

## 2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

### 複賽作品說明書

隊伍名稱： 湖內職人

---

作品名稱： 光電陀螺-門多西諾

---

隊 員： 陳品叡、潘紀妍、劉柏妘

---

指導老師： 葛士瑋、詹明儒

---

科學概念1： 「能量轉換-光能與電能」與「電流磁效應」，以太陽能電池的電流使線圈產生電流磁效應，與場磁鐵相互作用而轉動，探討轉子如何透過轉動達成「電流換向」在固定磁場下之維持穩定轉動，藉此瞭解電動機的運作原理，並配合右手定則判斷電動機轉子電流磁場與場磁鐵作用的旋轉方向，並以 Arduion 讀取光電計數器進一步量化分析轉子線圈內電流變化之影響。

---

科學概念2： 「光電效應-亮度與波長」由 Arduino 進行 PWM 調光控制，以可變電阻控制兩側的 LED 光源亮度強弱，改變自製門多西諾馬達轉子的旋轉，並以光電計數器驗證照射強度與太陽能電池輸出至線圈電流對轉子旋轉之影響。可搭配不同 LED 光源(紅外光、可見光)之照射，以相同輸出功率、不同波長之光源照射，讓實驗者體會光電效應中所提到各種光源光子能量之差異。

# 複賽作品說明書內文

## 1. 發想動機：

結合基礎焊接實作與工藝創作的-自製門多西諾馬達課程，在學校探究實作的多元選修課程中深受學生喜愛，參與課程的學生都表現出強烈的學習動機，課程中利用太陽能板輸出電流使線圈產生電流磁效應，並思考維持轉子持續轉動的關鍵因素「電流換向」，讓學生理解電動機轉動的作用機制與科學原理。為了深入了解物理與工程跨領域知識的結合，規劃加入 Arduino 的控制功能，設計簡易 LED 控制電路，以 PWM 調光技術控制照射門多西諾馬達轉子兩側的光強度以及入射光角度，驗證兩側太陽能板電流方向、強度與轉子旋轉方向與快慢之關係，其中轉子轉速可透過另一 Arduino 電路，配合光電計數器模組獲得門多西諾馬達轉子的轉速，並以此數據估算轉子內線圈的電流變化與入射光之關係。此跨領域課程能探討物理科學知識，包含光電效應所提-入射光亮度與波長之影響，可以不同種類之入射光源，不可見光-紅外線、一般照明光源、短波長的紫光，固定入射光源之功率，可讓學生能比較光波長與光子能量之關聯；固定入射光波長改變光源功率，可讓學生能理解光強度與光子數量之影響。而測量轉子的旋轉速度為運動力學之分析，可透過 Arduino 測量電路所得之數據分析門多西諾馬達轉子受到電流磁效應所驅動的變化關係。讓學生能夠以 Arduino 電路進行控制與測量，透過門多西諾馬達轉子旋轉之差異，驗證背後的物理原理，體會科學實驗中操縱變因所對應之現象改變，建構以跨領域知識學習物理科學之模式。

## 2. 硬體及電路架構圖：

### A. 門多西諾馬達轉子：

連接線圈與太陽能電池：於太陽能電池正中央貼上雙面膠，黏貼線圈後讓兩端漆包線靠近太陽能電池正、負兩極接點。使用電烙鐵將漆包線焊接於太陽能電池兩極，接著取另一片太陽能電池，並將兩片太陽能電池兩極彼此異性電極以導線相連接，將間隔木塊打洞穿過大頭針固定後，黏合在兩片太陽能電池空隙間，如圖1所示。

### B. 門多西諾馬達支架(學生自製木架體驗課程)

裁切3條木條作為門多西諾馬達支架門框，並於適當位置黏貼上強力磁鐵後，組合在圓木片底座上，其中門框兩側的場磁鐵必須異性極相對，如圖2所示。

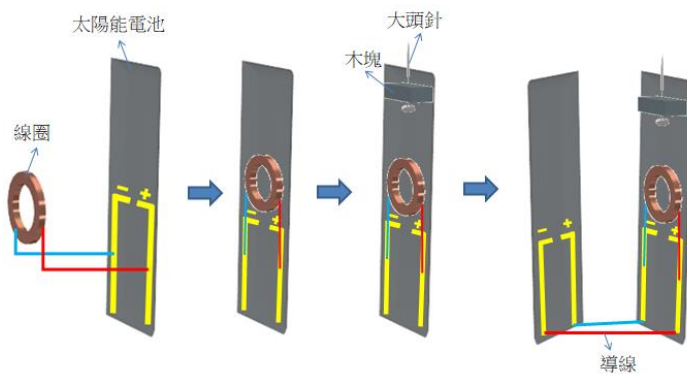


圖1 門多西諾馬達轉子內部連線



圖2 自製門多西諾馬達木條支架

C. 門多西諾馬達支架(測量實驗使用之3D 列印支架)

為了配合 Arduino Uno R3控制電路，將採用3D 列印方式設計可垂直或水平穩定轉動之門多西諾馬達支架，如圖3，讓轉子可透過兩端的針尖與磁鐵吸附達成平衡。

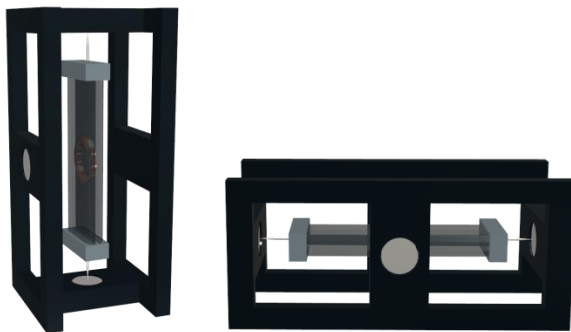


圖3 3D 列印門多西諾馬達支架

D. Arduino Uno R3控制 LED 光強度之電路設計

為了控制照射太陽能電池的 LED 光強度，採用 Arduino Uno R3連接相關元件，如圖4所示，以可變電阻控制 LED 光源亮度，並將左右兩側 LED 光源的亮度比例以百分比呈現於 LCD 螢幕上，其中 Arduino Uno R3訊號腳位如圖5所示。

