

空中迴旋

高愛迪斯評語：

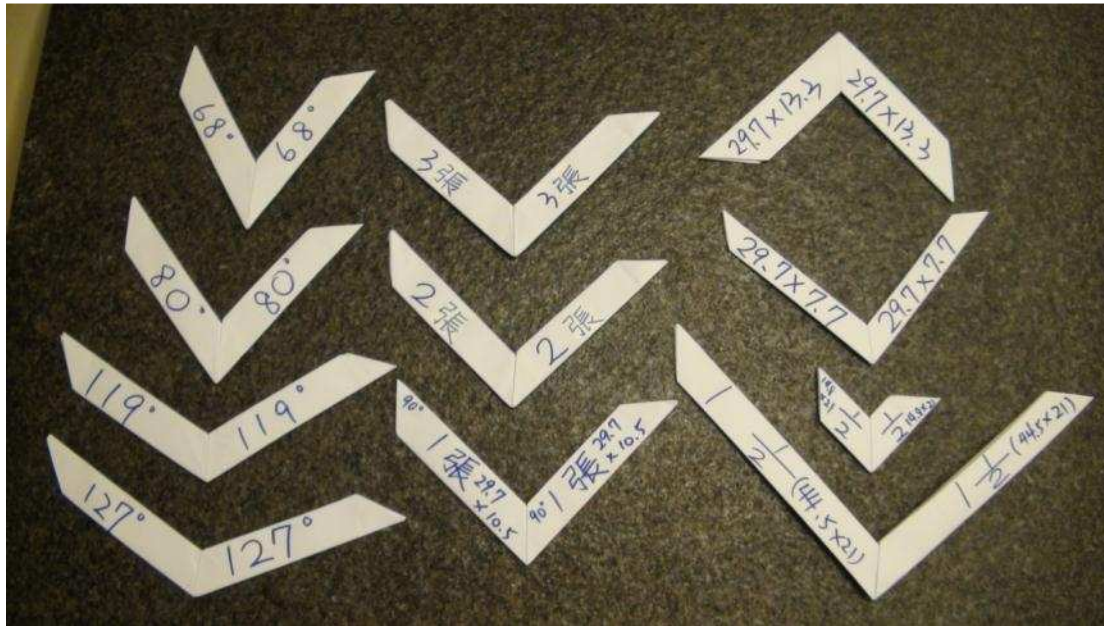
努力探究原理及思考，實驗過程中能充分掌握迴力鏢的原理重點，並能將參考資料來源標示清楚；自畫飛行路線、照片圖示說明，記錄確實、將數據量化做比較，形成更深入論述，是一份質量均優的研究報告。

一. 製作心得與觀察結果：

製作心得：我覺得迴力鏢的摺法有一部分比較難，其他都很簡單。因為有影片可以看，比較清楚，所以我很快就學會了。摺兩張、三張一起比摺一張還要難，因為它們比較厚，越厚越難摺。還有，夾角變化也很難，開始時我一直無法成功，摺到紙都爛了，還好媽媽提醒，我終於找到變換夾角的方法。真好玩！

觀察結果：我想紙的厚度、長度、寬度、材質、迴力鏢夾角、出手的角度和力量、風速和技巧都會影響迴力鏢的飛行。出手力量，我無法控制，也沒有儀器測量，所以無法比較。風速，這次做的迴力鏢材質是紙，老師要我們在室內無風的情況下投擲，所以不予探討。至於投擲的技巧，我的技巧不好，我都接不到。如果實驗結果有誤差，出手力量以及技巧會是影響因素。

