

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

☒國中組 ☐普高組 ☐技高組 成果報告格式

題目名稱：「去去就回！」迴力鏢的飛行密碼

一、摘要

這個研究探討迴旋鏢為何能飛出去又回來。我們發現，迴旋鏢回飛的關鍵在於空氣動力學（類似飛機翅膀的升力）、旋轉力矩與陀螺效應三者共同作用。我們實驗使用不同材質（紙板、塑膠、木頭）和形狀（兩翼、三翼、四翼）的迴旋鏢，並拍攝分析飛行路徑，結果顯示其飛行軌跡為複雜的三維曲線，受到旋轉與升力不均勻的影響。此外，迴旋鏢的形狀、重量與投擲角度皆會影響表現。兩翼迴旋鏢飛行距離最遠但繞圈較大，多翼則易於返回。較重的穩定但需較大力量，輕的易受風影響。翼面設計與攻角調整也很重要，才能飛得穩定。我們也利用 Arduino 感測器記錄飛行時所受的力量變化，讓實驗更即時有趣，有助於了解迴旋鏢設計，提升科學學習效果。

二、探究題目與動機

我們研究的題目是「去去就回！」迴力鏢的飛行密碼，想了解到底是哪些因素影響了它的飛行方式。大家應該都有玩過或看過迴旋鏢吧？丟出去的時候，它竟然會自己繞一圈又飛回來，真的很神奇！



迴旋鏢是一種富含趣味性與科學原理的物理實驗工具，飛行時展示的迴旋特性融合了力學與流體動力學等物理原理。我們在文獻中接觸到迴旋鏢的設計與製作方法，發現其製作材料簡單易得，操作性強，且具有很高的實驗與觀察價值。透過遊戲與實驗的過程，我們對迴旋鏢回旋至投擲者手中的現象產生濃厚的興趣。

三、探究目的與假設

一、目的

- 1、蒐集各種不同類型的迴旋鏢，並嘗試以簡單可操作的方式設計並製作各種迴旋鏢。
- 2、探討迴旋鏢回旋的物理機制。
- 3、分析影響迴旋鏢運動的因素，包括材質、重量、形狀與拋擲速度、轉速與角度。
- 4、設計並測試不同類型的迴旋鏢，驗證相關原理。

二、假設

我們假設，迴力鏢之所以能回來，是因為它在飛行時一邊旋轉一邊產生升力，而這個升力的產生與迴力鏢的翼面形狀和攻角有很大的關係。另外，我們也猜測較重的迴力鏢會

飛得比較遠且比較穩定，而較輕的則比較容易受到風的影響。此外，丟出時給迴力鏢較快的旋轉速度和適當的傾斜角度，應該會讓迴力鏢更容易回到投擲者手中。

透過這次的探究，我們希望能真正理解迴力鏢背後的科學秘密，並希望能製作出飛得更好、更穩定的迴力鏢。

四、探究方法與驗證步驟

我們的研究是想了解迴力鏢為什麼可以拋出去又飛回來？於是我們先蒐集了不同材質和形狀的迴力鏢，有木頭製的、塑膠製的，甚至還用厚紙板自己製作。我們還使用 3D 列印技術，製作出不同大小的迴力鏢來比較尺寸對飛行的影響。



一、研究重點：

本研究主要在探討迴力鏢能夠回旋的物理原理，並分析影響其運動的材質、形狀、重量、攻角及環境因素（如風速）等因素。



圖 1、不同種類以及不同尺寸迴力鏢

二、研究方法：

1. 蒐集並製作各種迴力鏢，包括木製、3D 列印及紙製迴力鏢。
2. 設計不同材質（輕木、紙板、塑膠）、形狀（兩翼 V 型、三翼、四翼）與尺寸的迴力鏢。
3. 使用 Tracker 軟體，結合多角度（俯視、正視、側視）影片拍攝，分析飛行軌跡與運動特性。
4. 利用可調節風速的風扇系統與高精度力感測器，透過 Arduino 主控板即時監測並記錄迴力鏢在不同風速下的受力情形。
5. 製作紙迴力鏢：