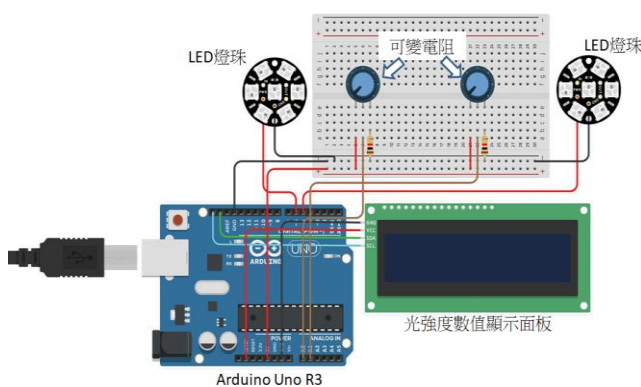


圖4 LED 光強度控制電路

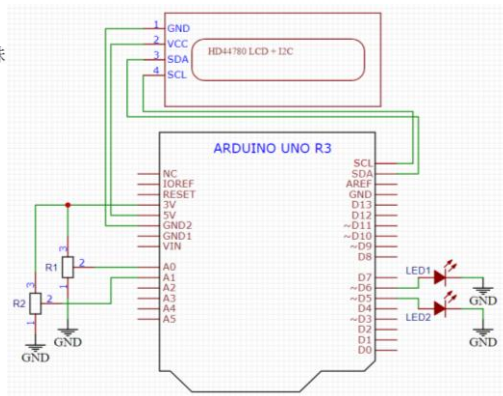


圖5 訊腳位與元件之連接圖

以 Arduino 程式控制 LED 燈珠發光強度，其原理是採用脈衝寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM)，Arduino Uno R3板以5伏特峰值輸出電壓，配合976Hz 的脈衝頻率，讓 LED 燈珠產生對應的亮度的變化。以75%的 LED 量度表現來說，在週期時間內給予 $\frac{3}{4}$ 的脈衝寬度(數位輸出1)， $\frac{1}{4}$ 的關閉(數位輸出0)，可形成等效於 $5V \times 75\% = 3.75V$ 的線性變化形成75%的 LED 亮度，如圖6所示。

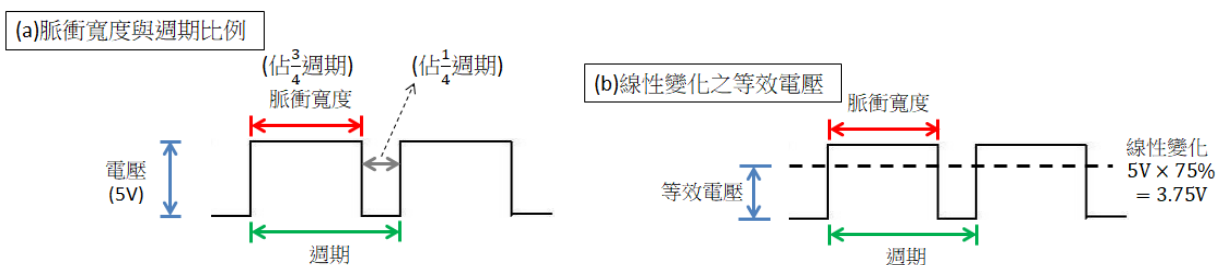


圖6 PWM 調控 LED 亮度比例控制說明(a)脈衝寬度比例(b)線性關係

### E. 雙面照光之門多西諾馬達實驗模組

如圖7(a)的電路設計，在支架兩側安裝 LED 進行雙面照光之門多西諾馬達實驗，分別採用相同瓦數之可見光、紅外光 LED，觀察轉子旋轉之差異，並調整兩側 LED 之強度，觀察對應之變化，整體實驗裝置3D 示意圖，如圖7(b)。更可進一步將一側改為紅外光 LED，觀察不同波長光源在相同輸出功率下，可對太陽能電池造成的影響，並透過轉子的旋轉速度、方向之變化分析兩種波長的光源之光子能量差異。

