

114學年度普通型高級中等學校數理及資訊學科能力競賽

第4區複賽物理科實驗參考解

1. 驗證實驗用雷射光源（未經過偏振片）的電場震動方向是否均勻分布？請寫出理由來支持你的論點。

可利用一片偏振片做觀察，光源通過偏振片後，旋轉偏振片，根據穿過偏振片的光變化，可分為以下幾種狀況：

旋轉偏振片的觀察結果	偏振狀態
從亮到全暗，變化明顯、週期性	線偏振光
從亮到暗但不會全暗（有殘餘亮度）	部分偏振光
無論怎麼轉亮度都一樣	非偏振光、圓偏振光

大多數雷射筆在沒有特別加入偏振控制元件的情況下，仍會因腔內鏡面的反射與介質的雙折射，自發地產生主偏振軸，也就是說即使未經過偏振片，也多半是線偏振或部分偏振。

同學可根據觀察結果判斷，雷射光原是線偏振或部分偏振，但不管是線偏振或部分偏振，電場方向都不是均勻分布的。

2. 實驗原理：

根據 Malus 定律： $I = I_0 \cos^2 \theta$

（其中， I_0 為入射光強度， θ 為兩片偏振片的光透過軸夾角， I 為通過之光強度。）

當 $\theta = 90^\circ$ ，通過之光強度為0，表示此時為全暗。

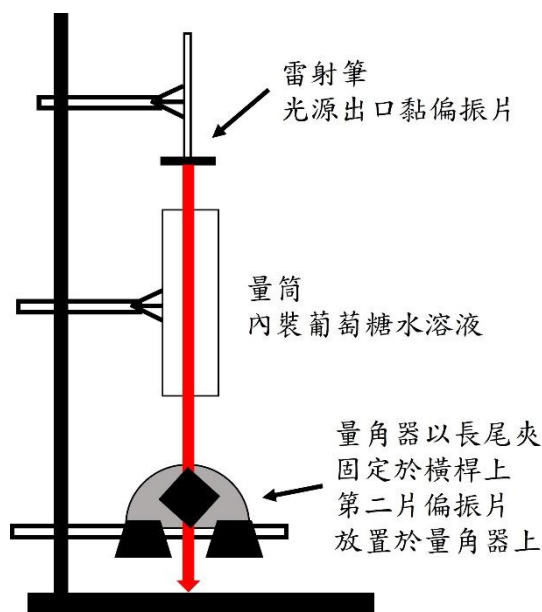
若在兩片偏振片之間加入葡萄糖水溶液，因其手性特性，光的偏振方向會旋轉 α 角度，而第二片偏振片也須跟著旋轉 α 角度，最後通過的光強度才會再次為0。可透過觀察通過第二片偏振的光為全暗，來反推得到旋光角 α 為多少。改變不同的葡萄糖水溶液濃度 m 與光程 l ，並記錄對應之旋轉角度 α ，透過回歸線分析與作圖分別找出旋光角 α 與濃度 m 之關係與旋光角 α 與光程 l 之關係。

上述中，葡萄糖水溶液濃度 $m = \frac{\text{葡萄糖粉重量(g)}}{\text{水體積(ml)}}$

以50g 葡萄糖粉配製不同濃度之水溶液所需水量對照表：

濃度 $m(\text{g/ml})$	50	40	30	20	10
水體積(ml)	100	125= 100+25	166.67= 125+41.67	250= 166.67+83.33	500= 250+250

