

2025仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱： Resistor Rebels

作品名稱： 科學之翼-仰望的迴力

科學概念1： 空氣動力學：

迴力鏢的每個翼片形狀類似飛機的機翼，一側平坦，另一側稍微凸起。當迴力鏢旋轉並向前飛行時，翼片上下方的空氣流速不同。根據伯努利原理，氣流速度較快的一側壓力較低，速度較慢的一側壓力較高，這種壓力差產生了升力。這個升力使迴力鏢在空中保持穩定飛行。

科學概念2： 旋轉與穩定性：

當迴力鏢被投擲時，它會繞著自身軸高速旋轉。這種旋轉使迴力鏢在飛行中保持穩定，類似於旋轉的陀螺。同時，旋轉也使得迴力鏢在飛行過程中受到的空氣阻力和升力產生變化，導致其飛行路徑呈曲線，最終返回投擲者手中。

決賽成果報告書內文

1. 發想動機：

我們的發想源自於對迴力鏢這種古老而神奇的飛行器的好奇心。迴力鏢自古以來被用作狩獵工具，其能夠飛出後自行返回的特性引起了我們的興趣。我們希望透過製作紙製迴力鏢，探究其飛行原理，並結合現代科技，利用感測器和控制板（Arduino）來分析其飛行數據。希望能更深入了解物理學中的空氣動力學和旋轉運動等概念，提升我們的動手實作能力和創意思維，符合仰望盃鼓勵同學自主探究與實作的精神。



圖1、蒐集並製作各種迴力鏢

2. 作品創意性：

主題創新與獨特性：迴力鏢回歸現象在中小學科學展中並不常見，使用 arduino 裝置研究迴力鏢的受力情形更是全新的嘗試。

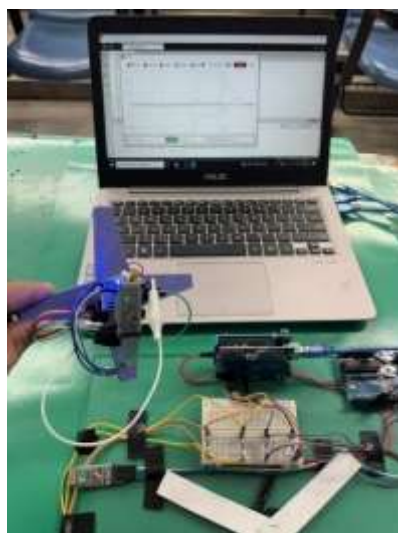
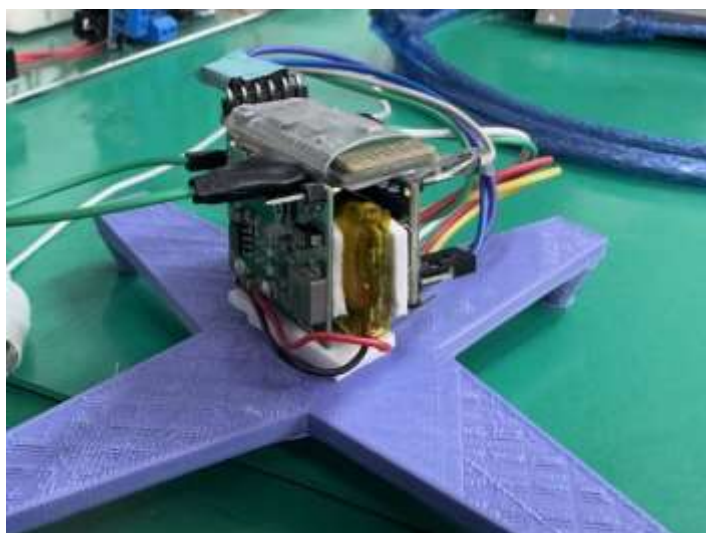
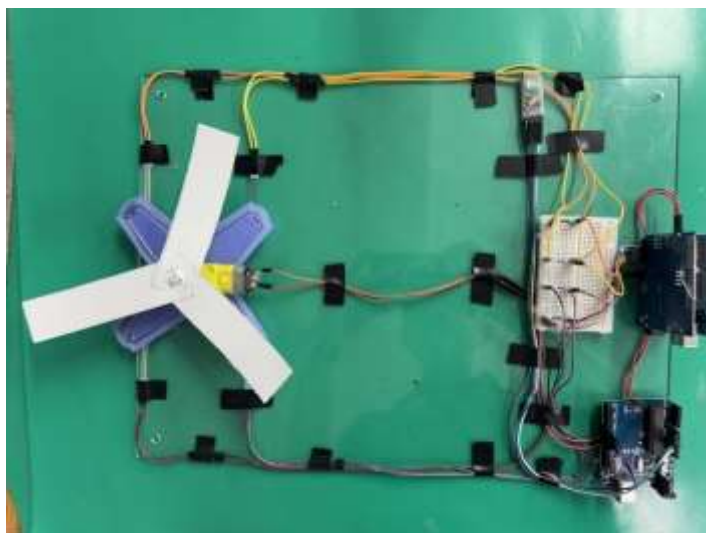
多元技術應用：採用3D 列印技術製作多樣模型進行探究，運用 Tracker 分析運動，同時應用 Arduino 與感測器分析迴力鏢的轉速與風速作用下的受力情形。

