

2025仰望盃全國科學HomeRun實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱: 無限的黃金迴旋!

作品名稱: 溫暖時光~溫控水浴旋光度計

科學概念1: 偏振光的旋轉本質源於光波的相互作用。線偏振光可視為左旋圓偏振光 (LCP) 和右旋圓偏振光 (RCP) 的疊加, 當其通過旋光性物質時, 物質對 LCP 和 RCP 施加不同的折射率, 導致兩者產生不同的光學路徑差 (Optical Path Difference, OPD), 進而產生相對相位差 (Phase Difference)。這種相位差改變了合成後線偏振光的方向, 形成旋光現象 (Optical Rotation)。

科學概念2: 當偏振光穿過偏振片時, 若其偏振方向與偏振片的透過軸一致, 則光的強度最大; 若兩者有角度差, 則光的強度會減弱, 此現象符合馬呂斯定律 (Malus' Law)

$$I = I_0 \cos^2 \theta_i$$

其中透射光的輻照度為 I , I_0 為入射光強度, $\theta_i = \theta_1 - \theta_0$

為入射光與偏振片透過軸之間的夾角。旋光度計透過測量不同角度下的光強變化, 推算出旋光角度。當光通過旋光性物質後, 原本的偏振方向發生旋轉, 進入分析偏振片後的光強度也隨之改變。

決賽成果報告書內文

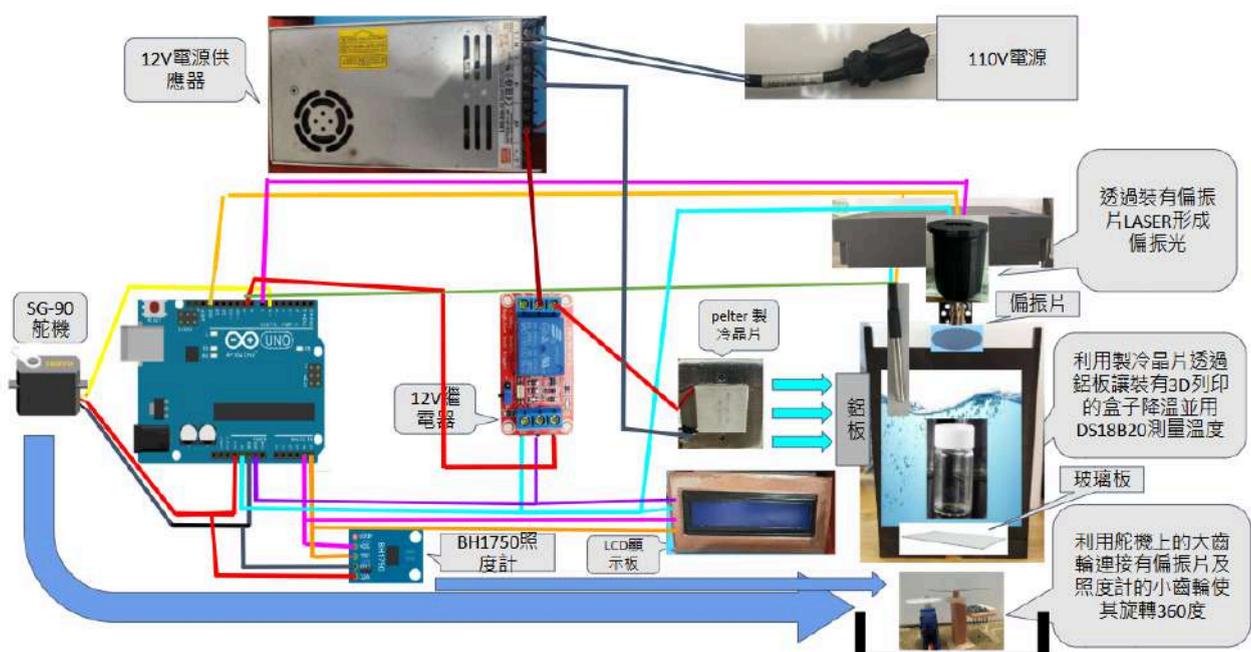
1.發想動機：

目前市面上的旋光度計雖然測量精度高，但普遍存在價格昂貴且功能單一和不便攜帶等問題，尤其對於需要結合溫度控制的研究，往往需要額外搭配高成本的恒溫設備。為了降低成本並解決上述困境，我們想到了設計一款基於 Arduino 的旋光度計，能夠結合溫控功能並實現方便攜帶，適合教育、科研和個人學習使用。

