

2025 大學生創意物理實作競賽

光學應用-光之手足球

- 組員：徐煥瑜、林志穎、葉宣威、張智傑、秦正俠
- 指導老師：藍宇彬 教授
- 所屬：國立陽明交通大學光電學院



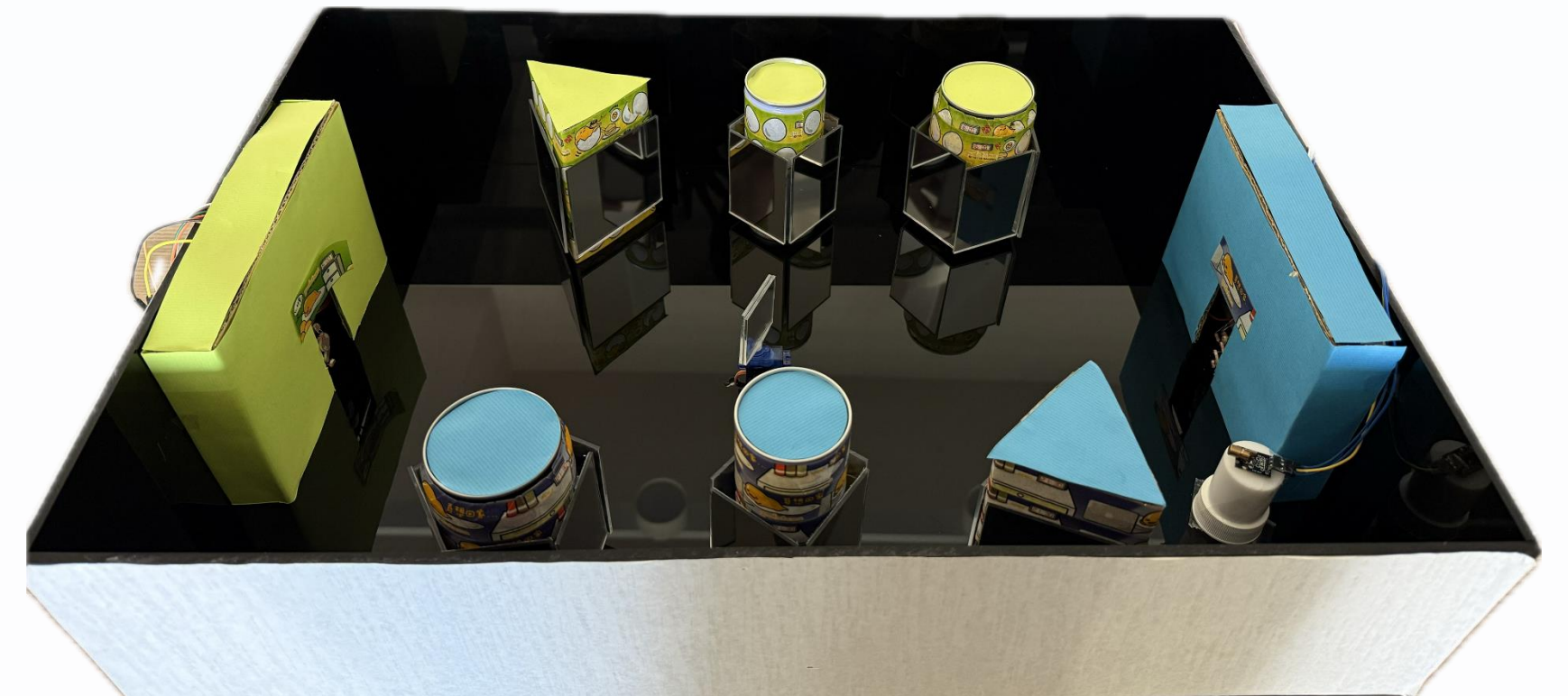
實驗設計

光藉由反射改變行進路徑為生活中最容易觀察到的光學現象，因此藉由光所遵循的反射定律進行實驗設計；我們利用多面反射鏡驗證反射定律，並以此設計出可作為遊戲式的光學實驗（光之手足球）。