實驗裝置示意圖：



實驗步驟：

- (1) 如實驗裝置示意圖架設器材，但先不放上量筒。
- (2) 第二片偏振片上面黏一根牙籤作為讀取角度之依據，牙籤起點與量角器中心對齊。
- (3) 旋轉第二片偏振片，當通過之雷射光變全暗停止旋轉，記下此時牙籤所指之角度為起始角度 θ_0 。
- (4) 放上量筒，觀察雷射光變全暗時，牙籤所指之角度是否改變，確認量筒之材質不具旋光性。
- (5) 配製濃度 50g/ml 葡萄糖水溶液：用燒杯取 50g 之葡萄糖粉末，加入 100ml 的水，確實攪拌至葡萄糖完全溶解。
- (6) 將濃度 50g/ml 葡萄糖水溶液倒入量筒中，至液面高度為 0.200 dm，紀錄此時牙籤所指之對應角度 θ 。(旋光角 $\alpha = \theta_0 - \theta$)
- (7) 改變量筒內液面高度分別為 0.370、0.710、1.050、1.390、1.730 dm，重複步驟(6)。
- (8) 將量筒內的溶液全部倒回燒杯中，依序再加入 25、41.67、83.33、250ml 的水攪拌均勻，配製濃度分別為 40、30、20、10g/ml 之葡萄糖水溶液，重複步驟(6)~(7)。
- (9) 將同一光程之旋光角 α 與濃度 m 取對數計算回歸線並作圖，由回歸線公式可得兩者之次方關係。再取同一光程之旋光角 α 與濃度 m 計算回歸線並作圖，回歸線公式即兩者之關係式。
- (10) 將同一濃度之旋光角 α 與光程 l 取對數計算回歸線並作圖，由回歸線公式可得兩者之次方關係。再取同一濃度之旋光角 α 與光程 l 計算回歸線並作圖，回歸線公式即兩者之關係式。

數據紀錄：

起始角度 $\theta_0 = 93.0^\circ$ ，以下表格紀錄為對應角度 $\theta (^\circ)$

光程 l (dm) 濃度 m (g/ml)	0.000	0.370	0.710	1.050	1.390	1.730
50	93.0	83.5	75.0	66.5	57.3	48.0
40	93.0	85.5	78.6	71.0	64.3	57.3
30	93.0	87.5	82.5	77.7	71.7	66.0
20	93.0	89.0	84.5	82.0	78.0	74.5
10	93.0	91.0	90.5	87.3	86.0	83.5
0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0

以下表格紀錄為旋光角 $\alpha (^\circ)$

光程 l (dm) 濃度 m (g/ml)	0.000	0.370	0.710	1.050	1.390	1.730
50	0.0	9.5	18.0	26.5	35.7	45.0
40	0.0	7.5	14.4	22.0	28.7	35.7
30	0.0	5.5	10.5	15.3	21.3	27.0
20	0.0	4.0	8.5	11.0	15.0	18.5
10	0.0	2.0	2.5	5.7	7.0	9.5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

分析與作圖：

(1) 為找出旋光角 α 與濃度 m 之關係，應先做 $\log(\alpha)$ 對 $\log(m)$ 的關係圖，說明如下：

由題意知 $\alpha = Am^x l^y$ ，其中 A 為比例常數

若將此式取對數可得 $\log(\alpha) = \log(Am^x l^y)$

$$\Rightarrow \log(\alpha) = \log(A l^y) + \log(m^x)$$

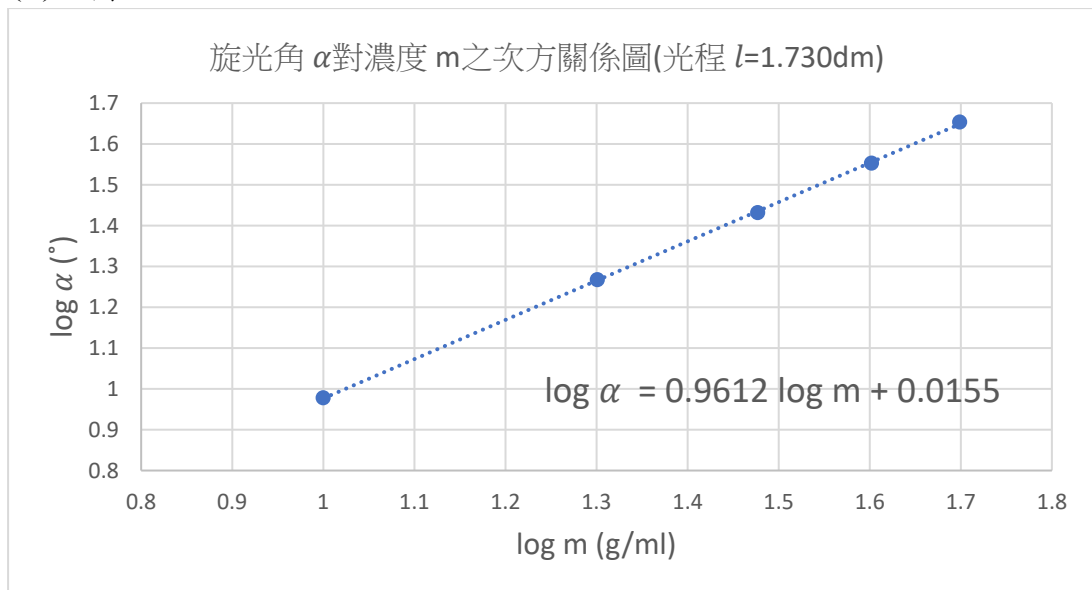
$$\Rightarrow \log(\alpha) = \log(A l^y) + x \cdot \log(m)$$