我們上網找了一些影片，嘗試了一些不同的紙迴力鏢製作方法，最後我們發現，以下圖的 V 形與三翼迴力鏢製作較為簡單，結構也相對比較單純，方便我們後續作一些不同變因的探究。

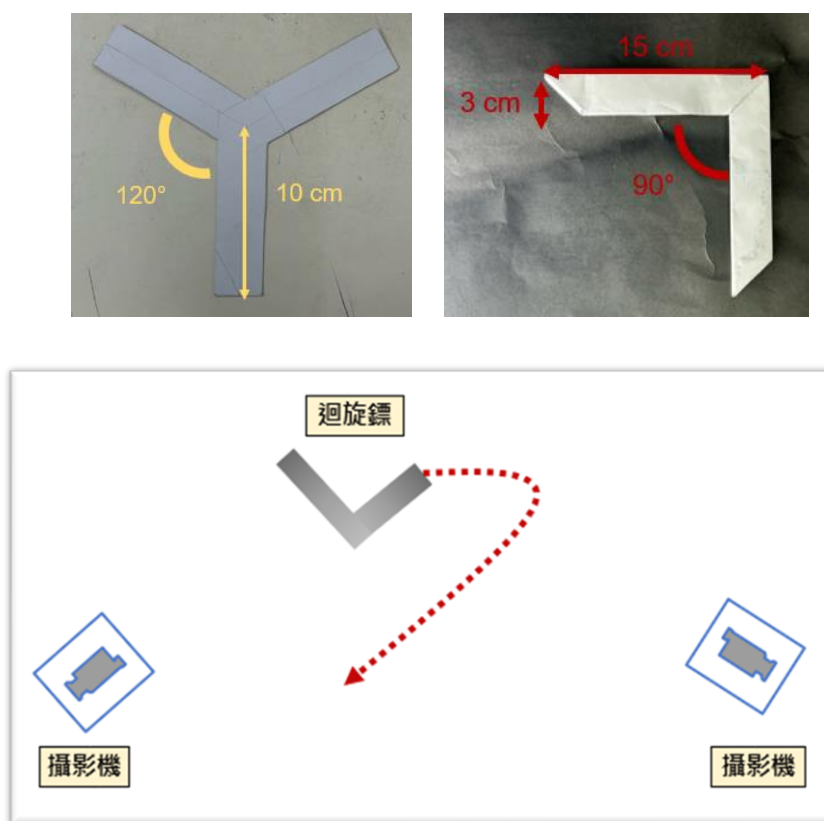


