

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：永動機之謎_門多西諾馬達

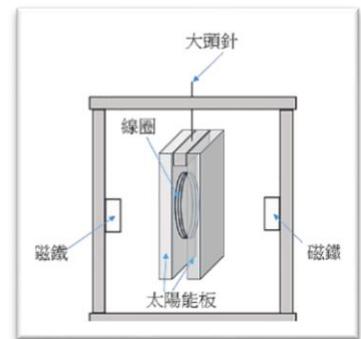
一、摘要

我們的作品主要是延續科學實作競賽賽題「門多西諾馬達」來進行探究。一開始看到它只靠太陽能板和磁鐵就能自己轉動，我們覺得很神奇，甚至有點像永動機，所以想要更深入了解它的原理。我們從「光的種類」、「距離」和「亮度」三個方向去做實驗。

在實驗中，我們試著用不同顏色的 LED 燈作為光源、調整光源和馬達之間的距離與改變光源的亮度，來觀察馬達的轉速有沒有變化。結果我們發現：光源的頻率越高(紫外光 > 藍光 > 綠光 > 紅光)、亮度越強，或是光源與馬達之間距離越近，馬達就會轉得越快。這說明門多西諾馬達的運作跟光電效應和電流磁效應有關，也讓我們對這兩個物理現象有更深的理解。

二、探究題目與動機

我們幾個人在去年參加了遠哲科學趣味競賽，賽題一「門多西諾馬達」，那是一個應用光能轉換成動能的裝置，簡易的構造如圖所示。網路上很多偽科學影片，標榜著可以做為永動機，沒有任何外力就可以讓這馬達一直轉動。其實此馬達的運作原理並非真正的永動機，而是依靠光照驅動的特殊馬達，以太陽能板和線圈製成轉子，置於磁場中。太陽能板照光後產生電壓，使線圈通入電流並產生磁場，利用磁場與磁場間的交互作用力推動轉子轉動。如果光線不足或沒有光，它就無法正常運轉。



競賽以製作線圈、轉子及支架結構，以獲得控制轉速的方法，以及高效率的能源轉換。在賽前準備時，有關光能部分，大會有提供的 LED 光源的規格，但我們卻發現很難加以掌握，明明在學校測試不錯，但到了現場所提供的 LED 光源以及測量環境不同，此賽題讓我們吃足了苦頭，沒有得到太多分數。經由競賽洗禮後，除了競賽設定的變因外，我們想進一步仔細去探討光源部分對轉速的影響，結合因此進行了這項的探究。

三、探究目的與假設

(一) 研究目的：

1. 不同光源種類對轉子轉速之影響。
2. 不同光源距離對轉子轉速之影響。
3. 不同光源亮度對轉子轉速之影響。

(二) 假設：

- 假設 1：不同頻率的光源會跟轉子轉速有關。
- 假設 2：不同亮度的光源會跟轉子轉速有關。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗原理

1. 光源種類

門多西諾馬達中的太陽能板可以做為轉子的基本原理為光電效應。光電效應是指金屬材料表面照光時，光子會將原子內的電子從金屬表面撞離釋出的現象，太陽能板就是光電效應的實際利用，而光電效應最後由愛因斯坦所提出的光量子理論以及能量公式來合理解釋：

$$E=hf=hf_0+\frac{1}{2}mv^2$$

(其中 h 為普朗克常數, f 光頻率, f_0 底限頻率, m 質量, v 速度)

他提出了產生的電流有無並非由光的強度所決定，而是由光的頻率所決定，而頻率超過特定值後，就能產生電流，頻率愈高，電流就愈大，這個頻率的特定值就叫做底限頻率(f_0)，每個金屬板都有他的底線頻率，而太陽能板 53x18 的底限頻率為紅光，所以我們的光源種類選了紅光、綠光、藍光和紫外光，這樣才有電流產生，也測試是否與理論相符，頻率愈高，產生的電流也愈大。



(截圖至影片 均一教育平台：光電效應實驗 <https://youtu.be/-P5Qmd8S4Ug?si=TujKdk-7dORiprI>)