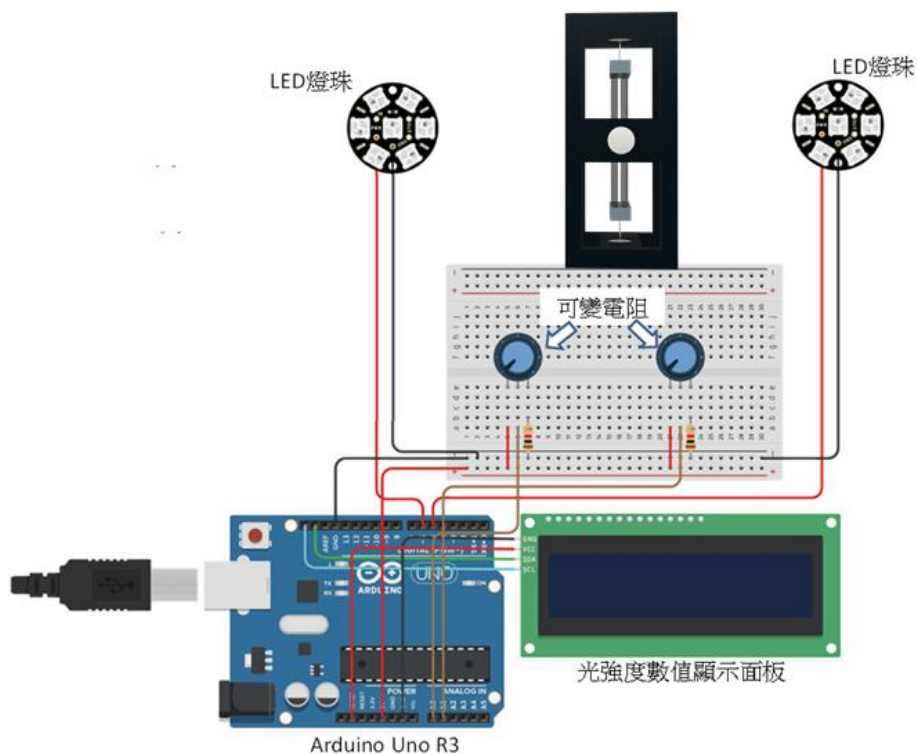


圖7(a) 門多西諾馬達兩側 LED 光源控制電路

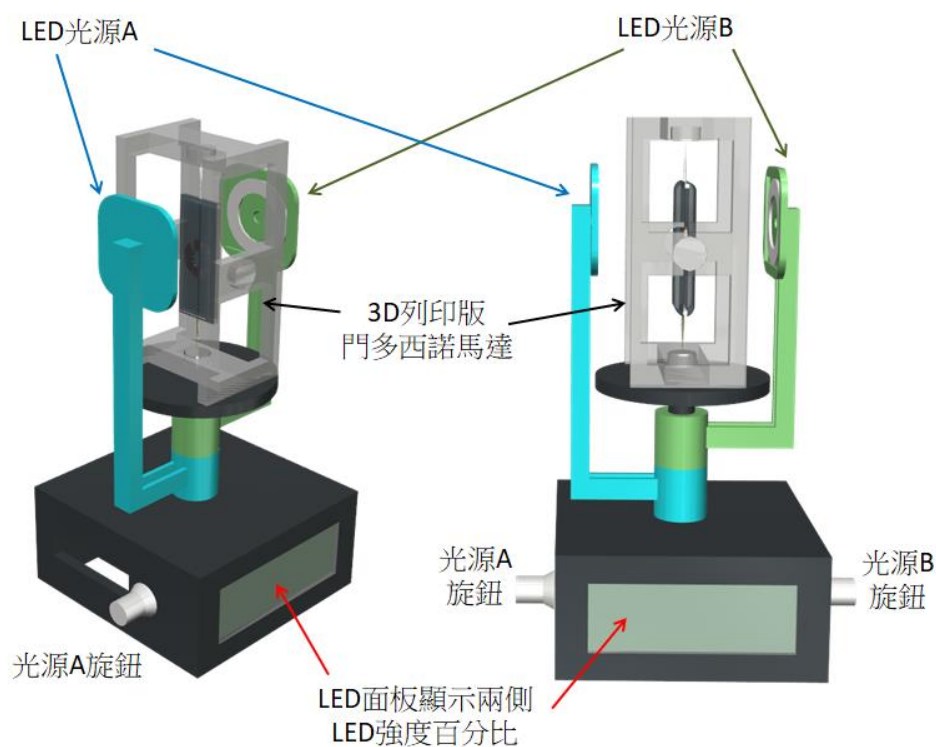


圖7(b) 測試裝置3D 示意圖



## F. Arduino Uno R3轉子轉速測量電路

由於無法直接測量門多西諾馬達轉子內線圈的電流，因此實驗設計透過感測器讀取門多西諾馬達轉子的轉速，作法是採用 Arduino Uno R3連接光電對射式計數器模組測量轉子轉動時對計數器光電訊號的遮斷與否，其中計數器連接 Arduino 之連線如圖8(a)所示，而詳細電路腳位連接圖如圖8(b)。在結構上，在門多西諾馬達轉子轉軸上方加裝一同步轉動之圓盤(挖有4條溝痕)，當轉子旋轉一周會讀取到四個峰值訊號，並以此來計算門多西諾馬達轉子的轉速，整體實驗裝置3D 示意圖如圖8(c)所示。