硬體與電路設計：Arduino 系統架構製作以及風扇控制與各種 sensor 進行量測的實現，展示了硬體設計的創意與實用性。

科學探究與實作價值：通過科學方法搭配科技實作能力探索迴力鏢運動與受力特性，兼具教育意義與應用潛力。

3. 硬體及電路架構圖：





三軸陀螺儀+三軸加速計 code：

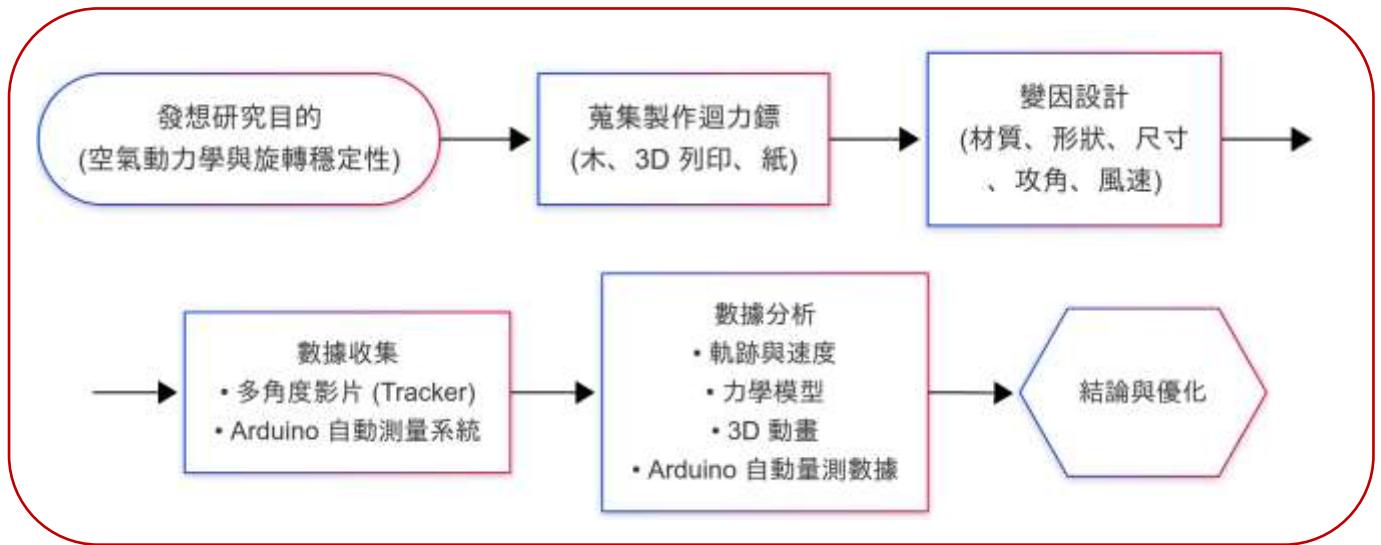
```

1 #include "I2Cdev.h"
2 #include "MPU6050.h" // 三軸陀螺儀以及三軸加速計
3 #include "HMC5883L.h" // 地球磁場感應
4 #include "Wire.h" // 電力線尋跡
5
6 #include <SoftwareSerial.h>
7
8 SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX = 0X, TX = 1X
9
10 static const char LED = 0;
11 static const float ACCEL_SENS = 16384.0; // Accel Sensit
12 static const float GYRO_SENS = 131.0; // gyro Sensiti
13
14 // Magnetometer class default I2C address is 0x48
15 // specific I2C addresses may be passed as a parameter &
16 // this device only supports one I2C address (0x48)
17 HMC5883L mag;
18 int16_t mx, my, mz;
19
20 // accel/gyro class default I2C address is 0x68 (can be
21 // specific I2C addresses may be passed as a parameter &
22 MPU6050 accelgyro;
23
24 int16_t ax, ay, az;
25 int16_t gx, gy, gz;
26
27 // barometer class default I2C address is 0x76
28 // specific I2C addresses may be passed as a parameter &
29 // (though the BMP085 supports only one address)
30 BMP085 barometer;
31
32 float temperature;
33 float pressure;
34 int32_t lastMicros;
35
36 void setup()
37 {
38     boolean state = HIGH;
39     unsigned int count = 0;
40
41     pinMode(LED, OUTPUT);
42
43     Serial.begin(9600);
44     mySerial.begin(9600);
45     while (!Serial && (count < 30))
46     {
47         delay(200); // wait for serial port to connect with
48         digitalWrite(LED, state);
49         state = !state;
50         count++;
51     }
52     digitalWrite(LED, HIGH);
53     // just I2C bus (I2Cdev library doesn't do this action
54     Wire.begin();
55
56     // ====== I2Cdev ======
57     accelgyro.initialize();
58     Serial.print("Testing Accel/gyro... ");
59     Serial.println(accelgyro.testConnection()); // "MPU6050 OK"
60
61     // Starts up with accel +/- 2 g and gyro +/- 200 deg/s
62     accelgyro.setConfig(BYPASS_SLEEP | ACCEL_HZ_500 | GYRO_HZ_200); // set bypass sleep
63     // how we can talk to the HMC5883L
64
65     // ====== HMC5883L ======
66     mag.initialize();
67     Serial.print("Testing Mag... ");
68     Serial.println(mag.testConnection()); // "HMC5883L OK"
69
70     // ====== BMP085 ======
71     barometer.initialize();
72     Serial.print("Testing Pressure... ");
73     Serial.println(barometer.testConnection()); // "BMP085 OK"
74
75     Serial.println("Setup Complete");
76
77     void loop()
78     {
79         static unsigned long ms = 0;
80         static boolean state = HIGH;
81
82         // Serial Output Format
83         // ====== Accel ====== | ====== gyro ====== | ====== Mag ======