手足球

<https://features.ltn.com.tw/english/article/paper/941454>



光足球

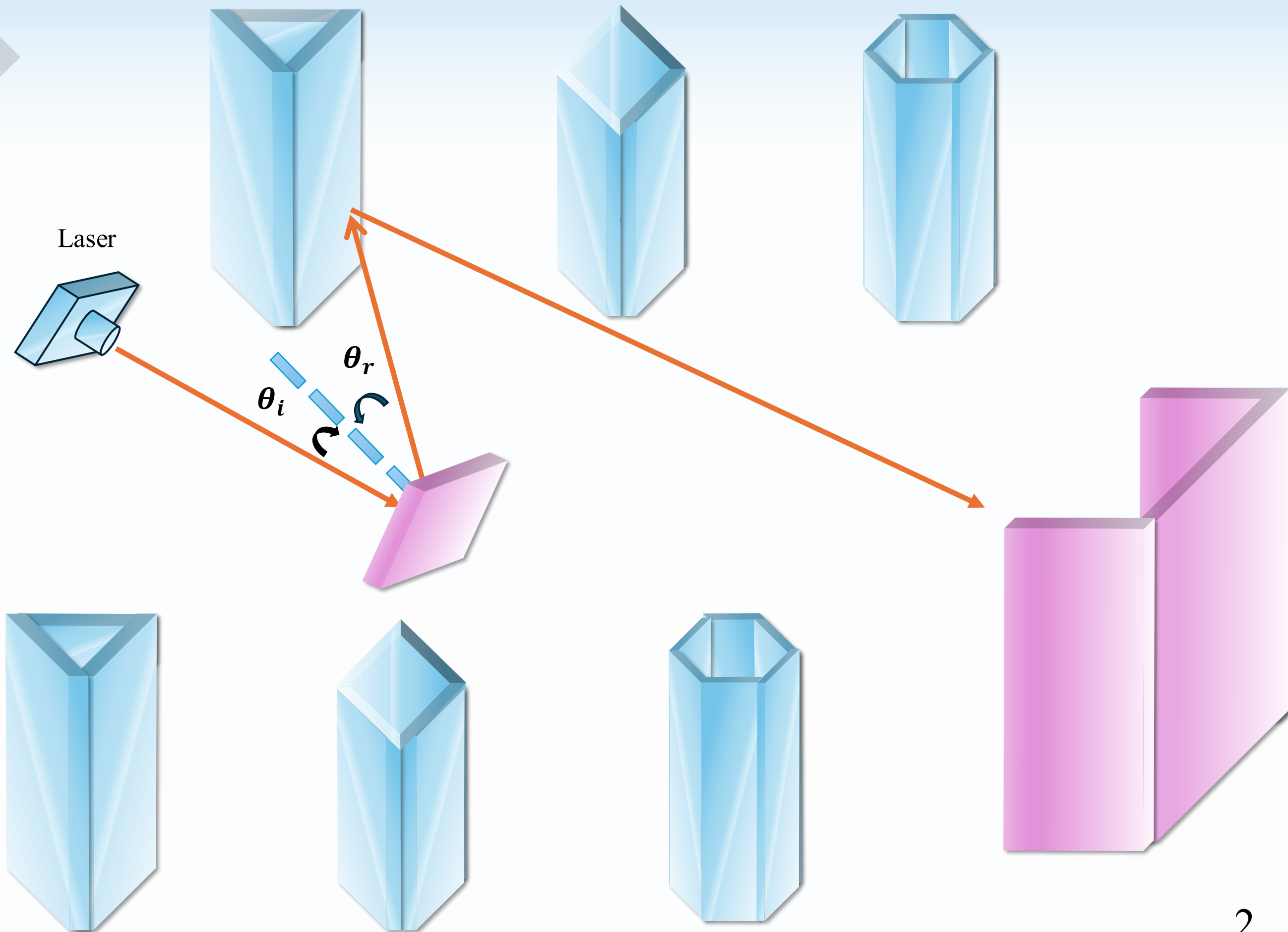
原理說明

費馬定理：
光所遵循的路徑是花費
時間最少的路徑！

反射定律： $\theta_r = \theta_i$

θ_i = 入射角與法線的夾角

θ_r = 反射角與法線的夾角



材料



計數器模組

- Arduino
- 麵包板
- 線材
- 七段顯示器
- 電阻(220 Ω)
- 電晶體7447



光敏電阻



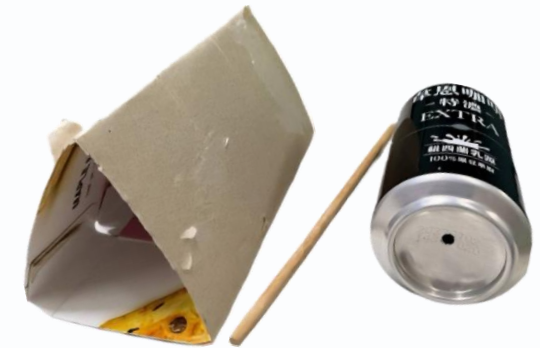
雷射模組



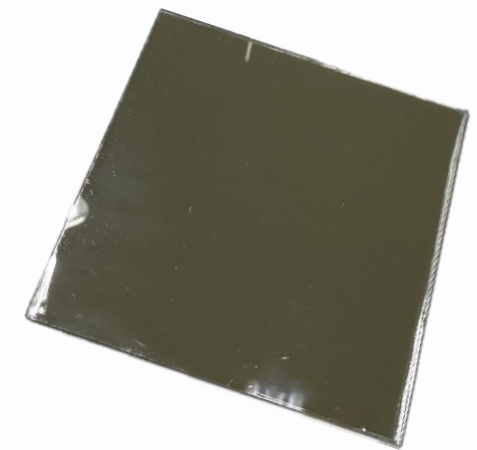
壓克力板



馬達



鋁罐、紙板、筷子



鏡面壓克力

程式設計

1. 雷射光與環境設置：

- 雷射模組全程亮起，作為光敏電阻的感測光源。
- 此設計為模擬雷射射門或光路對準得分的互動遊戲。
- 程式設計：

```
12 // 雷射1 (一直亮)
13 const int laser1Pin = 12;

68 pinMode(laser1Pin, OUTPUT);
69
70 // 雷射1永遠亮
71 digitalWrite(laser1Pin, HIGH);
```

2. 感測與計分機制：

- 使用兩組光敏電阻 (A0, A1) 偵測光線變化作為得分觸發條件。
- 當感測值高於設定門檻 (threshold = 750) 並通過 bounce Delay = 200 ms 時間後，對應方分數加一。
- 每方分數以 BCD 七段顯示器顯示 (bcd1、bcd2) 為雙方的得分分數，分數範圍 0-9。
- 程式設計：

```
94 // ----- 光敏電阻計數 -----
95 int s1 = analogRead(sensor1Pin);
96 int s2 = analogRead(sensor2Pin);
97