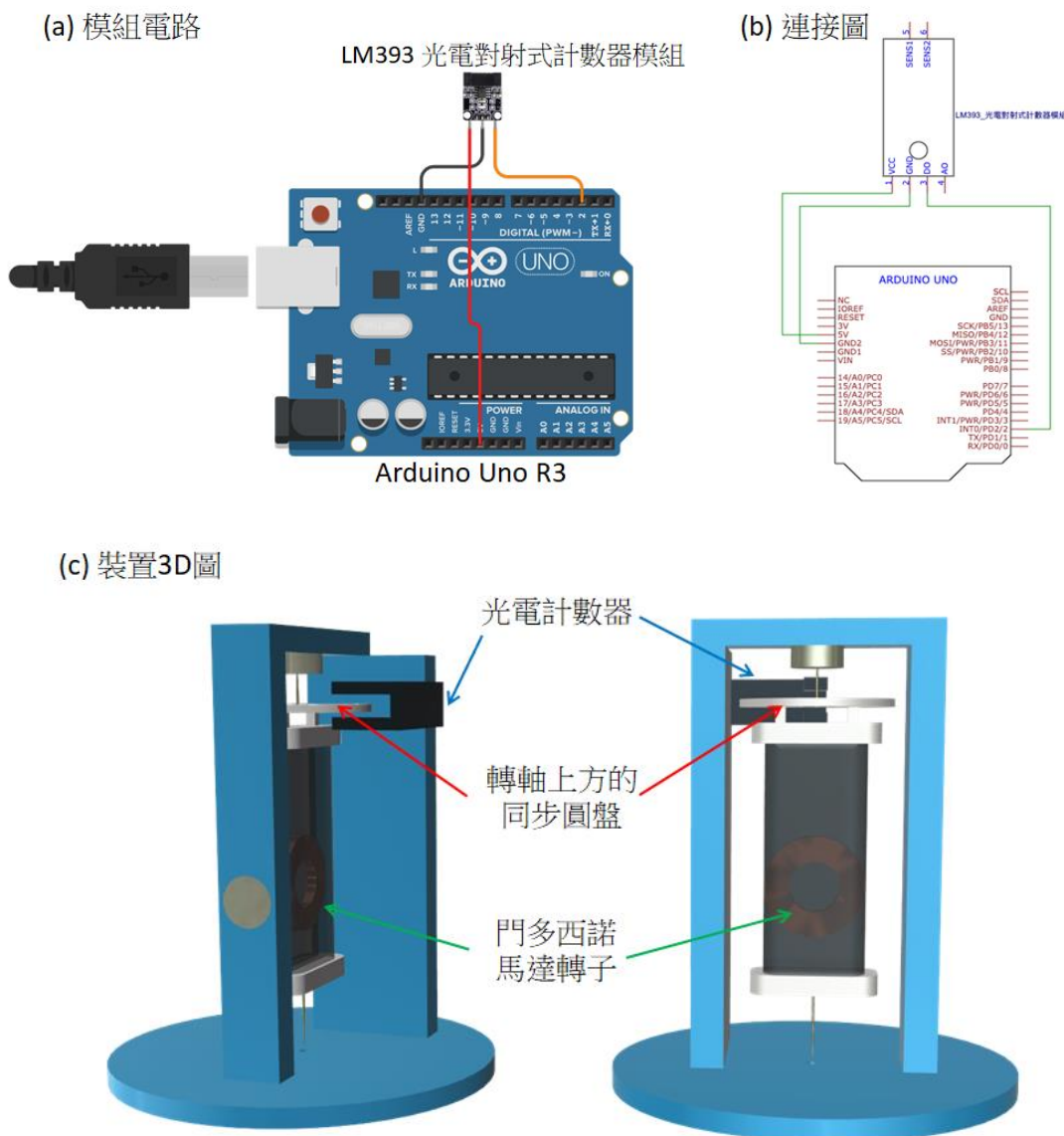


圖8 (a)光電計數器模組電路，(b)訊腳位與元件之連接圖，(c)裝置結構3D 示意圖

## 3. 作品使用說明及應用：

### A. 測量太陽能電池輸出電流與照光角度、強度之關係

當光源由不同角度照射太陽能電池，紀錄太陽能電池產生電流與照光角度關係。實驗裝置架設如圖9(a)，將單一片太陽能電池固定在具有角度刻度的圓底座上，其中太陽能電池的兩極串聯一個220歐姆之電阻，並以三用電表讀取電阻兩端之端電壓值，將旋轉角度與所得電壓值紀錄於表格中，並繪製出變化關係圖，如圖9(b)。

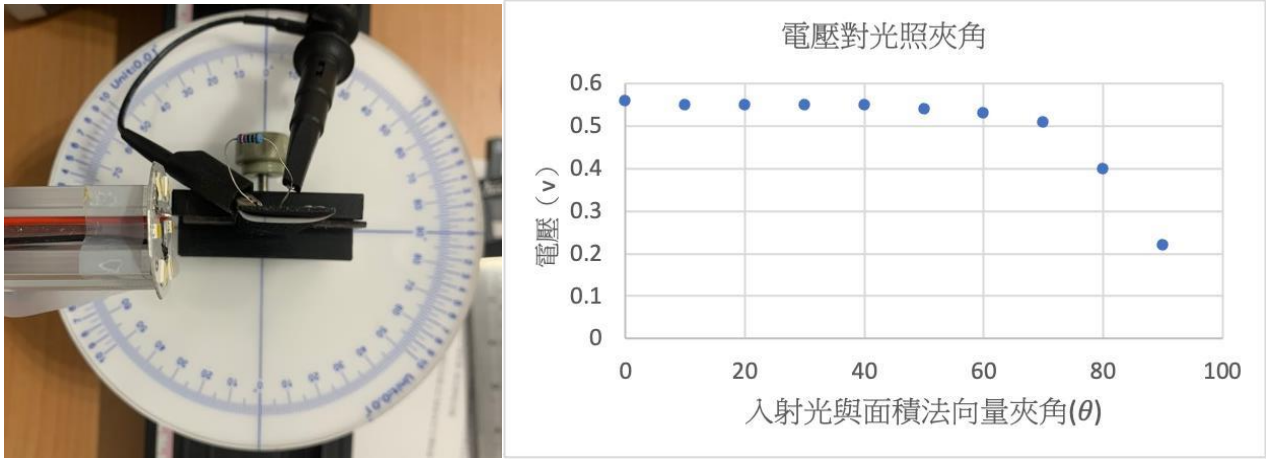


圖9 (a)太陽能電池照光角度與線圈電流測試裝置，(b)電壓與角度關係圖

B. 電流磁效應與門多西諾馬達轉子旋轉之變因討論

製作門多西諾馬達轉子，如圖10所示，學生體驗製作的木框版本為單邊大頭針轉軸，若為實驗測量使用，則採用3D 列印兩側大頭針支架，如圖11，主要是為了在實驗測量數據過程中，避免門多西諾馬達轉子在旋轉中發生徑動現象而不穩定。