84         // x y z | x y z | x y z heading
85
86         if (millis() - ms > 1)
87         {
88             // read raw accel/gyro measurements
89             accelgyro.getMotion8(ax, ay, az, gx, gy, gz);
90
91             // read raw heading measurements
92             mag.getHeading8(ax, ay, az);
93
94             // To calculate heading in degrees, 0 degrees indicating
95             float heading = atan2(ay, ax);
96             if (heading < 0) heading += 2 * PI;
97             // request temperature
98             barometer.setControl(BMP085_MODE_TEMPERATURE);
99             // wait appropriate time for conversion (1.5ms delay)
100             lastMicros = micros();
101             while (micros() - lastMicros < barometer.getMeasurementDelay())
102             {
103                 // read calibrated temperature value in degrees Cel
104                 temperature = barometer.getTemperature();
105             }
106             // request pressure (in over-sampling mode, high delay)
107             barometer.setControl(BMP085_MODE_PRESSURE);
108             // wait appropriate time for conversion (1.5ms delay)
109             lastMicros = micros();
110             while (micros() - lastMicros < barometer.getMeasurementDelay())
111             {
112                 // read calibrated pressure value in hPa
113                 pressure = barometer.getPressure();
114             }
115
116             // ====== Output ======
117             Serial.print("Accel: ");
118             Serial.print(ax);
119             Serial.print(" ");
120             Serial.print(ay);
121             Serial.print(" ");
122             Serial.print(az);
123             Serial.print(" ");
124             Serial.print("Gyro: ");
125             Serial.print(gx);
126             Serial.print(" ");
127             Serial.print(gy);
128             Serial.print(" ");
129             Serial.print(gz);
130             Serial.print(" ");
131             Serial.print("Mag: ");
132             Serial.print(ax);
133             Serial.print(" ");
134             Serial.print(ay);
135             Serial.print(" ");
136             Serial.print(az);
137             Serial.print(" ");
138             Serial.print("Heading: ");
139             Serial.print(heading);
140             Serial.print(" ");
141             Serial.print("Temp: ");
142             Serial.print(temperature);
143             Serial.print(" ");
144             Serial.print("Pressure: ");
145             Serial.print(pressure);
146             Serial.println();
147
148             // ====== LED ======
149             digitalWrite(LED, state);
150             state = !state;
151             ms = millis();
152         }
153     }
154 }