根據此推導可知，做 $\log(\alpha)$ 對 $\log(m)$ 的關係圖（即 α 對 m 的次方關係圖），其回歸線方程式 $\log(m)$ 項之係數即為 x 的值。

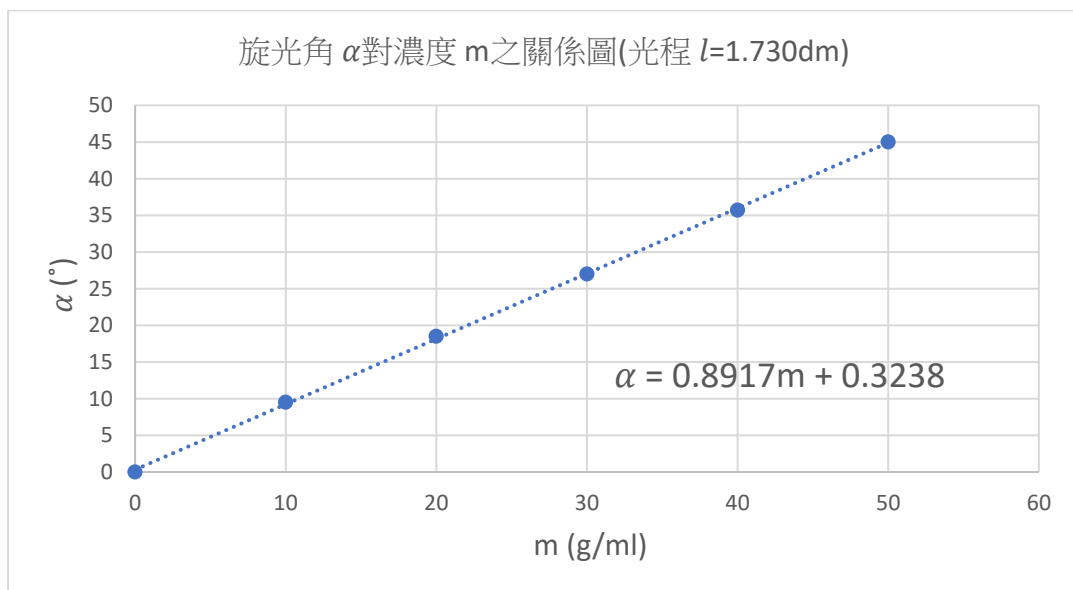
確定旋光角 α 與濃度 m 之次方關係 x 後，依此次方關係做旋光角 α 與濃度 m^x 之關係圖，其回歸線方程式即為旋光角 α 與濃度 m 之關係式。