2.作品創意性：

市售高階旋光儀價格昂貴，中小型實驗室難以負擔。本設計以不到 5% 的成本，實現溫控旋光測量，具便攜性與低成本等優勢。本系統採用 Peltier 進行溫控，搭配 Arduino、DS18B20 溫度感測器與簡單電子元件，降低成本並提升靈活性。相比市售設備，本裝置體積小、重量輕，適合教育與基礎研究。但測量精度仍與高階設備有差距。市售旋光儀具精確的溫控與光源，並能自動校準，高準確性。本設計適用一般測量在精度需求仍需改進。為提升精度，可透過標準樣品校準確保一致性。此外，光學元件折射影響亦需修正，以減少誤差。總結，本系統適用於教育與基礎研究。未來可改進穩定性與自動校準，提升精度，以滿足高需求的應用。

3.硬體及電路架構圖：



4.作品成果報告:

A.實驗與裝置改良:

做為一個結合光學和化學儀器的研究，研究過程中最重要的必然是對該裝置的測試與改良，由於第一代在測量過程中有需多的問題，導致實驗上出現極大的誤差與研究速度過於緩慢，因此我們設計了第二代藉此解決以下六個問題:

	原型機	最終成品
問題與改良1	3D列印材質PLA會有些微滲水。	改成PETG材質的3D列印並且將漏水處塗上熱熔膠和接著填縫劑。
問題與改良2	高度過高導致LED燈和雷射燈在放進蓋子後會有些微歪斜導致實驗結果失準。	將容器整體高度縮小為原來的1/2倍，減少因高度產生的誤差。
問題與改良3	容器盛水量太多導致製冷晶片效率太差 溫度不易控制。	因高度的減少，容器體積因而縮小成1/2倍，雖然製冷晶片還是只能做到小幅度的控溫，但依然能達到保持恆溫的效果。
問題與改良4	製冷晶片的散熱效果太差導致無法有效製冷。	將導熱膏塗在鋁板與晶片的接觸面並且把換成更高功率的散熱風扇以增加製冷效果。
問題與改良5	大齒輪與小齒輪時常無法對齊，再加上修改過程中才發現兩個齒輪的齒數沒有剛剛好兩倍。	重新3D列印支架與泡棉膠固定後才發現兩個齒輪的齒數沒有剛剛好兩倍。

B.裝置校正與程式設計

使用旋光度計時，首先，上下兩個偏振片的偏振方向需要一致，以此為基準才能正確測量旋光角，我們的目標就是利用此程式找出最大亮度時偏振片的夾角角度差，藉此來校正旋光角的誤差。

```
void scanAndMoveToBrightest() {  
  bestAngle = 0;  
  highestLux = 0;  
  Serial.println("開始掃描最亮光源...");  
  
  for (int angle = 0; angle <= 180; angle++) {  
    myServo.write(angle);  
    delay(200);  
  
    float lux = readAverageLux(3);  
  
    if (lux > highestLux) {  
      highestLux = lux;  
      bestAngle = angle;  
    }  
  }  
}
```