```


4. 作品成果說明：

研究流程圖



一、研究目的：

本研究旨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2、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。

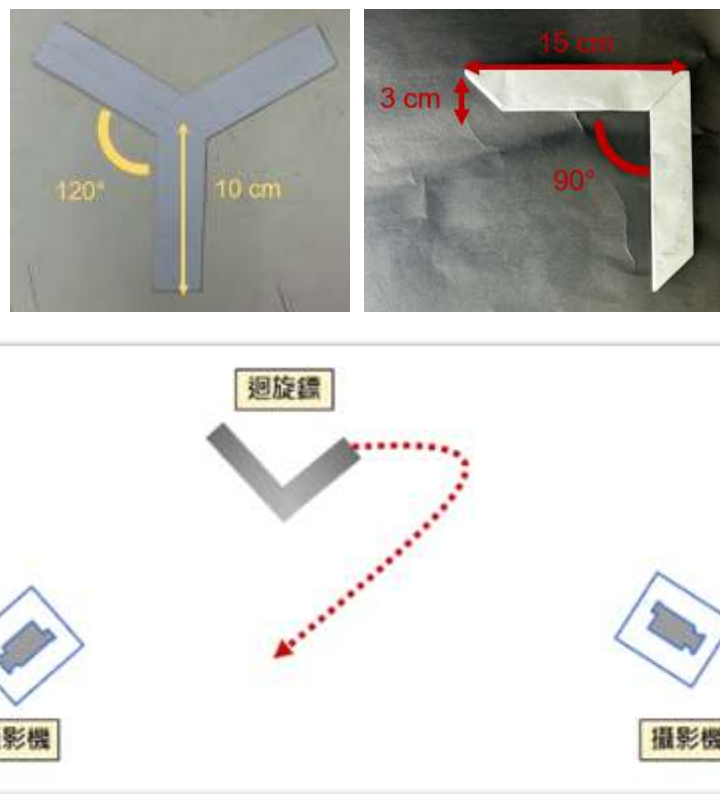


圖3、使用 Tracker 軟體，結合多角度（俯視、正視、側視）影片拍攝

三、實驗與數據量測：

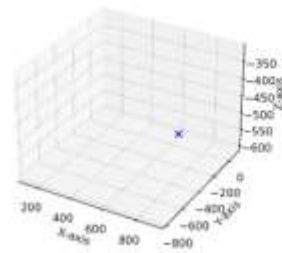
1. 我們透過 Thingiverse 平台搜尋迴旋鏢模型，發現 V 型居多，另有一些三翼與少量四翼迴旋鏢。由於市售品規格固定，我們決定用 3D 列印自行調整尺寸，以便研究尺寸對飛行的影響。
2. 初步測試三種相同尺寸的迴旋鏢，多次練習調整投擲角度與轉速後，成功讓迴旋鏢更接近原點。發現 V 型飛行距離最遠、繞行半徑最大，四翼最小，三翼居中。
3. 另外，我們測試同型不同尺寸的迴旋鏢，發現尺寸越大，飛行距離與迴轉半徑也越大。由於木製與 3D 列印迴旋鏢迴轉半徑較大（5-10 公尺以上），因此選擇在操場測試。
4. 但測試時發現迴旋鏢軌跡複雜，不易拍攝與記錄數據。後來發現紙製迴旋鏢製作簡單、飛行效果佳，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：