2. 光強度

而當今天光的頻率超過底限頻率時，光強度大小就會影響電流大小了。光強度定義：每一秒通過每平方公里的光能量，光愈強，電流愈大，反之亦然，所以我們也用兩種變因測量是否與光強度有關，一是光強度，二是光源與轉子之間的距離。

3. 電流磁效應

轉子是由兩個太陽能板與線圈所組成，當光照到太陽能板上產生電流，因電流磁效應使線圈像一顆電磁鐵與旁邊兩顆場磁鐵交互吸引排斥進而使轉子轉動，可由必歐-沙伐定律來驗證：

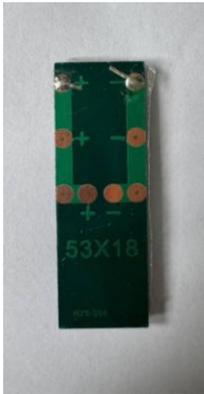
$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i\Delta l \times \hat{r}}{r^2}$$

可得磁場大小與電流成正比。

而我們量化轉子強度的方式，是利用轉速計測得轉速，電流愈大轉速愈高。

(二) 研究過程

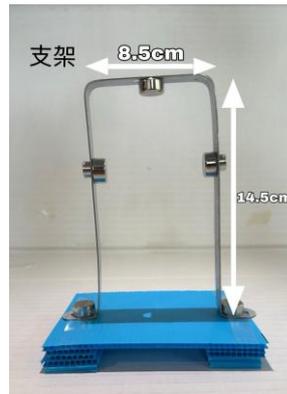
1. 研究設備與器材



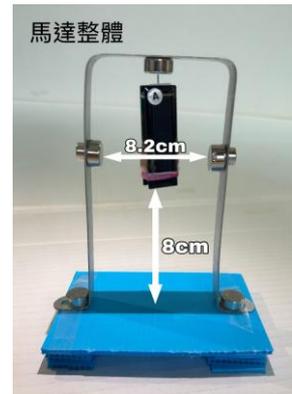
太陽能板(53x18)