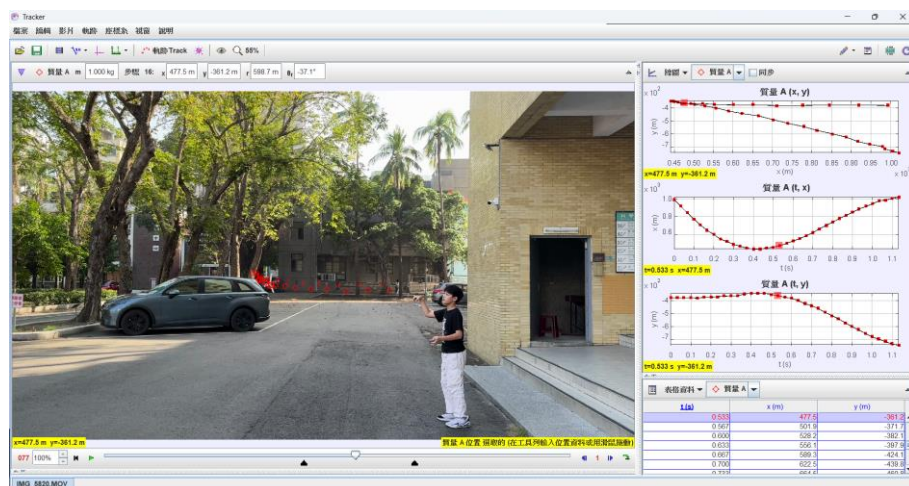
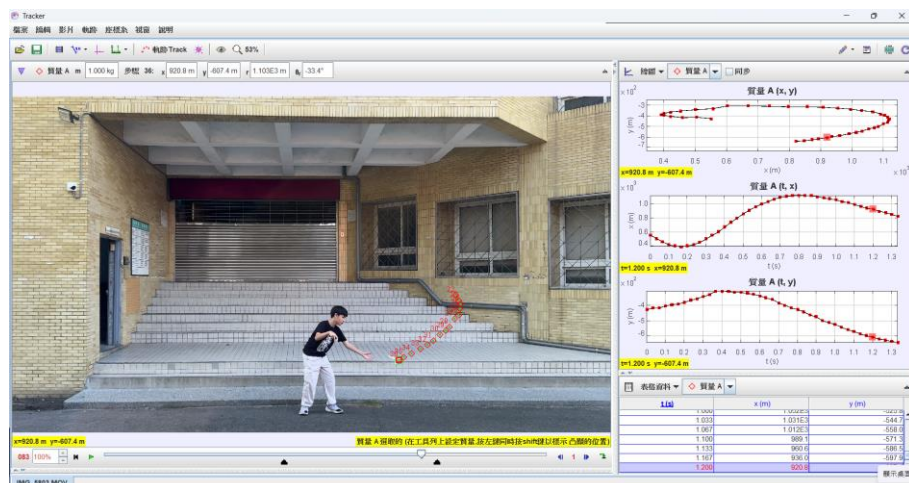
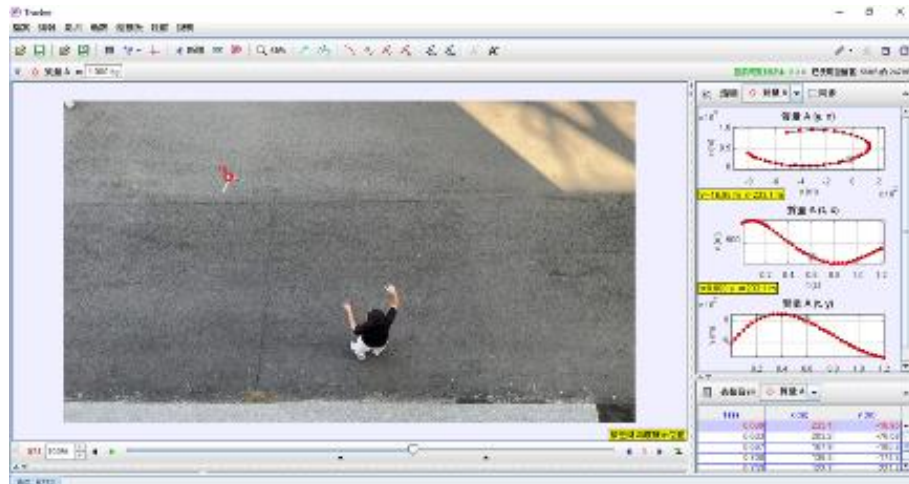
圖 2 使用 Tracker 軟體，結合多角度（俯視、正視、側視）影片拍攝