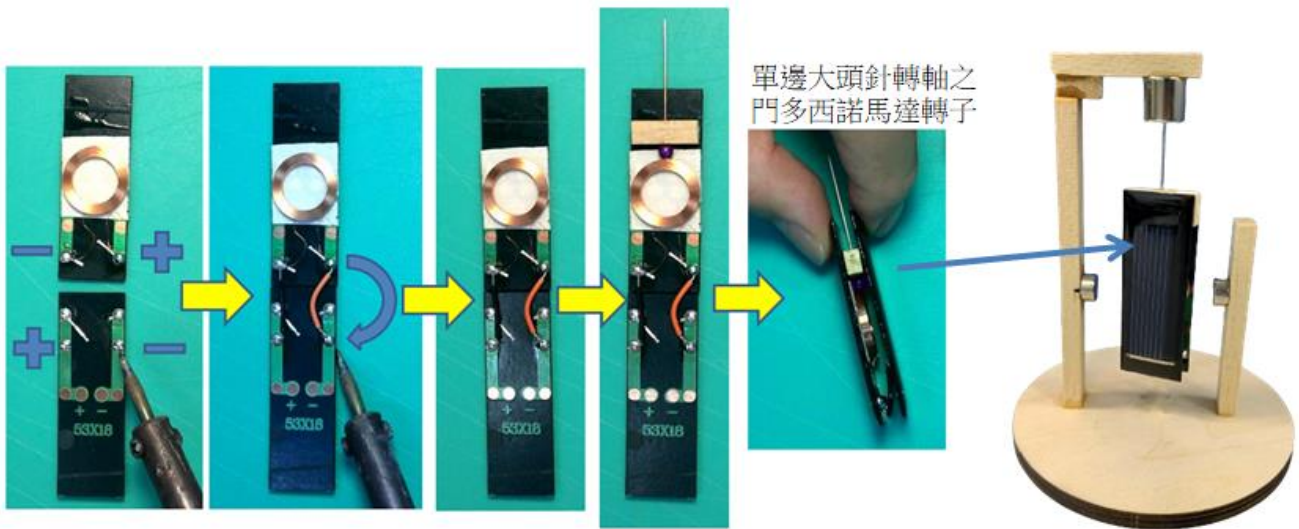


圖10 單邊大頭針轉軸之門多西諾馬達轉子(木框體驗版)

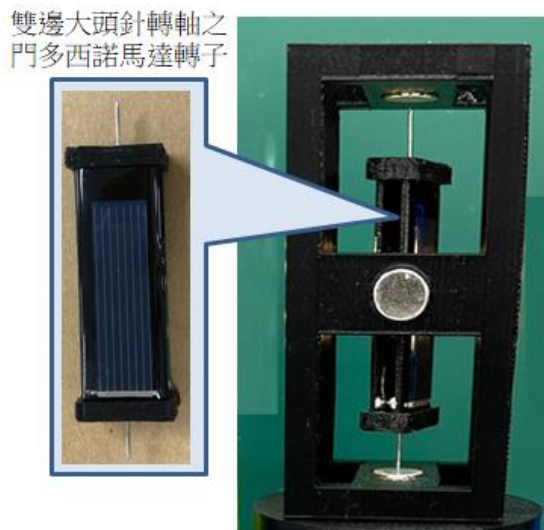


圖11 雙邊大頭針轉軸之門多西諾馬達轉子(實驗測量版)

如圖12所示，當門多西諾馬達單側照光時，雖然線圈的電流每半圈會改變方向，但因為轉子的旋轉，所以對轉子與場磁鐵而言，兩者的磁場關係始終固定，故在僅有單側照光下，門多西諾馬達的轉子可以持續旋轉。而在雙面照光下，兩片太陽能電池對於線圈的電流會形成競爭關係(電流方向相對)，結果如同圖13所示，會由電流較強的一方主導轉子內線圈的磁性，進而決定門多西諾馬達轉子旋轉的方向。



圖12 單側照光下，門多西諾馬達的轉子的電流關係圖

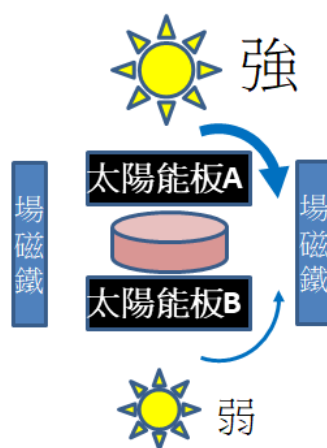


圖13 雙面照光使兩片太陽能電池的電流會形成競爭關係

#### C. 入射光與太陽能電池之光伏效應(內光電效應)之討論

光照射到半導體或絕緣體的表面時，使物體內部的受束縛電子受到激發，從而使物體的導電性能改變。本實驗所採用的太陽能電池，其效應又稱作光生伏特效應，當一定波長的光照射非均勻半導體(如PN接面)，由於光生載流子的運動所造成的電荷積累，半導體內部(材料兩面)產生電勢差即光生伏特。並搭配兩側照光之門多西諾馬達進行不同LED光源(紅外光、可見光)之照射，以相同LED輸出功率、不同波長之光源照射，體會光電效應中所提到各種光源光子能量之差異。

#### 4. 作品創意性：

此作品是延伸門多西諾馬達課程之廣度與深度，基於太陽能電池照光方向造成轉子電流與轉動之變化關係後，融入科學與電子工程、資訊程式的跨領域知識，結合Arduino的PWM控制電路，調整LED光源的強度與更可使用不同波長之LED光源。有助於探討兩側太陽能電池皆有照光的狀態下，因光子數量差異、光子能量差異造成轉子旋轉方向之競爭關係，進而理解光波長、強度造成太陽能電池內光電效應之差別。過程中，學生除了運用基本的電流磁性原理，解釋門多西諾馬達轉動之原因，以及調整穩定旋轉之技巧，