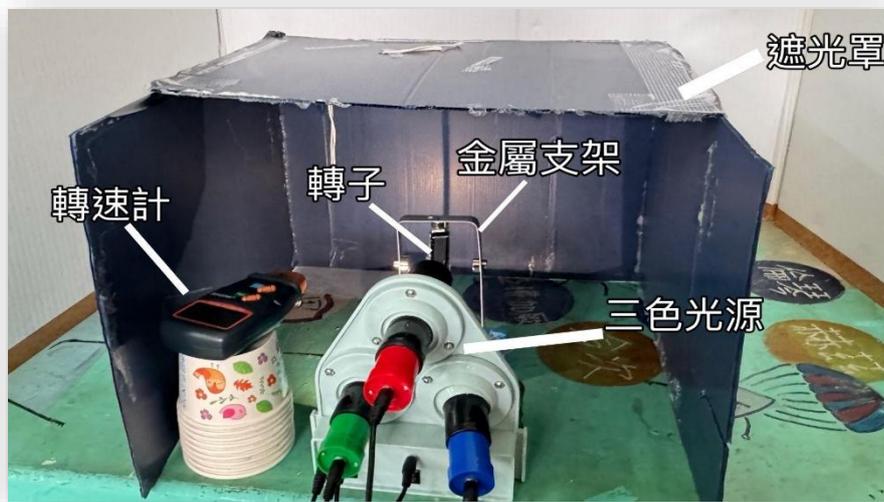
轉子



馬達支架



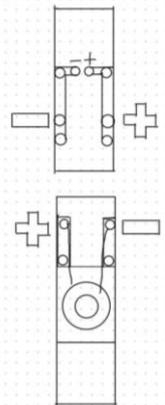
馬達整體



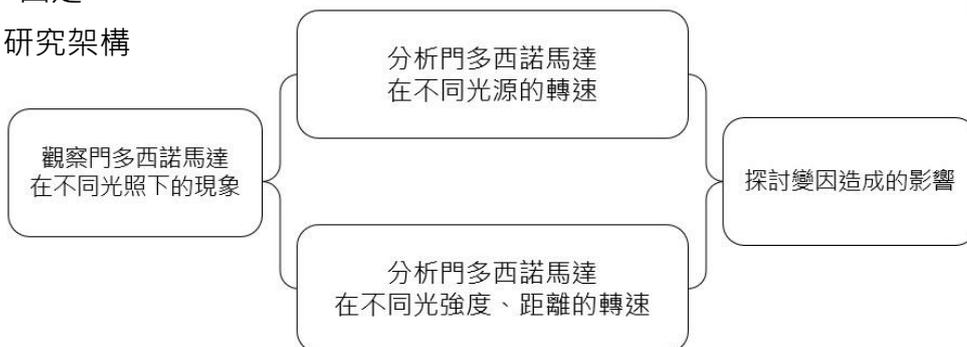
偵測轉速裝置

2. 轉子製作

- (1) 先將一片太陽能板(型號：53x18)與線圈相互焊接。
- (2) 線圈是用線徑 0.01mm 的銅線，沿同一方向纏繞約 1500 圈，線圈整體直徑約為 2.1cm。
- (3) 將兩片的太陽能板以串聯形式焊接。
- (4) 頂部再黏上大頭針，底部再利用泡棉膠、橡皮筋或結合片使轉子固定。



3. 研究架構



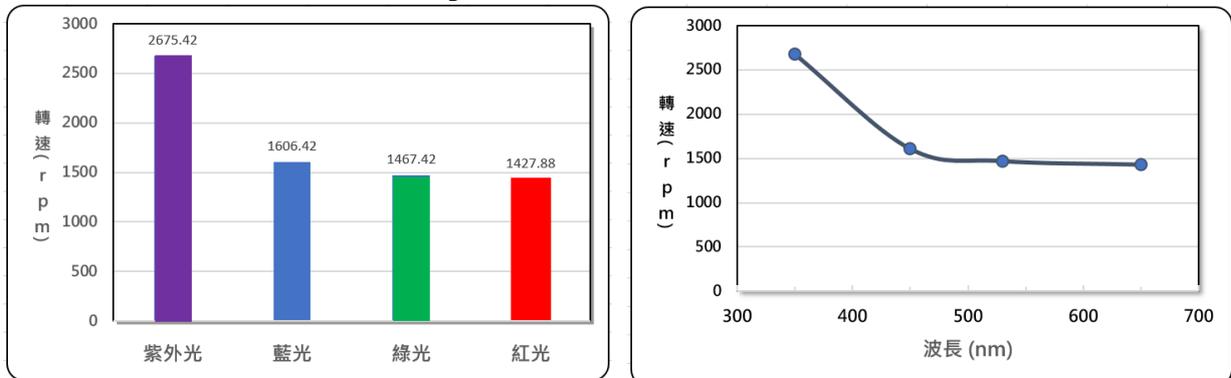
(三) 探究方法

1. 先用尺量出轉子與光源間的確切距離。
2. 轉子放上支架開啟光源，光源對準轉子，使其轉動。
3. 利用轉速計來測轉子的轉速，轉速計是雷射轉速計(型號 DT-2234C)，轉速由面板上的數據(單位：RPM)所得，因馬達轉速會有一段加速過程，所以數據的採計是先等待其轉速計所測得轉速連續 5 秒在 ± 100 內(稱為穩定狀態)，再以每 10 秒記錄一次總共 5 次，不同變因的實驗都以此類推，最終得出數據再取平均值。