程式分析：

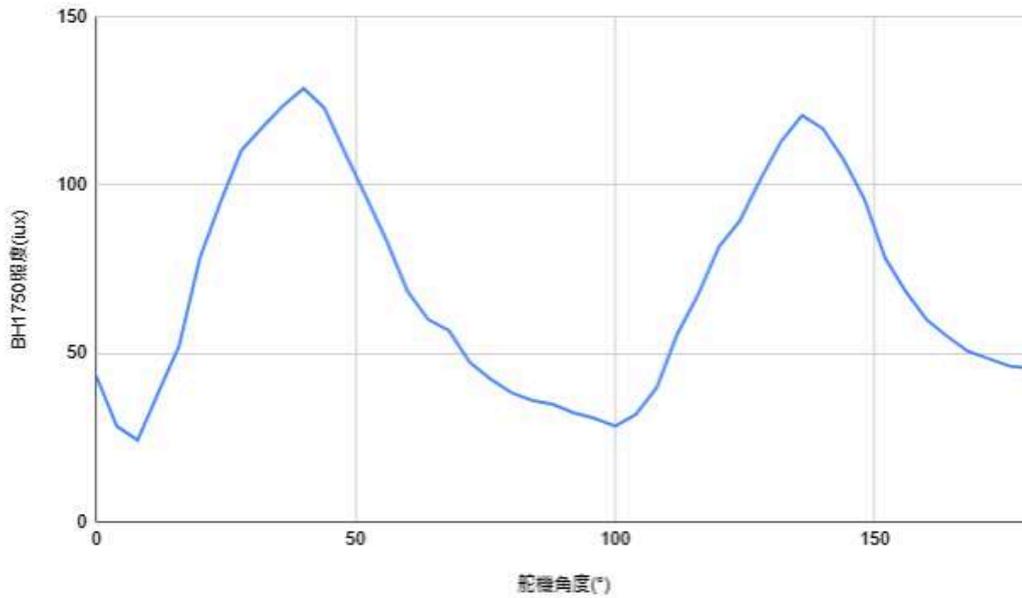
當舵機第一次旋轉將會找到透光最強的角度(兩偏振片偏振相同方向的位置)，並在旋轉結束後再旋至那個角度，以確保偏振片位置正確，而我們還設計了一個重製舵機角度鍵，以免影響到後續旋光度的測量，但是如果在齒輪卡著偏振片的情況下按了重置就會連齒輪一起重製，所以我們會將舵機移開齒輪後再重製。

C.實驗器材與樣品：

樣品	濃度
空罐	無
純蜂蜜	100%
葡萄糖水溶液(5g+5ml)	50%
豐年果糖	100%

D.實驗結果分析:

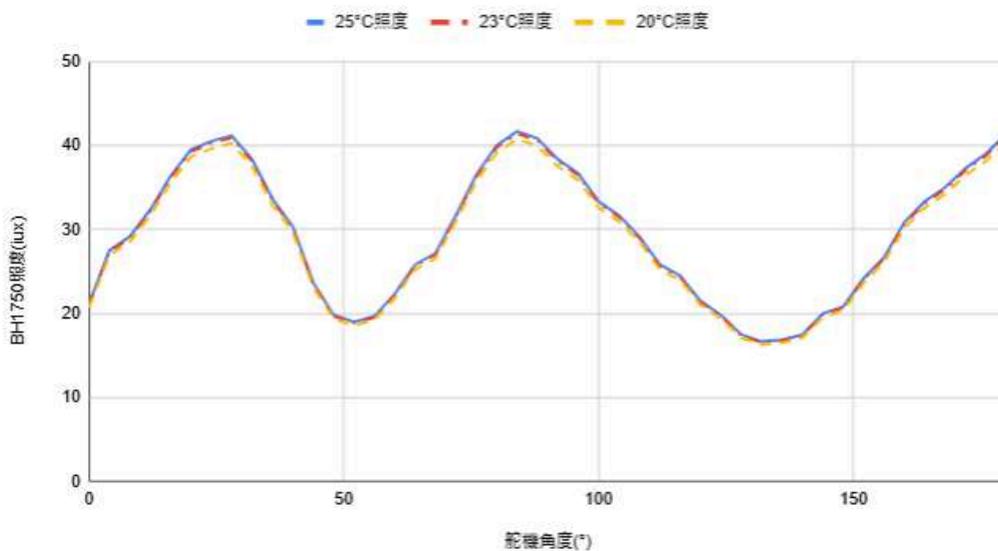
25°C下空罐之旋光角折線圖



附註:橫坐標是齒輪實際旋轉角度 $\times 1/2$ 因為我們要讓大齒輪帶動,小齒輪上的偏振片轉 360° 所以用了**60齒**的大齒輪和**30齒**小齒輪而舵機實際轉的角度是小齒輪轉的 **$1/2$** 。