98 if(s1 > threshold && now - lastBounce1 > bounceDelay){
99     delay(25);
100     if(analogRead(sensor1Pin) > threshold){
101         counter1 = (counter1 + 1) % 10;
102         writeBCD(counter1, bcd1);
103         lastBounce1 = now;
104
105         pickNewTarget(); // 分數有加 → 換角度
106         lastScoreTime = now;
107     }
108 }
109
110 if(s2 > threshold && now - lastBounce2 > bounceDelay){
111     delay(25);
112     if(analogRead(sensor2Pin) > threshold){
113         counter2 = (counter2 + 1) % 10;
114         writeBCD(counter2, bcd2);
115         lastBounce2 = now;
116
117         pickNewTarget(); // 分數有加 → 換角度
118         lastScoreTime = now;
119     }
120 }
```

程式設計

3. 防抖動與計時管：

- 以 `millis()` 函式管理時間事件，避免使用 `delay()` 阻塞主要流程。
- 記錄上次得分時間(`lastScoreTime`)，用於判斷「10 秒無得分」條件觸發馬達轉動。
- 程式設計：

```
124 // ----- 10 秒沒加分 → 自動換角度 -----
125 if(now - lastScoreTime >= idleTime){
126     pickNewTarget();
127     lastScoreTime = now;
128 }
```