除了可以透過眼睛直觀的獲得不同光子能量造成之影響，更利用 Arduino 讀取光電計數器所測量門多西諾馬達轉子的轉速，藉此可推論轉子內線圈電流的變化。

## 5. 作品成果報告：

### A. 學生體驗版門多西諾馬達與照光測試結果

透過自行組裝門多西諾馬達轉子與木框磁鐵支架，組裝結果如圖14(a)，可透過手電筒或鹵素燈測試轉子受光照射的轉動效果，如圖14(b)。接著在光源部分會提供紅外光手電筒讓學生比較，當門多西諾馬達兩側分別照射不同波長的光源時，門多西諾馬達轉子會如何轉動。透過此活動建立學生對於太陽能電池吸收波長並不侷限於可見光，同時也進一步帶入不同波長之光子所具有的能量不同，以利下一階段實驗測量進行。

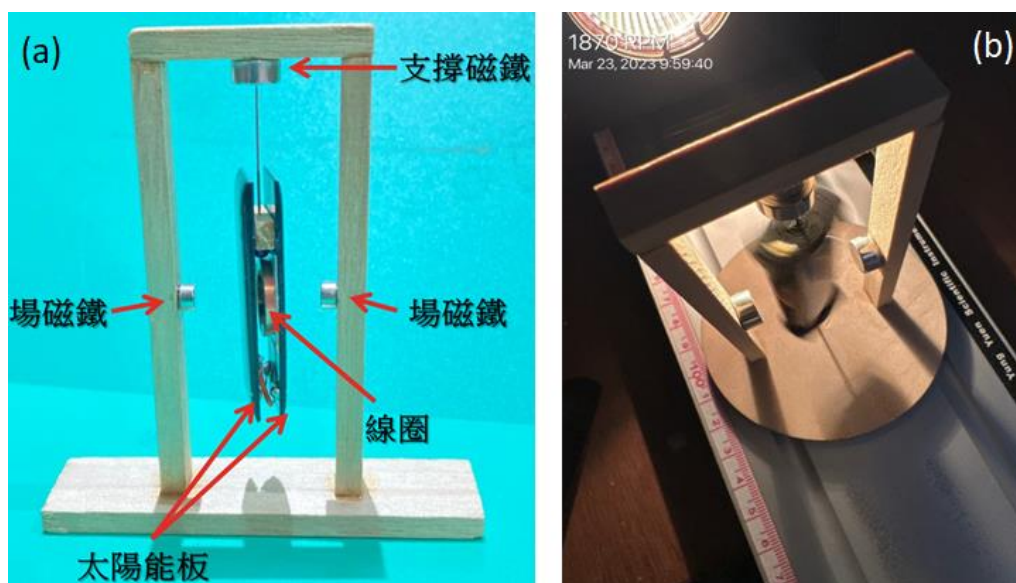


圖14 學生體驗版門多西諾馬達與照光測試活動

### B. Arduino 電路裝置-調控光強度與入射光角度

如圖15所示，下方黑色盒子內部放有 Arduino UNO R3 電路板，並透過 PWM 程式換算可變電阻旋鈕所調控 LED 光源 A、B 的強度比例(轉換為百分比後現實與液晶面板)，其中 PWM 的程式如表1所列。將3D 列印之門多西諾馬達安裝於磁吸底座上，進行兩側不同光強度、入射角度照射實驗，觀察門多西諾馬達轉速受到的影響。後續可進一步更換兩側 LED 光源，如：紅外光、紫外光，探討不同波長光源對於太陽能電池的內光電效應，讓學生理解波長與光子能量之關聯。