空罐樣品作為背景參考,未含旋光物質。照度變化僅因偏振片旋轉所致,圖形呈標準對稱波形,反映系統運作穩定,無旋光性干擾。

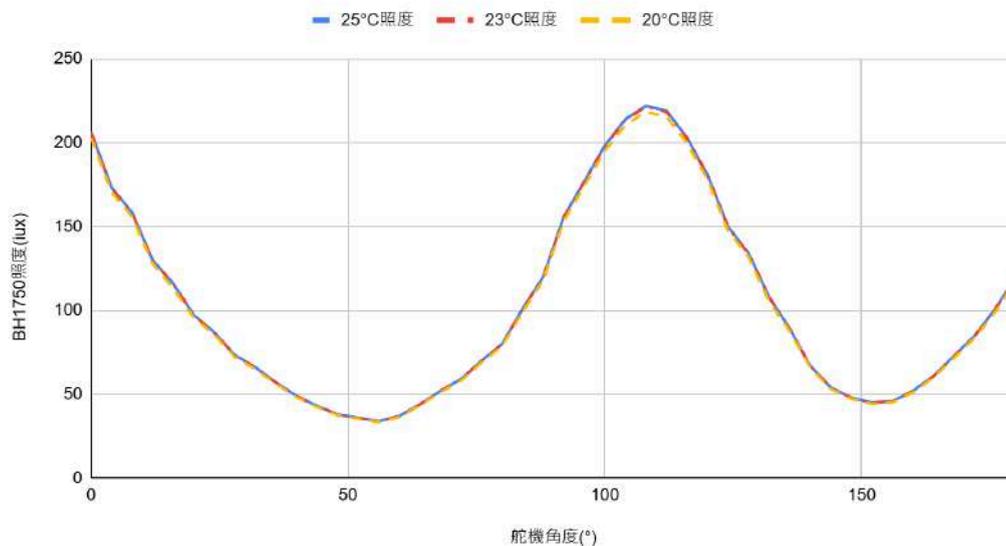
不同溫度下果糖之旋光角折線圖



果糖溶液在相同三種溫度下的測量結果亦呈現類似週期性波動,整體照度略低

於葡萄糖，顯示其旋光性仍清晰可辨，但旋光角及其溫度變化程度略有不同。

不同溫度下50%葡萄糖之旋光角折線圖



這張圖顯示葡萄糖溶液在20°C、23°C與25°C三種溫度下的照度變化曲線。三條曲線皆呈現穩定週期性波動，顯示旋光角存在且隨溫度變化略有偏移，峰值與谷值位置顯示其旋光特性明顯。

樣品	角度	照度(lux)	角度	照度(lux)
空罐	18°	19.3	200°	18.1
葡萄糖水溶液 25°C(5g+5ml)	112°	34	304°	45
葡萄糖水溶液 23°C(5g+5ml)	112°	33.9	304°	44.9
葡萄糖水溶液 20°C(5g+5ml)	112°	33.5	304°	44.3
純蜂蜜	失敗	失敗	失敗	失敗
豐年果糖25°C	104°	18.9	280°	17.5
豐年果糖23°C	104°	18.8	280°	17.4