我的實驗結果如下：這是我摺好的迴力鏢

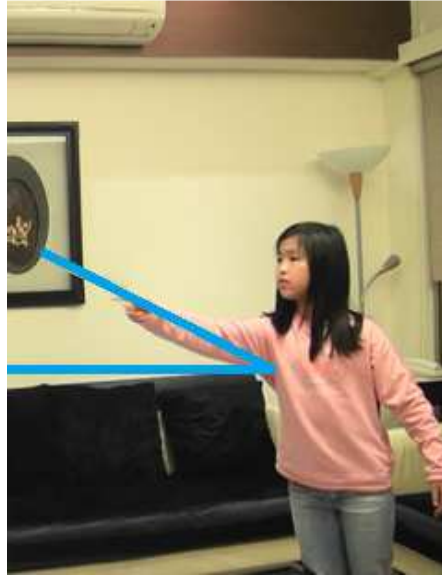


我不會畫立體版的飛行路徑，很可惜畫不出高度的變化。

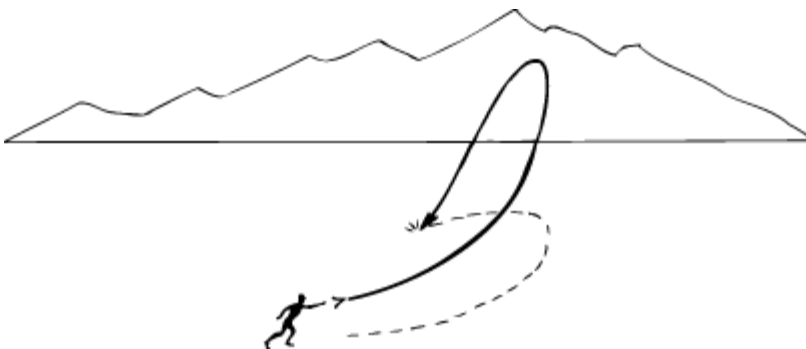
1. 出手角度的變化:

出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
15°	238cm	102cm	1.17 秒	逆時針	
45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
70°	50cm	返回原點	1.78 秒	逆時針	

我所量的出手角度如下圖中的夾角:



- (1) 15°: 飛出後只飛回一小段就落地。
- (2) 45°: 飛出後轉一圈飛回來，但我沒接住。這個迴力鏢是以下各組變化的對照組，它的尺寸如下: A4 單張影印紙、長度 29.7cm、寬度 10.5cm、夾角 90°和出手角度 45°。每組結果都會列上比較，並且在比較表中用紅色表示。
- (3) 70°: 飛得很高，速度較慢，有點像降落傘，降落在我的後面。
- (4) 太小或太大的出手角度都不能讓迴力鏢飛得很好。網站上建議不要超過 45°，這樣迴力鏢會飛得太高而且向後滑落到地面。
- (5) 千萬不要側投(sidearm)，會讓迴力鏢往上飛很高而落下。



This is what happens when you use too much layover. Too close to a sidearm throw.
(參考資料:<http://www.coloradoboomerangs.com/why.html>)

2. 厚度的變化: 以一張、二張和三張紙做成的迴力鏢來比較，除了厚度不同，重量也不一樣!

厚度	出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
一張紙	45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
二張紙	45°	333cm	109.5cm	1.34 秒	逆時針	
三張紙	43°	271cm	49cm	1.23 秒	逆時針	




(1) 二張紙: 這個迴力鏢，比一張紙的較厚又重，飛得比一張紙的還較

遠，但是重力的作用，使得它還沒飛回就降落了。

(2) 三張紙: 比二張紙做的更厚重，飛得沒二張紙的遠。

(3) 所以太厚或太重的紙做的迴力鏢飛不起來。

3. 長度變化 (固定寬度為 10.5cm):

長度	出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
44.5cm	45°	136cm	64cm	1.22 秒	逆時針	
29.7cm	45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
14.8cm	40°	323cm	沒有飛回	0.8 秒	沒有返回	

(1) 長度 44.5cm: 二翼很長，一出手飛高馬上就翻飛下來。有自轉，

但只轉了 2-3 圈就掉下來了。

(2) 長度 14.8cm: 好像在發射飛鏢，速度很快。一邊自轉，一邊呈拋物線掉落。

(3) 太長和太短的迴力鏢沒辦法像陀螺儀飛回來。

4. 寬度變化 (固定長度為 29.7cm):

寬度	出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
7.7cm	45°	182cm	返回原點	1.38 秒	逆時針	
10.5cm	45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
13.3cm	45°	216cm	98cm	1.13 秒	逆時針	

(1) 寬度 7.7cm: 一下子飛高，掉下來回到原點。

(2) 寬度 13.3cm: 飛高後斜的飛出去降落，如下圖。



(3) 太寬的迴力鏢會在達最高點後斜斜的掉下來。

5. 夾角變化:

夾角	出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
----	------	------	------	------	------	------

68°	40°	265cm	95cm	1.22 秒	逆時針	
80°	38°	282cm	142cm	1.76 秒	逆時針	
90°	45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
119°	45°	177.5cm	返回原點	1.33 秒	逆時針	
127°	45°	299cm	沒有飛回	1.55 秒	逆時針	