三、實驗與數據量測：

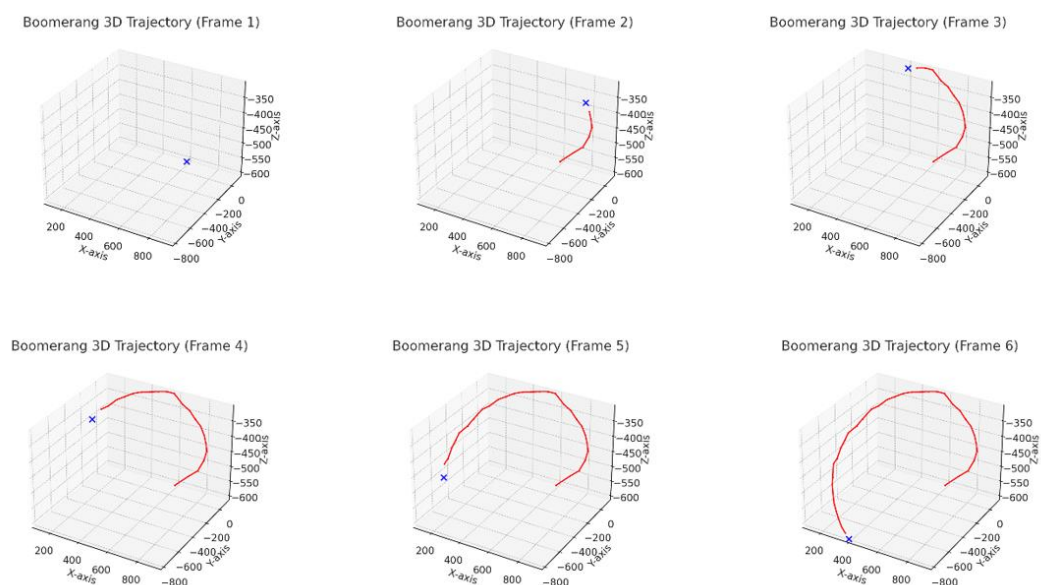
1. 我們透過 Thingiverse 平台搜尋迴旋鏢模型，發現 V 型居多，另有一些三翼與少量四翼迴旋鏢。由於市售品規格固定，我們決定用 3D 列印自行調整尺寸，以便研究尺寸對飛行的影響。
2. 初步測試三種相同尺寸的迴旋鏢，多次練習調整投擲角度與轉速後，成功讓迴旋鏢更接近原點。發現 V 型飛行距離最遠、繞行半徑最大，四翼最小，三翼居中。
3. 另外，我們測試同型不同尺寸的迴旋鏢，發現尺寸越大，飛行距離與迴轉半徑也越

大。由於木製與 3D 列印迴旋鏢迴轉半徑較大（5-10 公尺以上），因此選擇在操場測試。

4. 但測試時發現迴旋鏢軌跡複雜，不易拍攝與記錄數據。後來發現紙製迴旋鏢製作簡單、飛行效果佳，且迴轉半徑小（約 1-2 公尺），更容易進行拍攝分析。
5. 因此我們**使用厚紙板自製迴旋鏢**，以俯視及側面視角拍攝飛行影片，並利用 Tracker 進行軌跡與運動數據分析：



6. 根據這三張 Tracker 分析，這些影片來自三個不同的拍攝角度—俯視(上視)、正視(前視)以及側視(側面)，分別記錄了迴力鏢在空間三維方向的運動情形。將這三個角度的座標資料整合，可對迴旋鏢在整段飛行過程中的位置、速度、飛行時間與軌跡形狀有較全面的了解。
7. 近期因為 AI 的神速發展，老師教我們嘗試使用 AI 分析數據，我們意外地發現 ChatGPT 4o 居然可以協助我們把三種視角的軌跡與時間關係數據彙整製作出 3D 的軌跡隨時間的動畫，我們依相同的時間間隔截圖如下：



8.綜合分析：

飛行軌跡呈三維曲線，從三個視角疊加後可知，迴力鏢的實際路徑是一條在空間中彎曲的軌跡，非單純的平面拋物線。其弧形主要來自「自旋+升力不對稱」產生的橫向力矩，使迴力鏢繞圈飛行。高度變化則與投擲時的仰角、迴力鏢翼面攻角以及重力平衡情況相關；若升力足夠抵抗重力，迴力鏢可在空中滯留更久並繞較大半徑飛行。

