛行路徑小一點(譬如在教室內操作)，則我們應該選擇質量較輕的材質製作迴旋鏢。反之，如果想使迴旋鏢有較大的飛行軌道，則兩翼產生的浮力不能太大，當然，也應讓阻力盡可能地減到最低。

這裡有另外一種通俗的比擬方法，在此也可做為上述原理的摘要整理。首先回憶兒時玩具”竹蜻蜓”，它由兩片像飛機機翼的竹片連接一根旋轉驅動用的細竹桿組成。操作時翼平行地面(即細桿與地面垂直)，使其正確旋轉則竹蜻蜓上升飛行。飛行中的阻力矩會造成轉動的減緩，當因旋轉產生的白努利原理的作用力不足以抵抗竹蜻蜓所受的地心引力時，竹蜻蜓就逐漸落下。其實拿走細竹桿的竹蜻蜓就變成了我們的迴力鏢，只不過現在我們令其轉軸不是全部朝上，這樣就能同時提供維持不落下的上浮力與轉彎時所需要的向心力。記得聽見怵目驚心的砂石車事件中，大家都會不約而同隨口而出，歸咎於砂石車重量大不容易停，其實這就是物體的慣性(質量)很大所造成的現象，當運動物體具有大動量，致使固定的阻力作用下，需要較長的時間才能減速至停止。同樣的推理可以用在迴力鏢上，如果期望迴力鏢飛行繞較大的直徑還能回到身邊，就需要維持一段較長時間的飛行。這時候如何讓迴力鏢具有更多的角動量成為關鍵的所在，當然在設計迴力鏢之初就得考慮讓它有很大的慣性，旋轉物體的慣量就是“轉動慣量”，轉動慣量不只和物體的慣性質量相關，而且對於質量的分布更敏感。

資料來源：維基百科；古代文明圖像大百科

### 3. 發揮創意，改造迴力鏢，將實驗結果與發現記錄下來

我用兩個「V」字型迴力鏢組合成一個「十」字型鏢，並另外用三張長條型紙板製作了一個「Y」字型的迴力鏢。以下為我的製作方式及實驗結果；另外我把所有製作的迴力鏢的實驗結果做了總比較表，記錄在以下第四大點--紀錄分享及研究心得中。

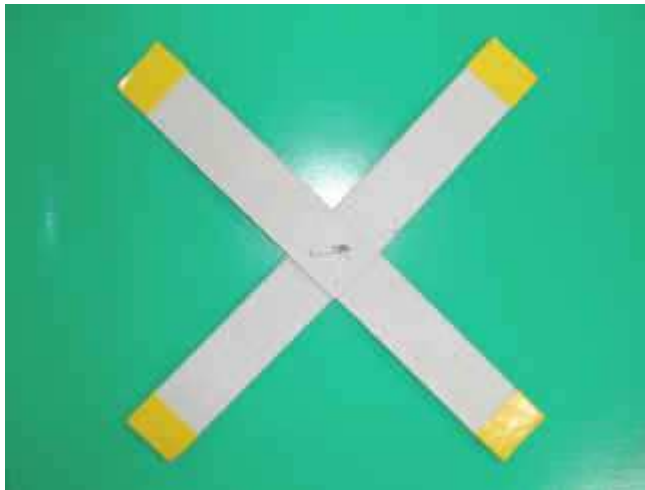
#### 「Y」字型迴力鏢製作

我先把厚紙板裁成長 14 公分，寬 3 公分的大小三張，再把裁好的長條形紙板排成夾角各為 120 度，將三張紙板寬的一端中央各剪約 1 公分缺口，交叉相箱後用釘書機釘牢，組合如下圖。



### 「十」字型迴力鏢製作

我做的「V」字型迴力鏢其實較接近 90 度的「L」字型，因此將兩個用訂書機訂起來則為一個「十」字型鏢。或是以四張一樣大的長條形紙板製作，結果如下圖。



### 實驗結果

我發現「十」字型和「Y」字型的迴力鏢，他們飛行的軌跡也是橢圓形的，但迴轉半徑較小，且距離較短。不知道是我們製作的不好還是甚麼其他原因，「十」字型和「Y」字型的迴力鏢並不如我們做的「V」字型迴力鏢飛得穩定；奇怪的是，當我們把他們的尾端摺起來後，竟發現飛得比較穩定了。這部分與我們投擲尾端摺起的「V」字型迴力鏢是不同的。

#### 4. 紀錄分享與研究心得

##### 觀察記錄

以下為我用兩種不同的角度投擲試驗，即分別以 15 度和 45 度，用大概同樣的力量投擲後的「飛行時間」、「飛行距離」、和「飛行軌跡」的觀察結果：

##### ➤ 飛行角度為 15 度時

	飛行時間	飛行距離	飛行軌跡
「V」型	4 秒	3 公尺	橢圓形，穩定，水平飛回
「V」型，折翼	3 秒	2 公尺	不穩定，水平飛回
「V」型，較厚紙	5 秒	4 公尺	長橢圓形，穩定，水平飛回
「Y」型	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定，水平飛回，迴轉半徑較小
「Y」型，折翼	4 秒	3 公尺	橢圓形，穩定，水平飛回，迴轉半徑較小
「十」型	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定，水平飛回，迴轉半徑較小
「十」型，折翼	4 秒	3 公尺	橢圓形，穩定，水平飛回，迴轉半徑較小

##### ➤ 飛行角度為 45 度時

	飛行時間	飛行距離	飛行軌跡
「V」型	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定
「V」型，折翼	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定
「V」型，較厚紙	4 秒	3 公尺	橢圓形，較其他 45 度射出的穩定，
「Y」型	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定，迴轉半徑較小
「Y」型，折翼	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定，迴轉半徑較小
「十」型	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定，迴轉半徑較小
「十」型，折翼	3 秒	2 公尺	橢圓形，較不穩定

##### 本次實驗研究心得

- 迴力鏢飛行軌跡為橢圓形，雖然往斜上方射出，但都是水平飛回，並大致上回到投擲者手裡。
- 15 度投擲比 45 度投擲飛得較遠、較穩。

- 以製作材料為「紙」做來說，用較厚較硬的紙製成的迴力鏢，飛得相對較穩、較遠。
- 投擲「V」型鏢時，左右撇子的拿法相反，或是需製作不同的鏢。
- 「十」字型和「Y」字型的迴力鏢迴轉半徑較小，相較「V」型鏢的距離較短。
- 投擲紙迴力鏢的力道不能太輕，要一定力道才能讓鏢射出後折回。不然力道太小的話，鏢射出後非一陣就落下。

#### 未來我想進一步研究實驗的地方

- 即使是用紙類作的迴力鏢，可以試驗若用不同的材質、不同厚度的紙，何者飛的最好最穩？
- 不同長度和不同重量的迴力鏢對飛行有何影響？甚麼樣的長度配合上甚麼樣的重量是最好的組合—即可飛得最好最穩。
- 「V」型迴力鏢，其兩翼張開角度多少，能飛得最好？
- 如何調整可使迴力鏢向上、向下飛行？
- 如何改良使旋轉速度變快？如何改良使迴轉半徑變大？
- 試著瞄準一目標物，看看是否可以擊中。
- 我還想嘗試做其他不同形狀的迴力鏢來試驗，如「米」字型、「卍」字型，並且想買外面木頭或塑膠做的迴力棒，試看看有無其他新奇的發現。