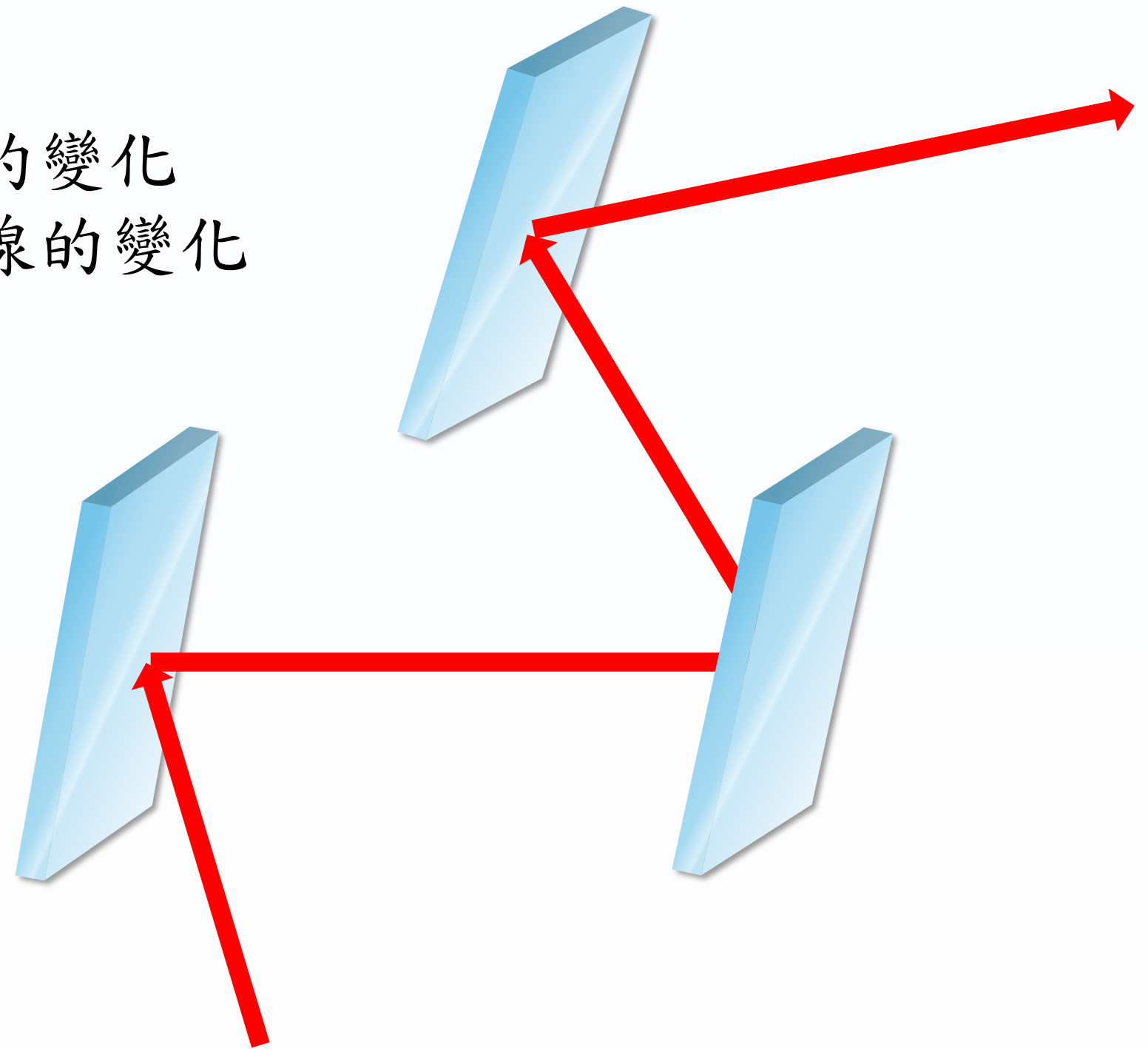