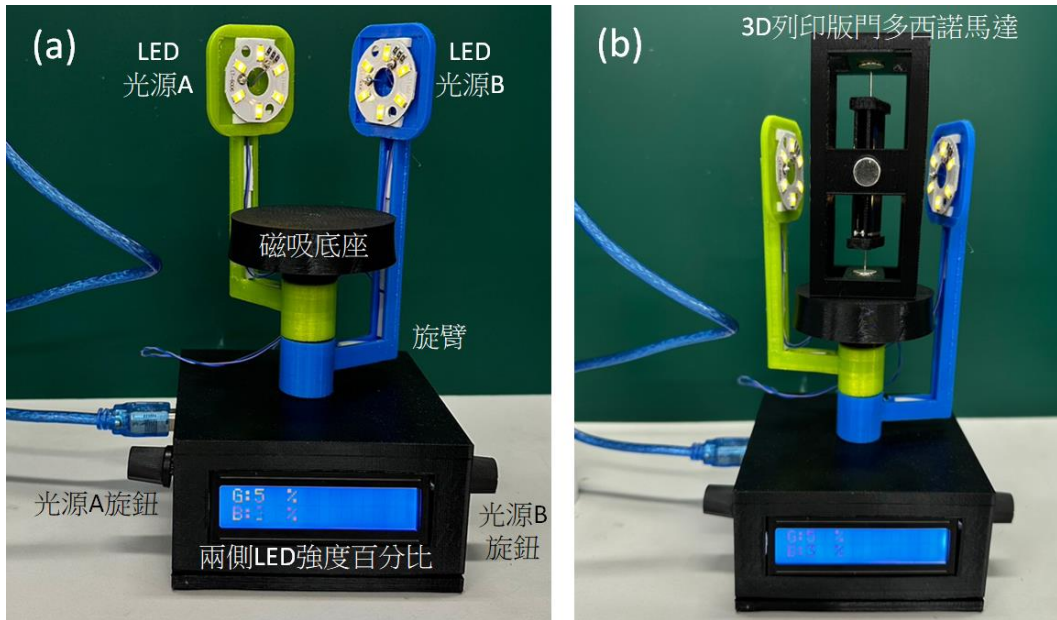


圖15 (a)調控光強度與入射光角度模組，(b)安裝3D 列印門多西諾馬達進行實驗

表1 PWM 光強度調控之程式碼

<pre>#include &lt;Adafruit_LiquidCrystal.h&gt; int g, b; Adafruit_LiquidCrystal lcd_1(0);  void setup() {   lcd_1.begin(16, 2);   pinMode(5, OUTPUT);   pinMode(6, OUTPUT); } void loop() {   g=map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 100);   b=map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 100);    lcd_1.setCursor(0, 0);   lcd_1.print("G:");   lcd_1.setCursor(2, 0);   lcd_1.print(g);   lcd_1.setCursor(0, 1);   lcd_1.print("B:");   lcd_1.setCursor(2, 1);   lcd_1.print(b);   delay(10);   lcd_1.clear(); }</pre>	<p>引入使用 Adafruit_LiquidCrystal 庫 宣告變數 g 和 b 建立一個名為 lcd_1 的物件，用於控制 LCD 顯示器</p> <p>初始化 LCD 顯示器為16列2行 設置引腳5為輸出模式 設置引腳6為輸出模式</p> <p>讀取 A0 引腳的模擬信號，將其映射到0-100的範圍內，並存儲到變數 g 中 讀取 A1 引腳的模擬信號，將其映射到0-100的範圍內，並存儲到變數 b 中 將光標定位到第一行第一列 在 LCD 顯示器上顯示"G:" 將光標定位到第一行第三列 在 LCD 顯示器上顯示變數 g 的值 將光標定位到第二行第一列 在 LCD 顯示器上顯示"B:" 將光標定位到第二行第三列 在 LCD 顯示器上顯示變數 b 的值 延遲10毫秒 清除 LCD 顯示器的內容</p>
--	--

### C. Arduino 電路裝置-轉速測量模組

透過調裝模組進行的實驗，可以觀察到光源強度、照射方向對於門多西諾馬達的影響與關係，然而由於肉眼可是轉子轉速難以量化，故採用光電對射式計數模組配合刻有狹縫之同步轉盤，如圖16(a)，以 Arduino 電路讀取計數器之訊號，以獲得門多西諾馬達轉子在受到不同光源照射後的真實轉速變化，進而可以推論轉子內部線圈的電流變化，其中讀取訊號與計算轉速的程式碼如表2所列。實驗測量狀況如圖16(b)所示，而所得之單位

面積功率與門多西諾馬達轉子轉速數據之趨勢關係如圖17。

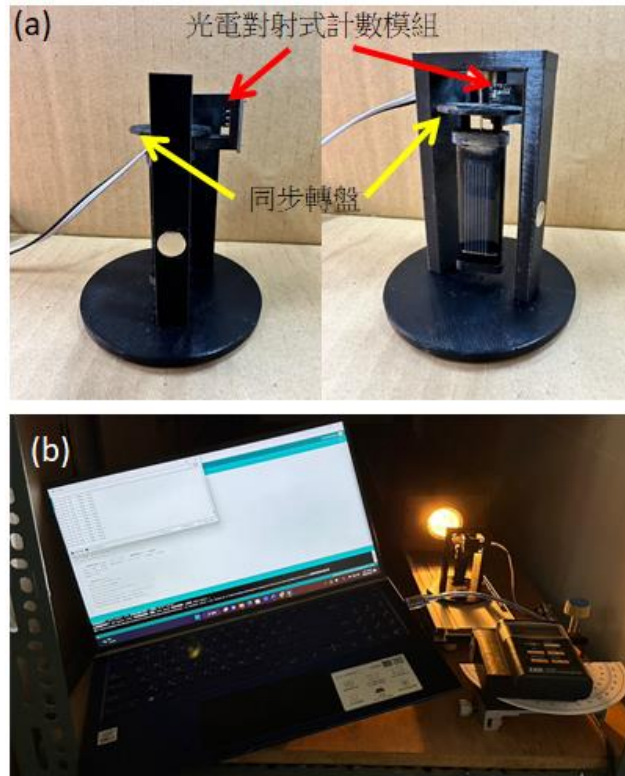


圖16 (a)光電計數模組與同步轉盤之結構，(b)轉子轉速測量實驗進行過程

表2 以光電計數器計算轉子轉速之程式碼

<pre> unsigned int count=0; int counterPin = 2; unsigned long time2; unsigned int rpm; unsigned int grid_num = 4;  void counter() {     count++; } void setup() {     Serial.begin(9600);     pinMode(counterPin, INPUT);     attachInterrupt(0, counter, FALLING);      count = 0;     rpm = 0;     time2 = 0; } void loop() {     if (millis() - time2 &gt;= 1000){         detachInterrupt(0);         rpm = (60 * 1000 / grid_num )/ (millis() - time2)* count;         time2 = millis();         count = 0;         Serial.print("RPM = ");         Serial.println(rpm, DEC);         attachInterrupt(0, counter, FALLING);     } } </pre>	<p>變數 count 用於紀錄脈衝信號的次數 計數器輸入引腳的編號 變數 time2 用於記錄上次計算轉速的時間 變數 rpm 用於儲存計算出的轉速值 變數 grid_num 用於記錄每一個轉一圈需要接收的脈衝信號次數</p> <p>在脈衝信號中斷服務程序中將 count 加1</p> <p>啟動串口通信，設置傳輸速率為9600 bits/sec 設置計數器輸入引腳為輸入模式 連接計數器輸入引腳中斷服務程序，當信號由高電位到低電位時觸發中斷 初始化計數器 count 為0 初始化轉速變數 rpm 為0 初始化時間變數 time2 為0</p> <p>每1000毫秒（1秒）計算一次轉速 中斷計數器輸入引腳的中斷服務程序 計算轉速</p> <p>更新時間變數 time2 將計數器 count 歸零 顯示計算出的轉速值 重新啟用計數器輸入引腳的中斷服務程序</p>
---	---