樣品	角度	照度(lux)	角度	照度(lux)
豐年果糖20°C	104°	18.5	280°	17.1

表 2 各種糖類在自造旋光儀旋轉 360 度時，所測得兩次照度最低時的角度

結論：

本研究透過自製之溫控水浴旋光度計，成功測得**50%**葡萄糖溶液、果糖溶液以及空罐樣品於不同溫度下的旋光行為與透光強度變化，並藉由 **BH1750** 光感測模組進行量化分析。

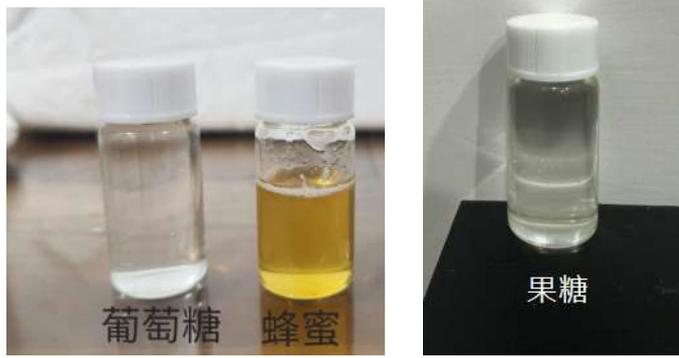
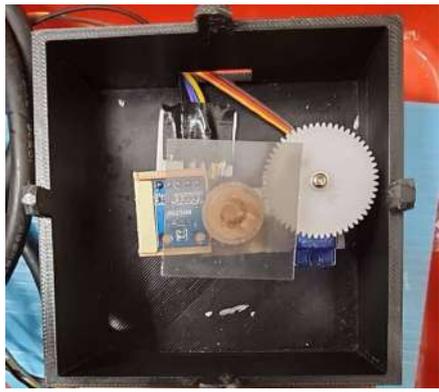
結果顯示：

- 1. 空罐樣品 (25°C) :**照度變化呈現週期性波動，符合偏振光通過偏振片所形成的干涉強度分布，峰值與谷值每**180°**週期性出現。由於樣品不具旋光性，因此其變化僅來自偏振片之間的相對角度，為本系統提供穩定且可信的背景基準。
- 2. 葡萄糖溶液 :**在**20°C**、**23°C**、**25°C**下，照度曲線皆呈現明顯的正弦形波動，顯示旋光現象明確。隨著溫度升高，照度波峰位置略微右移，推測其旋光角隨溫度變化而產生輕微偏移，符合旋光角受溫度影響的理論趨勢。
- 3. 果糖溶液 :**在不同溫度下亦觀察到相似的週期性波動，且曲線變化趨勢與葡萄糖相近，但整體照度數值略低。同樣出現溫度升高導致波峰右移之情形，顯示果糖旋光角亦受溫度影響。
- 4. 蜂蜜樣品 :**由於蜂蜜濃稠度高，且容易產生氣泡與不均勻折射，導致光線穿透受阻，造成測量數據極度浮動且無法穩定重現，最終判定無法進行有效測量。該經驗指出樣品的物理性質對旋光測試的可行性有顯著影響，未來可考慮稀釋或過濾處理以提升可測性。

綜上所述，本實驗證實自製旋光度計，可有效區辨不同旋光物質於各溫度條件

下的旋光角行為。雖蜂蜜樣品測試失敗，亦反映旋光測量對樣品物理條件具敏感性，對儀器改進與實驗設計具有啟發意義。未來再改良可進一步應用於糖類定量分析或探索旋光性物質的熱依賴性，拓展於化學、食品或生醫領域之應用潛力。

E.成品與樣品照片

 <p>葡萄糖 蜂蜜 果糖</p>	
<p>圖1:實驗樣品</p>	<p>圖2:旋光度計內部</p>

	
<p>圖3:雷射偏振光源</p>	<p>圖4:BH1750及下偏振片</p>



圖5:鋁板(左)和製冷晶片(右)