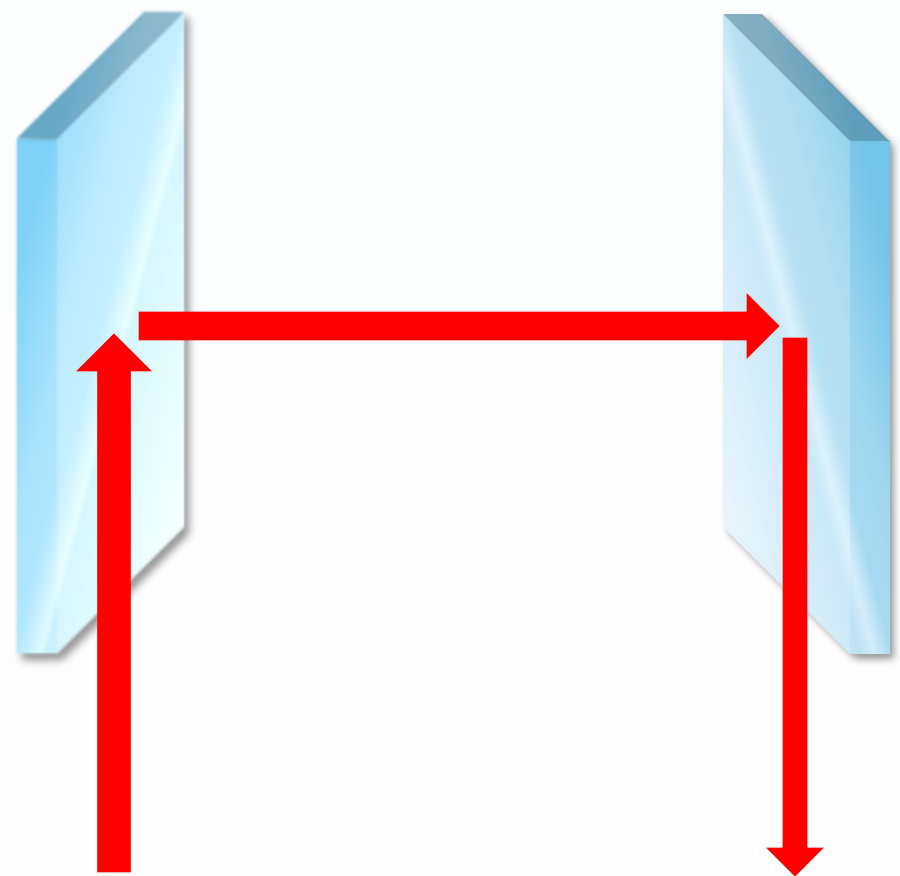
4. 伺服馬達隨機動作：