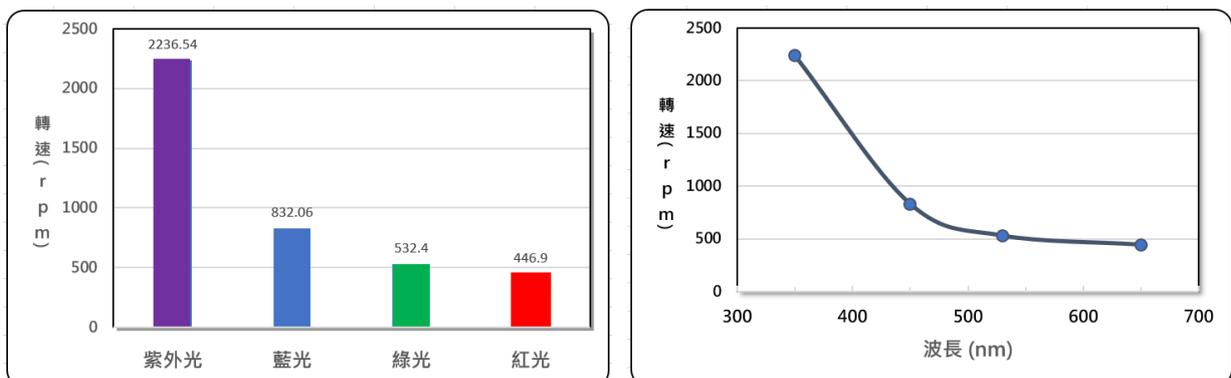
(四) 實驗結果及數據

[實驗一]不同光源(紫外光、藍光、綠光、紅光)與距離對轉子轉速的影響

- 操縱變因：光的波長(紫外、藍、綠、紅)、距離(5cm、10cm)
- 控制變因：光源強度(42000Lux)、太陽能板型號與位置、磁鐵與馬達架構
- 應變變因：馬達的轉速 (rpm)



圖一 不同光源種類對轉子轉速的影響(光源亮度 100%，距離 5cm)

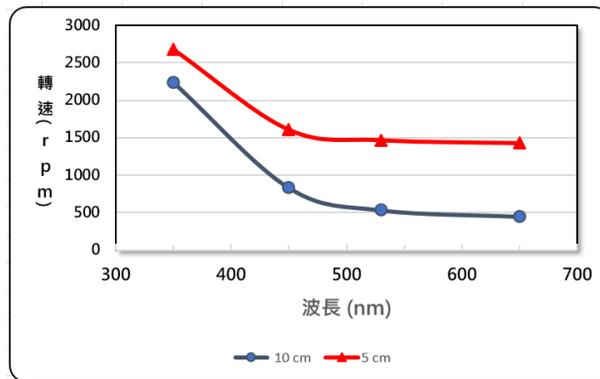


圖二 不同光源種類對轉子轉速的影響(光源亮度 100%，距離 10cm)

討論：

從圖一與圖二可看出實驗的結果與光電效應理論相符合。光電效應中，光子能量與波長成反比。紫外光的波長短，頻率最高($7.5 \times 10^{14} \sim 9.5 \times 10^{14}$ Hz)，因此能激發出更多的電子，提升太陽能板輸出電流，電流的磁效應最強，轉子與場磁鐵的交互作用力最大，轉速也就最快；反之，紅光的波長長，頻率最低($4.3 \times 10^{14} \sim 4.8 \times 10^{14}$ Hz)，產生的電流

也較低，電流的磁效應較弱，轉子與場磁鐵的交互作用力較小，轉速也就較慢。紫外光的轉速將近是紅光的 5 倍，且轉速隨光波長變長而逐漸下降。紫外光效果最明顯。



圖三 光源距離對轉子轉速的影響

討論：

- (1) 不管是何種光，其距離越近(5cm)，轉速越高，代表太陽能板接收到的光照強度較大。
- (2) 同一光源強度下，距離拉遠導致光能密度降低。特別是低能量光(紅光、綠光)對距離特別敏感，當距離由 5cm 拉長到 10cm，轉速卻降低至約原本的 1/3，顯示其本身能量不足，遠距離時效果大幅遞減。
- (3) 因光強度定義：每一秒通過每平方公尺的光能量，所以光強度與截面積成正比，與光源距離成反比。在相同規格的太陽能板，轉子截面積固定下，與光源距離愈近，光強度愈強，在底限頻率以上的光強度就能和電流強度成正比，與實際所得數據呈正相關。

[實驗二]不同光源亮度對轉子轉速的影響

- 操縱變因：光源亮度 (100%、66%、33%)
- 控制變因：同種光源、太陽能板型號與位置、磁鐵與馬達架構
- 應變變因：馬達的轉速 (rpm)