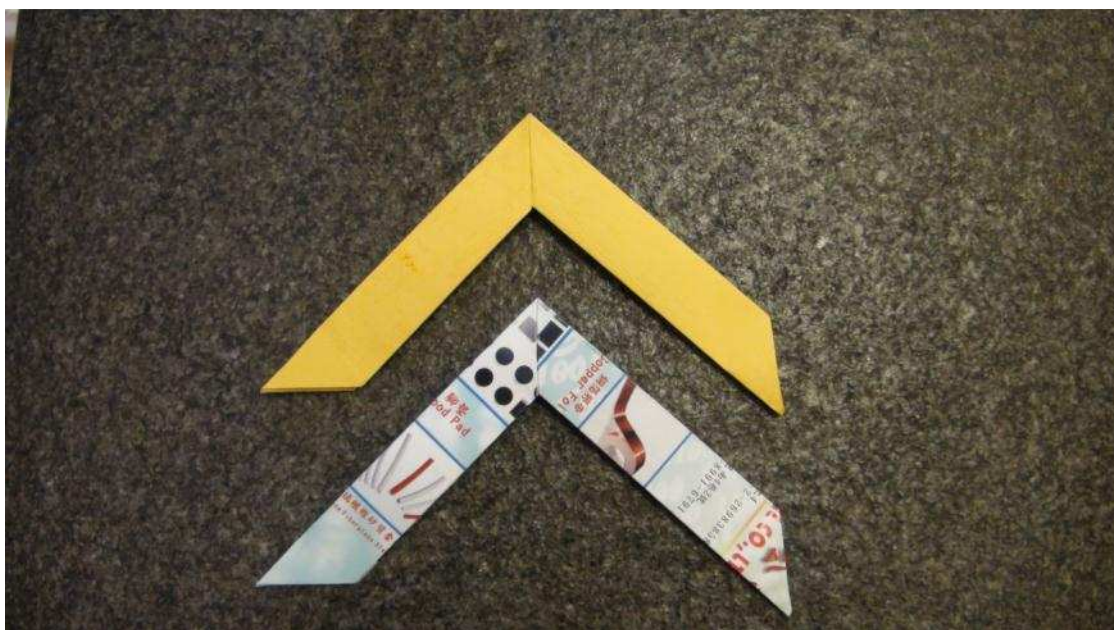
(1) 68°和 80°: 都是沒有飛回來，80°飛得比 68°遠。




(2) 90°和 119°: 很好，都可以飛回來。

(3) 127°: 飛得很慢，而且不會轉回，飛高後就掉下來。

(4) 夾角太大或太小的迴力鏢沒辦法飛回來。

6. 材質變化: 用 A4 雲彩紙摺和廣告紙做迴力鏢



紙張材質	出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
A4 影印紙	45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
A4 雲彩紙	40°	290 cm	63cm	1.66 秒	逆時針	
A4 廣告紙	30°	322cm	122cm	1.61 秒	逆時針	

- (1) 雲彩紙做的迴力鏢不會飛回來，它比影印紙厚重，表面有花紋。
- (2) 廣告紙紙質較厚、較硬，表面光滑，飛行速度比影印紙和雲彩紙還快。
- (3) 不同材質的迴力鏢即使尺寸相同，結果也不同。並不是任何材質做的迴力鏢都可以飛回來。

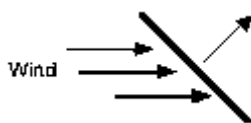
結論：由以上測試的結果，發現以 1/2 單張 A4 影印紙、長度 29.7cm、寬度 10.5cm、夾角 90° 做出來的迴力鏢最為理想，而且出手角度 45°。各種迴力鏢都會自轉，而且是以逆時針方向飛回，原理後面會說。

二. 迴力鏢運用的原理：

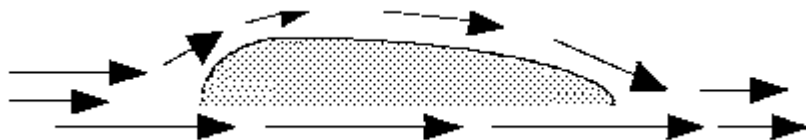
看了很多文章，迴力鏢的原理每個人解釋不一樣，我覺得只是說法不同。有的說是：力矩、角動量、白努力定律和向心力；有的說是流體力學、力學平衡、圓周運動和陀螺進動現象。