同理，旋光角 α 與光程 l 之關係也可用同樣方式處理。

(2) 做圖



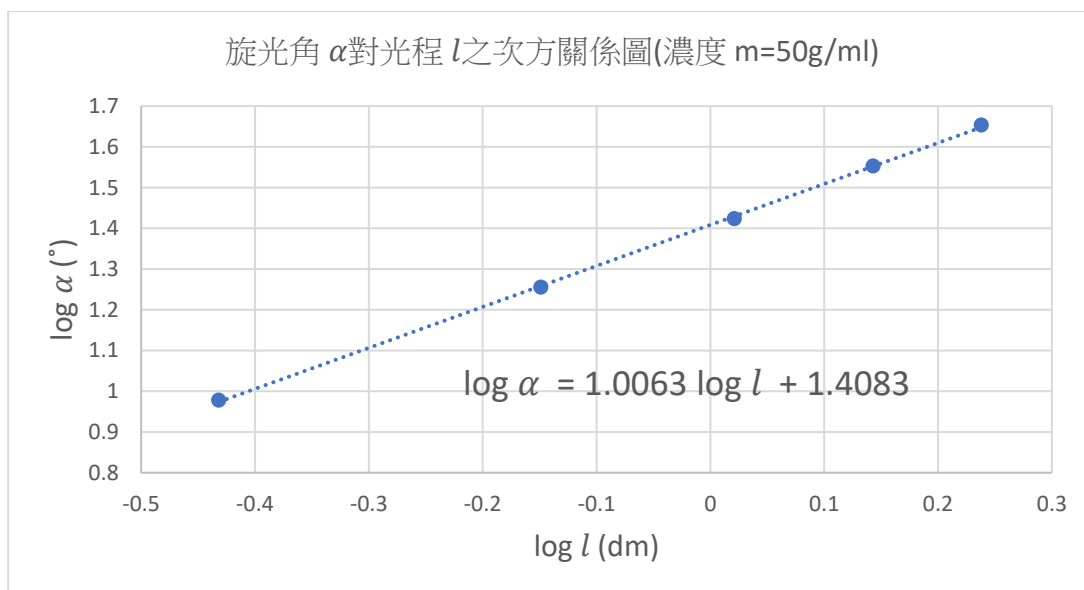
由作圖結果： $\alpha \propto m^{0.9612}$ ，因實驗存在系統誤差或隨機誤差，基本上可認定 $\alpha \propto m$ ，後續將以此次方關係繼續處理問題。



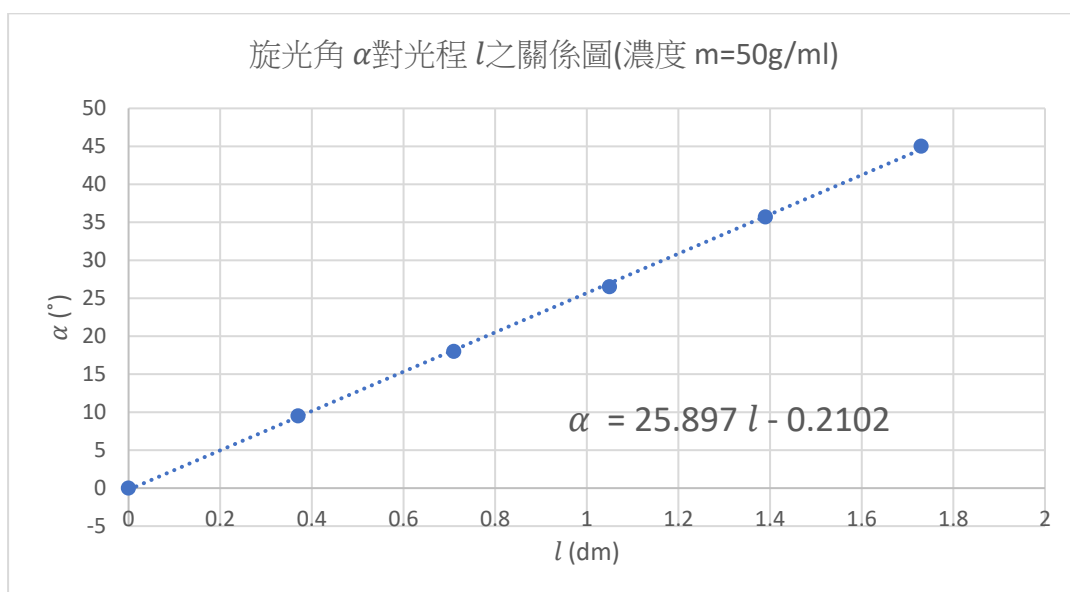
由作圖結果，旋光角 α 與濃度 m 之關係為： $\alpha = 0.8971m + 0.3238$