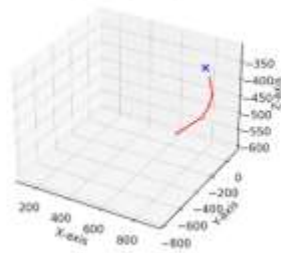


6. 根據這三張 Tracker 分析，這些影片來自三個不同的拍攝角度—俯視(上視)、正視(前視)以及側視(側面)，分別記錄了迴力鏢在空間三維方向的運動情形。將這三個角度的座標資料整合，可對迴旋鏢在整段飛行過程中的位置、速度、飛行時間與軌跡形狀有較全面的了解。
7. 近期因為 AI 的神速發展，老師教我們嘗試使用 AI 分析數據，我們意外地發現 ChatGPT 4o 居然可以協助我們把三種視角的軌跡與時間關係數據彙整製作出 3D 的軌跡隨時間的動畫，我們依相同的時間間隔截圖如下：

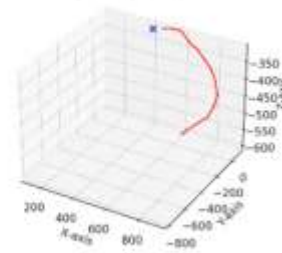
Boomerang 3D Trajectory (Frame 1)



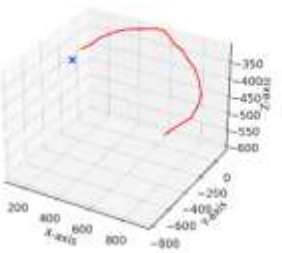
Boomerang 3D Trajectory (Frame 2)



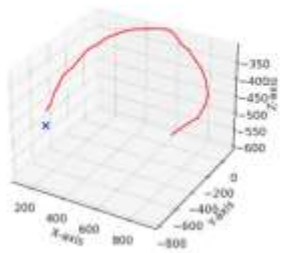
Boomerang 3D Trajectory (Frame 3)



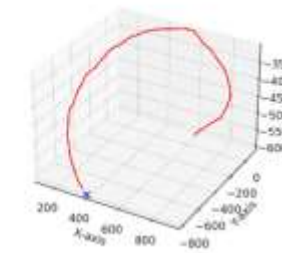
Boomerang 3D Trajectory (Frame 4)



Boomerang 3D Trajectory (Frame 5)



Boomerang 3D Trajectory (Frame 6)