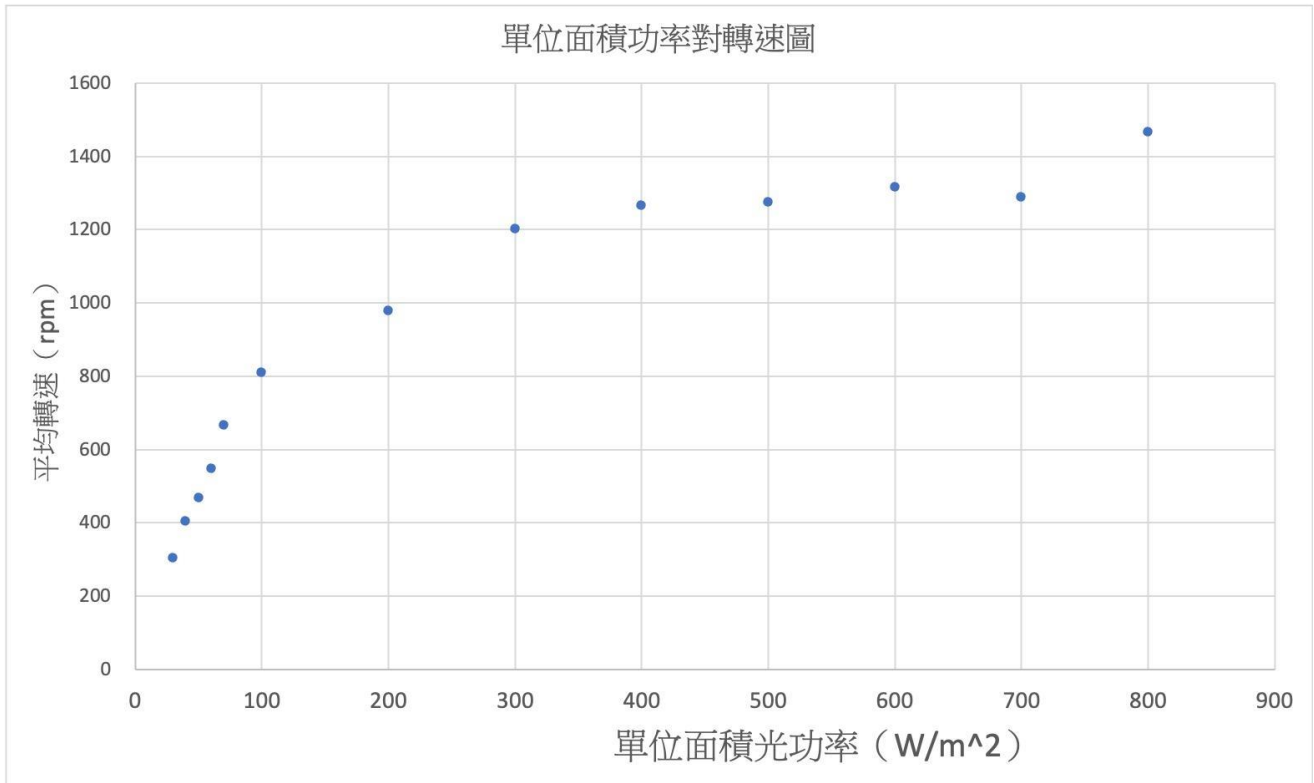


圖17 單位面積光功率與門多西諾馬達轉子轉速之變化趨勢圖

## 6. 結論

整體而言，本作品將科普常見之門多西諾馬達教具，透過 Arduino 的 PWM 控制電路調控 LED 光源強度，並配合 3D 列印之結構來調整 LED 光源照射轉子的角度，讓學習者了解如何讓 LED 亮度呈現線性變化的調控技術，有助於進一步理解多數直流馬達運作之基本操控技術。在測量實驗數據上，更採用光電計數器結合 Arduino 電路測量轉子轉速，藉此推論轉子內線圈電流的變化關係，克服難以量測高速轉子內部訊號的困難點。有助於將僅有現象討論的科普活動，增加活動的深度與廣度，並整合科學、工程與資訊的內涵，讓趣味動手做也可以具有科學內涵，工程技術、資訊邏輯。

## 7. 參考文獻：

- [1]. 羅于傑(2012):**承諾一個乾淨的未來—太陽能磁浮馬達和高效率磁浮小型電動機及風力發電機**。國立台灣科學教育館第52屆全國中小學科展作品生活與應用科學科第一名，未出版，台北市。2023年1月4日，取自：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=9479&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=9581>
- [2]. 蔡文璋、鍾嘉沅(2021): **太陽能電磁機**。國立台灣科學教育館第61屆全國中小學科展作品工程學(二)科，佳作，未出版，台北市。2023年1月4日，取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-052410.pdf?0.4125000867061317>
- [3]. Novák, Z., & Hofreiter, M. (2012, December). **Mendocino motor and a different approaches to its control**. In Proceedings of 15th International Conference MECHATRONIKA (pp. 1-6). IEEE.
- [4]. Konstantin(2017). **Solar Mendocino Motor**. Retrieved from <https://www.instructables.com/Solar-Mendocino-Motor>

# 2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

## 作品設計費支出明細表(複賽用)

隊伍名稱：湖內職人

項目名稱	費用	備註
LED 燈珠	200	
3D 列印 PLA 線材	600	
IC2 LCD 面板	300	
強力磁鐵	300	
松木條	200	
快乾膠	100	
大頭針	50	
線圈	100	
太陽能電池	300	
杜邦線	50	
光電計數器	100	
總價 (新台幣) (元)	2300	

註：除了大會所提供之 Arduino UNO 外，其餘作品設計費每組花費限額3,000元(大會不補助)。若作品有使用到網際網路，提供網路的設備不計入作品設計費，該設備只作為提供網路給作品使用。

複賽時並請提供「作品設計支出明細表」。