9.力學分析：

我們查到的資料顯示-迴旋鏢在飛行過程中經歷了複雜的力學作用，包括外力和平動、轉動的相互影響。首先考慮作用於迴旋鏢的主要外力：「升力」（來自機翼的空氣動力）、「重力」（迴旋鏢自身的重量），以及空氣阻力和迴旋鏢自旋產生的「力矩」等。根據牛頓第二定律，迴旋鏢質心的運動滿足

$$F_{\text{合}} = ma$$

其中 m 為迴旋鏢質量， $F_{\text{合}}$ 是合外力，包括升力和重力（此處暫不考慮空氣阻力）。當迴旋鏢以速度 V 沿直線前進且受到水平方向的升力 F 時，這個升力扮演向心力使其做圓周運動，可寫成向心力關係：

$$F = \frac{mV^2}{R}$$

其中 R 為迴旋軌跡的半徑。因此，若迴旋鏢受到持續指向圓心的水平力，其質心將沿半徑為 R 的圓軌道運動。

10.考量到前面的研究只能獲得迴力鏢的飛行過程與運動軌跡，我們希望能進一步理解迴力鏢飛行時旋轉與運動過程受到的作用力，於是嘗試設計並製作 Arduino 自動控制與量測系統，近日終於排除許多困難與問題，製作出可以運作的 Arduino 裝置，後續會進行更多實驗並擷取數據，進一步和理論計算比較驗證，希望能更深入理解迴力鏢的飛行原理。

五、結論與生活應用

一、研究發現

現迴旋鏢能返回的主要機制為升力、旋轉力矩與陀螺進動效應。拋出時，翼面如旋轉機翼般產生升力，提供向心力；旋轉時的升力不均（前進側升力較大）形成力矩，導致陀螺進動，使迴旋鏢逐漸改變方向並返回。此外，自旋也提供穩定性。

影響飛行表現的因素包括：

- 形狀：影響升力、阻力及旋轉慣性，兩翼迴旋鏢飛行距離較遠但迴轉半徑較大；多翼較易返回。
- 重量：較重迴旋鏢慣性大、穩定，但需更大升力；過輕則易受風影響。狩獵型迴旋鏢重而直飛，運動型適中易返回。
- 攻角：適當攻角產生足夠升力與穩定性；過大則阻力增加、迴轉半徑縮小甚至失速；過小則升力不足。
- 投擲方式：足夠的自旋速率與稍微傾斜的投擲姿態，是成功返回的關鍵；投擲方向與風向也有影響。

二、影片分析

透過 TRACKER 軟體從俯視、正視與側視影片分析，發現迴旋鏢在短短數秒內展現明顯的三維彎曲軌跡（水平方向繞圈、垂直方向升降），符合理論預測的動力學特徵。提高影片幀率、設置參考尺或進行多視角拍攝可精確量化飛行軌跡，提升數據準確性。透過分析，進一步證明升力、旋轉力矩與陀螺進動對迴旋鏢飛行的重要性，也為未來研究（如理論模擬與建模）提供參考依據。

參考資料

1. 嘉義縣第 53 屆國民中小學科學展覽會（2012）。迴力鏢支翼長度與重量對飛行的影響。
2. 郭文歆、劉明璿、蔡沛霖（2021）。迴力鏢的路徑和力學分析之研究。附中數資第 39 屆成果發表會。
3. 林俊廷、林俊宏、林俊賢（2014）。舞動「迴」旋——迴力鏢飛行能力與迴力效果之探究。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會。
4. 鄭景文（2013）。迴力鏢的差異。臺灣網路科教館。
5. 周祥順（2013）。一來一回：迴力鏢的原理。科學發展，第 474 期，68-69。
6. 屏東縣林邊國民小學（2023）。迴旋鏢的飛行研究：材質與幾何形狀對飛行性能的影響。
7. 臺北縣蘆洲國民中學（2003）。四臂式迴旋鏢升力與阻力之風洞實驗研究。