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：

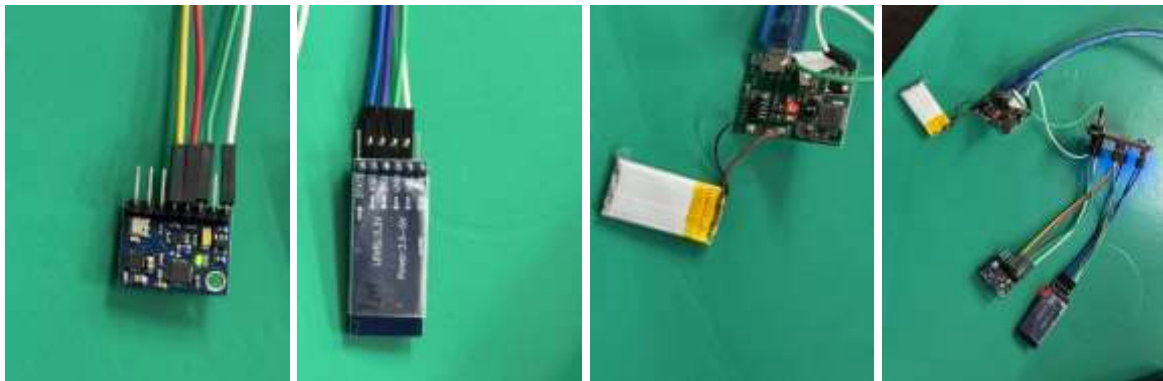
$$F = \frac{mV^2}{R}$$

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。

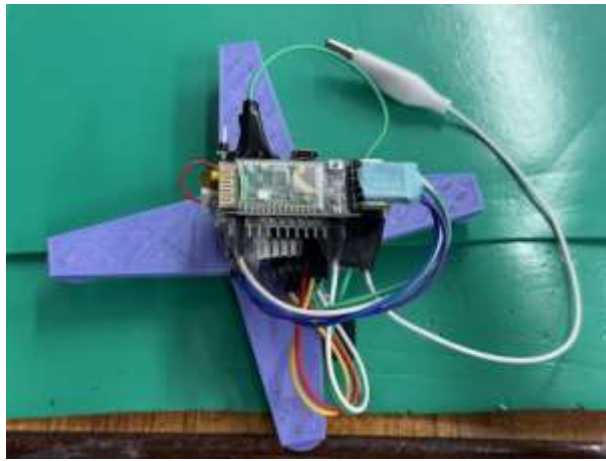
10. 考量到前面的研究只能獲得迴力鏢的飛行過程與運動軌跡，我們希望能進一步理解迴力鏢飛行時旋轉與運動過程受到的作用力，於是嘗試設計並製作 Arduino 自動控制與量測系統，近日終於排除許多困難與問題，製作出可以運作的 Arduino 裝置，後續會進行更多實驗並擷取數據，進一步和理論計算比較驗證，希望能更深入理解迴力鏢的飛行原理。

四、Arduino 製作與優化

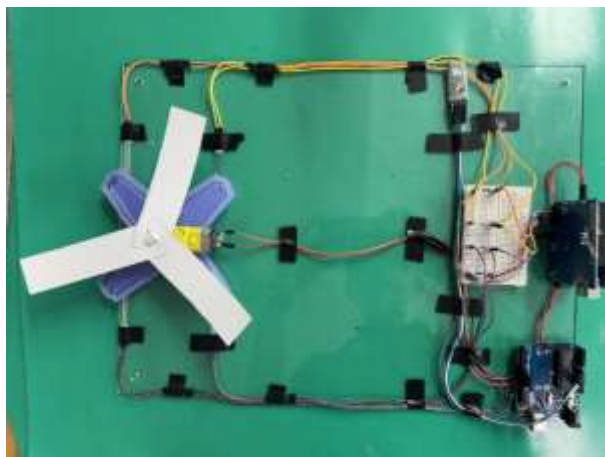
1. 九軸感測器：我們想要量測迴力鏢飛行時的各種運動數據，發現有九軸感測器晶片可以使用，經過一番努力之後，總算可以正常收集數據。接著想到安裝在迴力鏢內部的時候需要能無限傳送數據與供電，因此我們又增加了藍芽模組與鋰電池充電模組。最後總算可以順利運作。



最後更嘗試把所有裝置集成安裝在迴力鏢上，目前已經可以正常運作並同步在電腦收集數據，接下來希望能使用保麗龍或泡棉製作較大的迴旋鏢，就可以安裝這個九軸感測模組在迴旋鏢內部，在迴旋鏢飛行時同步收集數據。