以上僅以光程 $l=1.730 \text{ dm}$ 之數據做圖舉例，其餘光程之結果整理於下表：

光程 $l \text{ (dm)}$	$\alpha - m$ 次方關係式	$\alpha - m$ 關係式
1.390	$\log \alpha = 1.0045 \log m - 0.1502$	$\alpha = 0.7140m + 0.1000$
1.050	$\log \alpha = 0.9573 \log m - 0.2058$	$\alpha = 0.5306m + 0.1524$
0.710	$\log \alpha = 1.1865 \log m - 0.7275$	$\alpha = 0.3649m + 0.1381$
0.370	$\log \alpha = 0.9546 \log m - 0.6523$	$\alpha = 0.1871m + 0.0714$



由作圖結果： $\alpha \propto l^{1.0063}$ ，因實驗存在系統誤差或隨機誤差，基本上可認定 $\alpha \propto l$ ，後續將以此次方關係繼續處理問題。



由作圖結果，旋光角 α 與光程 l 之關係為： $\alpha = 25.897 l - 0.2102$

以上僅以濃度 $m=50 \text{ g/ml}$ 之數據做圖舉例，其餘濃度之結果整理於下表：

濃度 m (g/ml)	$\alpha - l$ 次方關係式	$\alpha - l$ 關係式
40	$\log \alpha = 1.0155 \log l + 1.3135$	$\alpha = 20.721 l - 0.0807$
30	$\log \alpha = 1.0283 \log l + 1.1779$	$\alpha = 15.531 l - 0.3226$
20	$\log \alpha = 0.9742 \log l + 1.0380$	$\alpha = 10.625 l - 0.2028$
10	$\log \alpha = 1.0627 \log l + 0.6934$	$\alpha = 5.4476 l - 0.3167$

實驗討論：

- (1) 注意數據紀錄之有效位數，實驗使用之直尺最小刻度為0.1cm，需往後增加一位估計位，因此有效位數紀錄至小數點下第二位，單位若改用 dm，則有效位數紀錄至小數點下第三位。實驗使用之量角器最小刻度為1°，需往後增加一位估計位，因此有效位數紀錄至小數點下第一位。
- (2) 由於相同物理量的不同單位都可互相換算，若長度單位使用熟系的 cm 或 m 而非 dm，所得之數值不影響所求之次方關係或關係式，但務必將使用單位紀錄清楚。
- (3) 以肉眼判讀量角器或直尺等測量工具，都可能產生人為的判讀誤差。
- (4) 測量液面高度時視線應該平視，避免因視角造成之誤差。
- (5) 架設量筒時，應確保筒身與雷射光線平行，如此光經過溶液之光程才會等於溶液在量筒中的液面高度。
- (6) 若直尺不方便架設於量筒旁邊，也可善用1mm 方格紙，剪下適當長度黏貼於筒身，作為液面高度測量之規準。
- (7) 雖然理論上也可以用雷射光通過兩片偏振片後最亮的情況來判別旋光角，但肉眼較難分辨出最亮的情況，因此選擇最暗的情況來判別較妥適。
- (8) 雖然大部分雷射光源已是線偏振或部分偏振光，但為方便觀察到最暗的情況，實驗設計仍先讓雷射光源通過一片偏振片，再通過葡萄糖溶液與第二片偏振片。
- (9) 第一片偏振片可以直接用膠帶黏貼在雷射光源出口，但要注意不可讓膠帶出現在雷射光源通過之地方，避免雷射光源之偏振受到膠帶材質之影響。同理，若用膠帶將牙籤黏貼於第二片偏振片做為讀取角度之輔助，也應注意不可讓膠帶出現在雷射光源通過之位置。
- (10) 葡萄糖溶解於水中的速度較慢，必要時可攪拌加速溶解，建議可再架設器材前先進行葡萄糖水溶液配製，並確實等到葡萄糖水溶液完全變透明(完全溶解)後，才開始操作量測。
- (11) 葡萄糖水溶液建議由最高的濃度開始配製，須調整濃度時只要再添加水分進去攪拌均勻即可。
- (12) 由於提供之葡萄糖粉與水都有限量，實驗前應先計算好要操作的各個濃度，確保不會有葡萄糖粉與水不夠用的狀況發生。