我參考這些網站後，得出以下的結果：不論是く形、三翼形、十字形或多翼形的迴力鏢，其飛行的主要力量為升力 - 推力 - 拖曳力 (Main forces of flight: LIFT - THRUST - DRAG)。這些力的產生原理是牛頓的運動定律 (Newton's Law of Motion)、白努力定律 (Bernoulli's Law)、陀螺儀原理 (陀螺定軸 Gyroscopic Stability 和陀螺旋進 Gyroscopic Precession)、拖曳力 (Drag) 和重力 (Gravity)。

1. 牛頓第一運動定律：擲出迴力鏢，給了它一個推力，使得迴力鏢飛出，若是沒有迴旋的力，則迴力鏢不會返回。
2. 牛頓第二運動定律：擲出的推力，會產生一個大小與推力成正比的加速度，使得迴力鏢往前快速飛出。擲出的力愈大，飛出的速度愈快。
3. 牛頓第三運動定律：迴力鏢前進時，給了空氣一個力；空氣也會給傾斜的平面一個反作用力，使得翼面產生向上的升力。



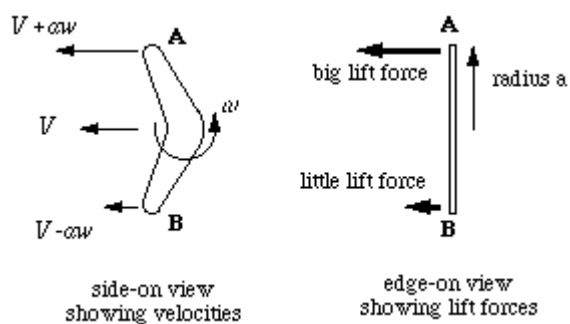
4. 白努力定律：迴力鏢飛出因翼上下的空氣流速不同，所受的壓力不同；上面的空氣流速較快，壓力較小，所以迴力鏢往上飛。



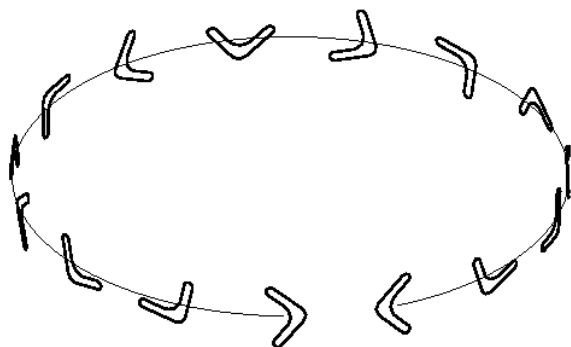
5. 陀螺儀原理：陀螺儀旋轉時有二個特性 - 陀螺定軸性 (gyroscopic stability) 和陀螺旋進 (gyroscopic precession)，這兩種特性都是建立在角動量守恆的原則下。

陀螺儀高速旋轉，產生慣性，使得旋轉軸指向一個固定方向，這就是陀螺定軸性。

陀螺旋進說明如下圖：



陀螺的自轉軸為 a ，迴力鏢的中心點前進的速度為 V ，自轉速度為 w ，則 A 點的速度為 $V + aw$ ，而 B 點的速度為 $V - aw$ ，A 端速度較 B 端為快，所以 A 點會有較大的向左推力，迴力鏢會一邊自轉前進，一邊向左偏轉，而依逆時針飛回。其飛行路徑如下圖：



陀螺儀原理就是讓迴力鏢自轉且飛回來。

6. 拖曳力: 物體通過氣流，氣體與物體接觸面有黏滯力或形成擾流，均會形成向後的拖曳力。拖曳力使得迴力鏢的升力逐漸減少，飛行變慢。

7. 重力: 重力吸引迴力鏢回到地面，讓它降落。

資料來源: 1. <http://www.coloradoboomerangs.com/why.html>
2. <http://plus.maths.org/content/os/issue7/features/boomerangs/index>
3. <http://www.eweek.org/media/PDFs/middle/Here%20It%20Comes%20Again.pdf>
4. <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012032923174752.pdf>
5. 第一屆中學科學資優教學設計競賽: 迴力鏢的物理原理與實作調整

三. 改造迴力鏢:

1. 十字形的 Super Boomerang: 老師提供的製作網站上有一個連結，是做一個 super boomerang，這是一個十字形的迴力鏢，我也如法炮製，用二個〈形迴力鏢以膠帶黏成十字形。