2. 迴旋力感測模組：另一方面，我們查詢文獻與相關資料的時候發現迴旋鏢的轉彎與白努利效應以及陀螺進動效應有關，可惜我們實在不太能理解相關的公式與計算，於是我們便嘗試製作一個迴旋力感測模組，使用 arduino 板連結一個塑膠直流馬達，裝上紙迴旋鏢模擬飛行時轉動的效果，旁邊使用一個小型風扇模擬迴旋鏢飛行時的氣流作用，再使用3D 列印製作一個基座，基座的四隻腳下方各放置一個壓力感測器，如此便可量測迴旋鏢飛行時受到的作用力，改變不同風向對照四隻腳的受力情形，便可獲得迴旋鏢轉向的作用力大小與方向。





	Relative Timestamp (ms)	ax	ay	az	gx	gy	gz	mx	my	mz	heading	temp	pressure
0	0.0048	0.04	0.11	-0.35	-3.4	0.82	-0.12	0	0	0	0	0	0
1	66.5965	0.09	0.11	-0.35	-1.15	0.26	0.08	0	0	0	0	0	0
2	142.599	0.09	0.11	-0.35	-1.85	0.05	0.53	0	0	0	0	0	0
3	212.525	0.05	0.11	-0.35	-1.97	0.82	0.00	0	0	0	0	0	0
4	284.9406	0.04	0.11	-0.34	-3.4	0.31	0.19	0	0	0	0	0	0
5	359.9256	0.04	0.11	-0.35	-1.45	-0.56	0.08	0	0	0	0	0	0
6	432.7291	0.03	0.11	-0.35	-1.39	-0.34	0.09	0	0	0	0	0	0
7	500.9099	0.03	0.11	-0.35	-1.85	-0.01	0.09	0	0	0	0	0	0
8	590.6793	0.03	0.11	-0.34	-1.71	0.21	0.12	0	0	0	0	0	0
9	672.6255	0.04	0.11	-0.35	-1.1	0.19	0.12	0	0	0	0	0	0
10	768.6473	0.04	0.11	-0.34	-1.1	0.38	0.53	0	0	0	0	0	0
11	1096.7	0.04	0.12	-0.35	-1.57	0.1	0.16	0	0	0	0	0	0
12	1138.687	0.05	0.11	-0.35	-1.49	0.61	-0.21	0	0	0	0	0	0
13	1206.408	0.04	0.11	-0.35	-1.43	0.39	-0.22	0	0	0	0	0	0
14	1385.45	0.05	0.11	-0.34	-1.48	0.1	0.14	0	0	0	0	0	0
15	1559.706	0.04	0.11	-0.35	-1.44	0.38	0.16	0	0	0	0	0	0

五、結論與未來展望

1. 根據目前的研究結果，我們初步理解了迴旋鏢迴旋的原理與特性：

- (1) 白努利原理提供了迴力鏢轉向的作用力，進而持續轉向造成橢圓軌道的運動
- (2) 陀螺進動效應導致了迴旋鏢轉軸的傾斜，導致一開始是迴旋鏢以鉛直面擲出，伴隨飛行過程持續傾斜，才能維持高度，最後回到投擲者手中時以呈現水平姿態。
- (3) 向心力公式 $F = \frac{mv^2}{R}$ 顯示質量大的迴旋鏢會有較大的迴旋半徑，投擲速度較大時迴轉半徑也較大。這也解釋為什麼紙迴旋鏢的迴轉半徑可以這麼小。
- (4) 目前我們的 Arduino 自動量測系統初步製作完成，後續還要進行進一步的數據調整校正與優化，未來希望能大量收集更多真實數據，搭配比較理論計算的結果，期望能對迴旋鏢的飛行原理有更深入精密的了解以及更廣泛的應用。

5. 參考文獻：

1. 鄭景文 (2013)。迴力鏢的差異。臺灣網路科教館。
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. 周祥順 (2013)。一來一回：迴力鏢的原理。科學發展，第474期，頁68-69。
4. 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。
5. 嘉義縣第53屆國民中小學科學展覽會 (2012)。回力鏢支翼長度與重量對飛行的影響。