- 使用 Servo 函式庫控制馬達。
- 馬達會在得分後或 10 秒內無得分時，隨機選擇新角度並再次轉動。到達指定角度後會停留 10 秒(`holdTime`)，再繼續隨機移動。預設可選角度共 8 組
- 程式設計：

```
130 // ----- Servo 隨機控制 -----
131 if(holding){
132     // 到達後 → 停 3 秒
133     if(now - lastHoldTime >= holdTime){
134         holding = false;
135         pickNewTarget();
136     }
137 }
138 else {
139     // 移動中 → 每次 1 度
140     if(now - lastStepTime >= stepDelay){
141         if(servoPos < targetPos) servoPos++;
142         else if(servoPos > targetPos) servoPos--;
143
144         myservo.write(servoPos);
145         lastStepTime = now;
146
147         // 抵達目標
148         if(servoPos == targetPos){
149             myservo.write(targetPos);
150             holding = true;
151             lastHoldTime = now;
152         }
153     }
154 }
```

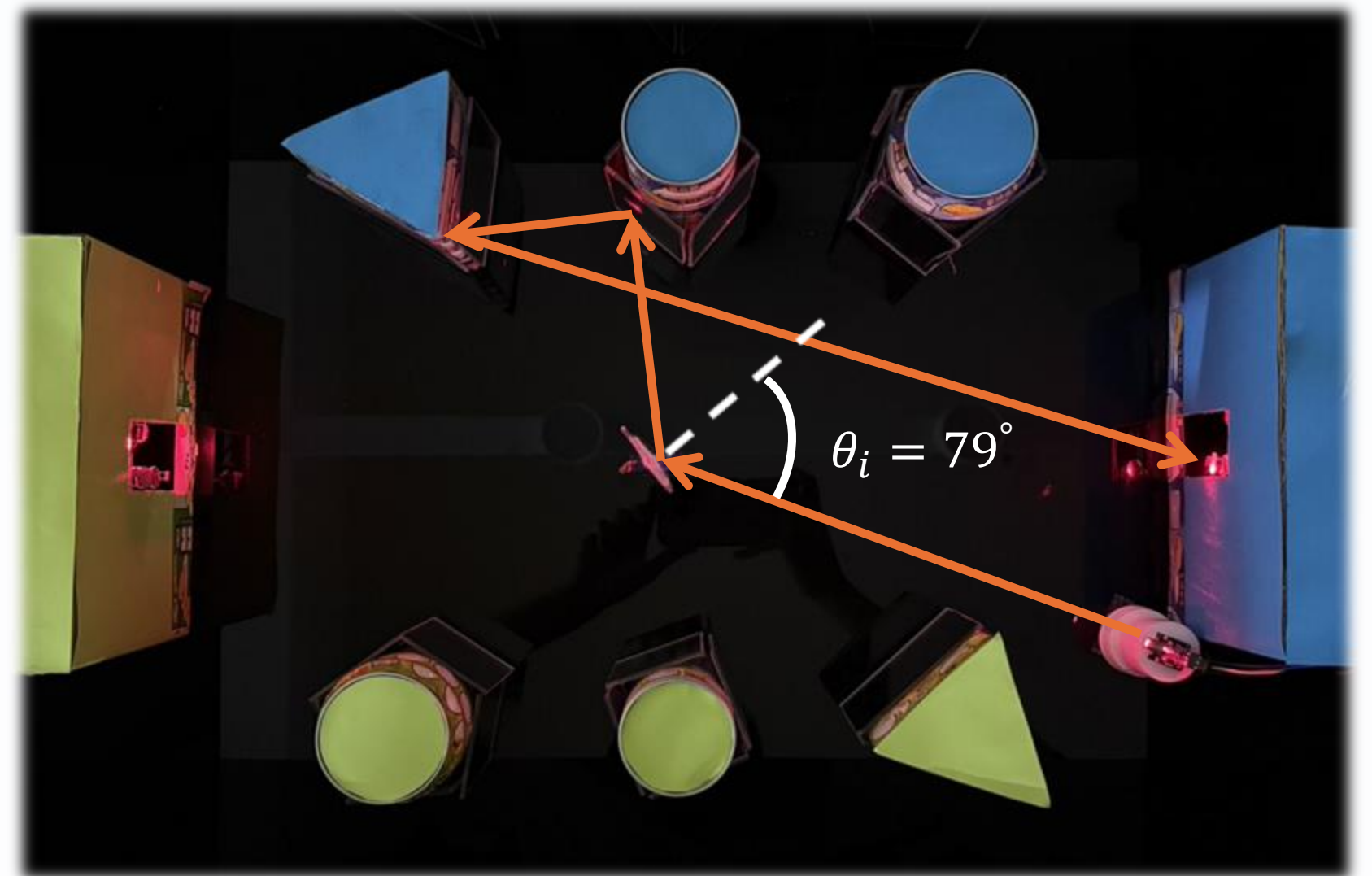
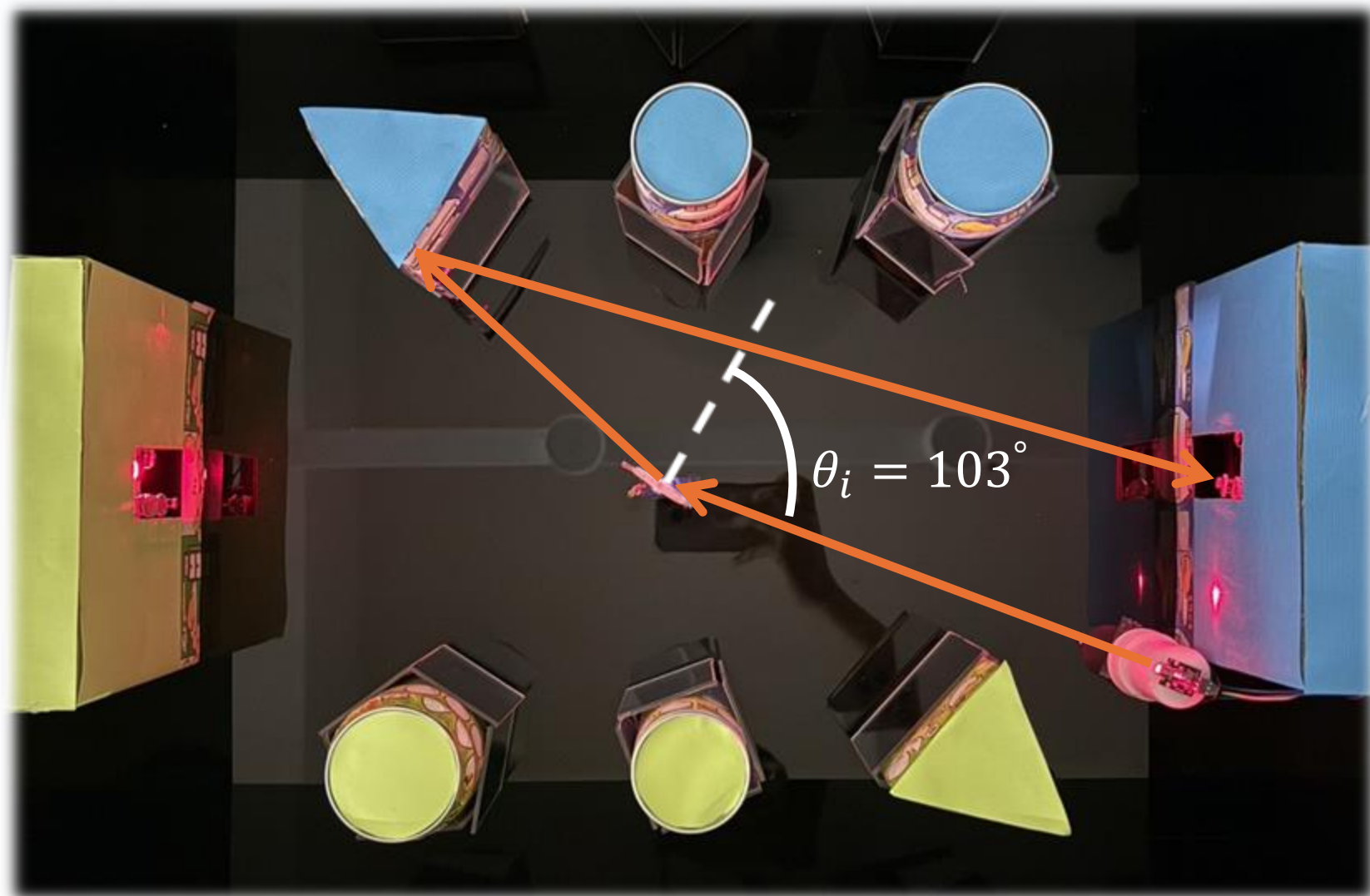
實作說明