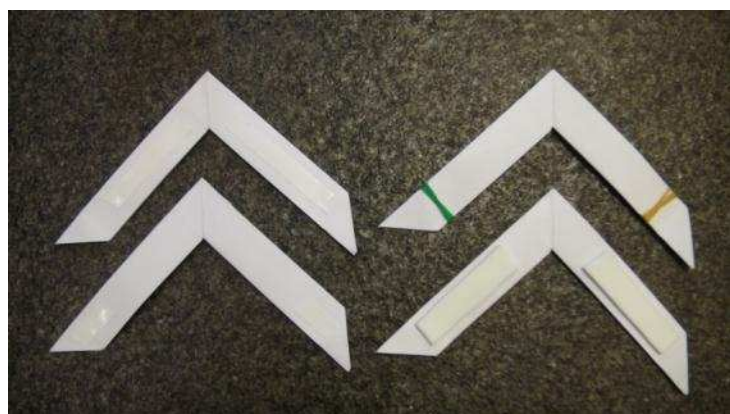
將十字形迴力鏢丟出後，迴力鏢從出手後立即朝著「順時針方向」，很快的繞成一個小圓圈降落，約 0.94 秒，不會飛很高。由下面的連續照片中可以看出，迴力鏢的自轉以及飛行途徑，好像月亮一邊自轉，一邊繞地球公轉。雖然我接不到飛回來的迴力鏢，但是很好玩。





Video: <http://youtu.be/aHa9rwBDtak>

2. 改造雙翼: 看網路上販賣的<形迴力鏢, 翼的部份做得像飛機機翼一樣, 上面較厚, 我也加以改裝, 試試看有什麼變化?



- (1) 在雙翼尾端貼雙面膠
- (2) 在雙翼貼長長的雙面膠
- (3) 在雙翼尾端加上橡皮筋
- (4) 在雙翼貼長長的泡棉膠

結果如下:

改裝	出手角度	去程距離	回程距離	飛行時間	飛行方向	飛行路徑
未改裝	45°	176.5cm	返回原點	1.16 秒	逆時針	
雙翼尾端貼雙面膠	45°	211cm	返回原點	1.39 秒	逆時針	
雙翼貼長長雙面膠	45°	140cm	返回原點	1.17 秒	逆時針	

雙翼尾端加上橡皮筋	30°	254cm	157cm	1.43 秒	逆時針	
雙翼貼長長泡棉膠	30°	279cm	返回原點	1.75 秒	逆時針	

我的各種迴力鏢試飛影片，請點閱以下超連結網址觀看：

- (1) 在雙翼尾端貼雙面膠: <http://youtu.be/ROxUj5kg0VA>
- (2) 在雙翼貼長長的雙面膠: <http://youtu.be/h5oH4ECDmL0>
- (3) 在雙翼尾端加上橡皮筋: <http://youtu.be/uGifL8dPl6w>
- (4) 在雙翼貼長長的泡棉膠: <http://youtu.be/L-0XS0a-L6o>

我覺得改造後的迴力鏢效果很不錯，可以飛得很漂亮，飛和轉的速度快一些，而且飛行軌跡很好。如果我的技巧好一點，應該都可以接住。尤其是貼泡棉膠，飛得又快又遠。雖然加上橡皮筋的飛不回來，但飛行的軌跡很好。

四. 研究心得:

迴力鏢源自於澳洲原住民，他們用來打獵。現在大多用於娛樂性質，而且材質、形狀和大小琳琅滿目。這次的實驗是以紙摺成<形，結果發現，這種迴力鏢最理想的作法，以 1/2 單張 A4 影印紙 (長:29.7cm，寬:10.5cm)，做成夾角 90°，出手角度 45°。但是這個結論是否適用於其他的迴力鏢呢？有一份資料中提到，典型的迴力鏢長約 25~75 公分，兩翼夾角約 80°~140°，質量可達 300 公克。(參考資料: <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/03/2006033012113538.pdf>) 不

論是那一種迴力鏢都是符合我們之前所討論的原理的。

在家中玩迴力鏢，不能太用力，一旦飛太高或太遠，會撞到東西，所以有些迴力鏢飛得很漂亮，但是沒能完全飛回來，說不定我多用一些力，就可以喔！有空時，我到地下室去試試看。

迴力鏢是石器時代和太空科技時代的完美融合，很簡單的構造，運用了這麼複雜的理論，真是「人不可貌相」，不能小看它！我覺得迴力鏢真有趣又好玩。媽媽告訴我古龍小說中，武林排名第二把交椅的李尋歡，他的小李飛刀，例無虛發。飛刀射出後，傷了人還可以飛回來。我想..小李飛刀應該也是一種迴力鏢吧！