圖6:製冷晶片背後的散熱風扇

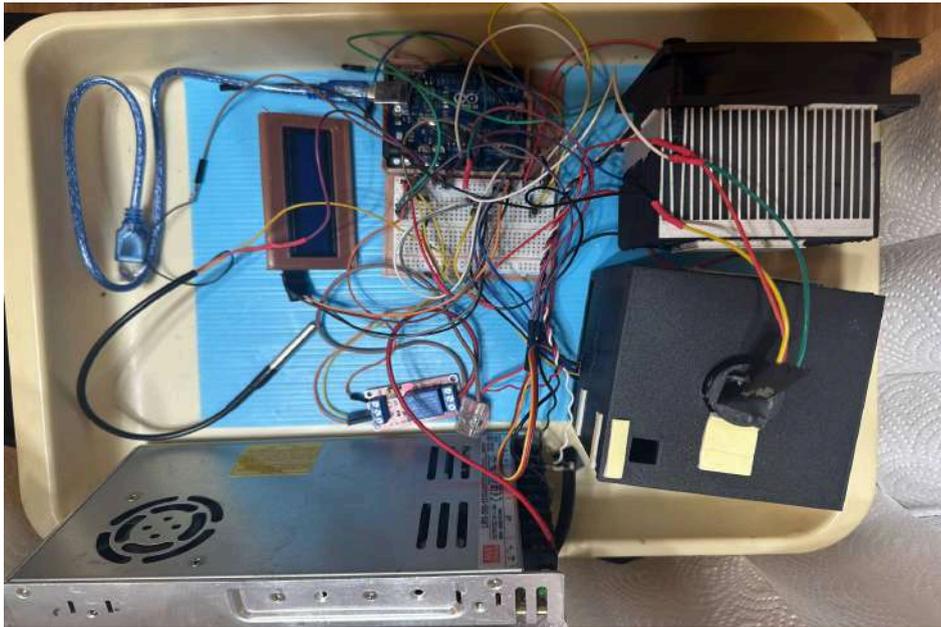


圖5:溫控水浴旋光度計成品 (上視圖)

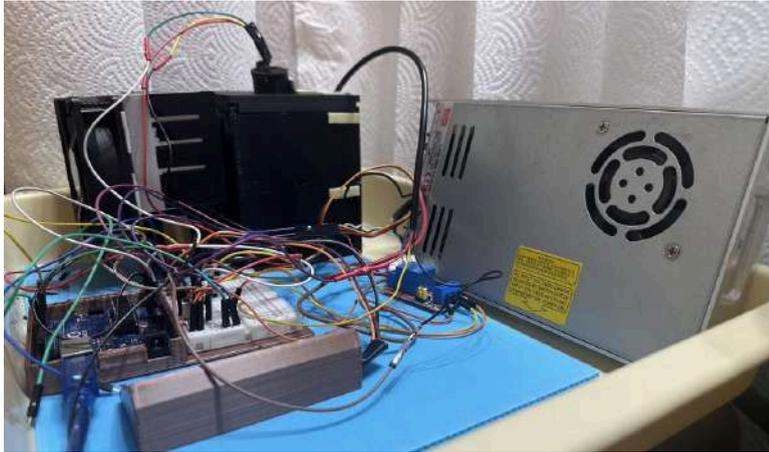


圖6:溫控水浴旋光度計成品(側視圖)

8.參考文獻:

1.旺宏科學獎, 作品名稱:「天旋地轉」—自製旋光度計結合 Arduino 作業平台探討醣類水解速率

https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/16th/doc/SA16-446_final.pdf

2.旋光度計的測量原理

<https://www.nbchao.com/k/1590/>

3.台大教育發展中心CASE:自動旋光光度計

<https://www.youtube.com/watch?v=bwpyOC6UnG0>

4.第 52 屆中小學科學展覽會, 作品名稱: 微小旋光計

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/030819.pdf>

5.臺灣2007年國際科學展覽會, 作品名稱:了解抗氧化的「旋」機-利用自製的旋光儀來探討旋光性與抗氧化成分之間的關係

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2007/pdf/030019.pdf>