- 藉由鏡面的反射改變光的行進路線
- 圖為兩面與三面反射鏡對光行進路線的變化
- 轉動任一鏡面即可創作多種光行進路線的變化



實驗結果與分析

- 反射路徑驗證: 感測器可正確量測雷射光功率的馬達鏡面與雷射光束之角度設定，分別為 15° 、 33° 、 57° 、 79° 、 103° 、 129° 、 153° 、 179° 等。



實驗結果與分析

□ 光強度損耗驗證

由於每次反射皆會有部分能量損失（鏡面反射率 $R < 100\%$ ），可觀察到：

1. 光照射在光敏電阻面積大約為 $3/4$ 即可達到臨界值觸發得分機制
2. 下圖為光點亮度隨反射次數增加而降低之示意圖，符合 $I = I_0 \times R^n$ 的能量衰減關係（ n 為反射次數），在 4 次以上反射後，光敏電阻感測值明顯變低。

Sensor1: 881	Sensor1: 879	Sensor1: 869	Sensor1: 861
Sensor1: 869	Sensor1: 863	Sensor1: 869	Sensor1: 860
Sensor1: 881	Sensor1: 879	Sensor1: 868	Sensor1: 861
Sensor1: 870	Sensor1: 863	Sensor1: 868	Sensor1: 858
Sensor1: 881	Sensor1: 879	Sensor1: 867	Sensor1: 863
Sensor1: 869	Sensor1: 864	Sensor1: 865	Sensor1: 860
Sensor1: 881	Sensor1: 877	Sensor1: 865	Sensor1: 862
Sensor1: 869	Sensor1: 864	Sensor1: 865	Sensor1: 861
Sensor1: 882	Sensor1: 878	Sensor1: 864	Sensor1: 862
Sensor1: 869	Sensor1: 863	Sensor1: 864	Sensor1: 860
Sensor1: 881	Sensor1: 879	Sensor1: 865	Sensor1: 862
Sensor1: 870	Sensor1: 863	Sensor1: 863	Sensor1: 859
Sensor1: 881	Sensor1: 879	Sensor1: 864	Sensor1: 863

反射次數	1次	2次	3次	4次
平均光強度	875.69	871.54	865.85	860.92

誤差來源

1. 人為與機構誤差

- 反射鏡裝置誤差：反射鏡間距為 17 公分時，鏡面傾角需控制在 $\pm 4.04^\circ$ 。
- 結構穩定性：組裝材料以膠帶及雙面膠黏合，操作時，隨著時間或震動會造成微小位移。
- 馬達固定誤差：伺服馬達軸心若未完全垂直或安裝鬆動，旋轉角度會偏離原始設定值。

2. 光學誤差

- 反射鏡面粗糙度：鏡面若不平整或沾有灰塵，會造成光斑散射或能量衰減。多次反射後能量的衰減量為： $I = I_0 \times R^n$ ， R 為鏡片反射率， n 為反射次數。
- 雷射光斑大小與強度誤差：受制於光敏電阻的尺寸，雷射光型與功率會影響其轉換效率

3. 電子與控制誤差

- 解析度與雜訊：跳線過長或接地不良時，A0/A1 讀值會受到雜訊影響。
- 伺服馬達回授誤差：一般小型伺服沒有高精度回授系統，實際角度會與輸入指令有差距。

4. 時間與軟體誤差

- 防抖延遲 (Debounce Delay)：延遲時間過短或過長，造成誤判或漏判。
- millis() 計時漂移：長時間運作下，計時略有偏移（影響小但可列入誤差因素）。

結論

1. 研究發現：

- 光路精度決定勝負：鏡面角度的微小偏差會直接影響光路是否能準確射入球門。
- 馬達動作增加臨場感：伺服馬達的隨機旋轉機制使比賽過程充滿刺激性與挑戰性。
- 穩定的光學感測：適當設定光敏電阻的門檻值後，即使在不同光線環境下仍能可靠偵測。
- 整合性高：透過程式控制、機械結構與光路設計的結合，成功模擬出一場光學版手足球比賽。

2. 作品應用價值：

- 教育用途：可作為光學課程的互動教具，生動展示反射與入射角的概念。
- 科學展演：結合比賽與視覺效果，適合在科展、光電展或公開活動中展示。
- 跨領域學習：融合電機控制、機構設計與光學原理，能作為Arduino教學範例。
- 娛樂與競技性：支援雙人對戰模式，兼具科學性與遊戲樂趣，提高參與度。

3. 未來改進方向：

- 偵測精度提升：可改用光電二極體與遮光結構，減少外界干擾。
- 控制升級：加入無線通訊模組（如藍牙、Wi-Fi），實現遠端計分與控制。
- 互動效果強化：新增 LED 燈光、音效與倒數計時，增加競賽臨場感。
- 模組化設計：將鏡面、感測器與控制單元分離，方便教學展示與維護。