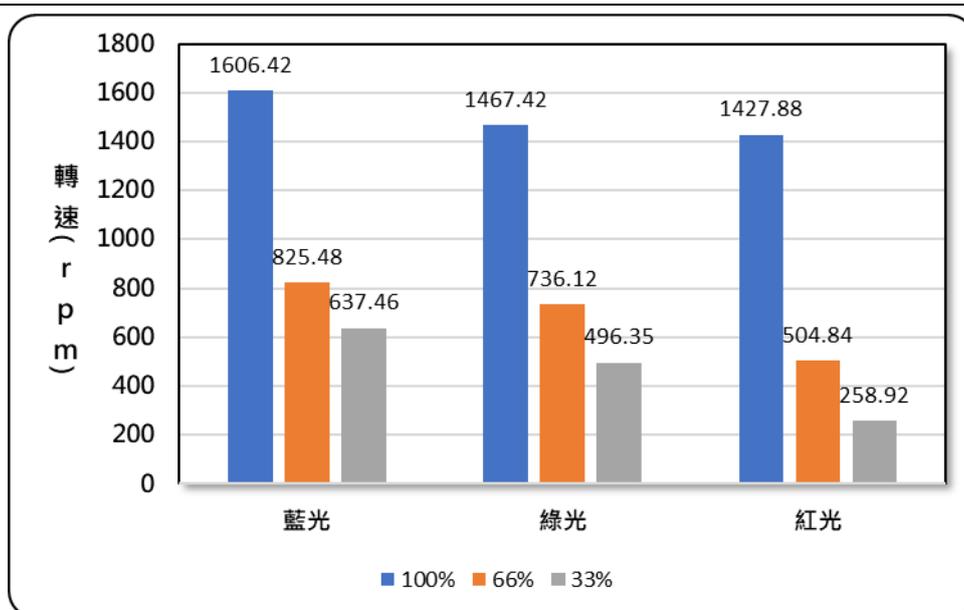
討論：

(1) 光源亮度與轉速呈現正相關

不論是藍光、綠光或紅光，隨著光源亮度從 33% (14000Lux)→ 66% (28000Lux) → 100% (42000Lux)，馬達的轉速均顯著上升。這表明：光源亮度愈高，太陽能板接收到的光能愈多，輸出電流也愈大，馬達運轉就越快。

(2) 不同光源的亮度敏感性差異

紅光的轉速下降最明顯 (100% → 33% 降幅高達 81.8%)，表示紅光本身能量較低，對於光強度變化特別敏感，低強度下幾乎無法提供足夠能量啟動馬達。藍光與綠光則呈現比較穩定的變化趨勢，尤其藍光在 33% 亮度下仍有 637.46 rpm 的表現。



圖四 不同光源亮度對轉子轉速的影響

五、結論與生活應用

(一) 結論

1. 實驗一可知：門多西諾馬達之光源頻率達底限頻率以上光，馬達都可以轉動；當光的波長短，頻率高，能量高，會讓馬達的轉速愈快；而光源距離馬達較近，光強度較高，轉速較快。
2. 實驗二可知：光源亮度越高，門多西諾馬達的轉速越快。馬達對紅光強度變化最敏感，顯示其在低強度下能量不足。藍光、綠光因光子能量較高，即使在 33% 強度下仍能維持部分轉速。
3. 綜合實驗數據，可以得知轉速與光頻率、底限頻率以上光之光強度成正比，與距離成反比，且透過理論也可推導，若光未超過底限頻率，無論光強度的大小，轉速皆為 0，因未產生任何電流，這與傳統物理學所認知之光的能量大小由振幅決定不同。且從不同光強度實驗之圖也可發現，每一單色光的亮度相同皆為 42000Lux，但同樣光強度下所產生的轉速不同，也間接證實了光源影響轉速大小的方式並不只有光強度一種方法。

(二) 生活應用

在生活中並不常見門多西諾馬達，但利用它有光即能轉動的特性，加上不需消耗電能或化學能的非再生能源之優點，我們認為它能在光照充足的地方成會具備良好的動力來源，像是魚塢當中的水車，或是農田的水泵，又或是廣場的噴水池，此馬達都是一個良好的動力，不必花費額外的錢裝設電力，是良好的環保能源。

參考資料

- (一) 葛士瑋，寶工科學玩具 x STEM 課程中心，[門多西諾馬達探究與實作](#)。2023/10/18。
- (二) 佑來了，[【Fun 科學】門多西諾永動機之謎\(mendocino motor\)](#)。