

## 實驗六 光 柵

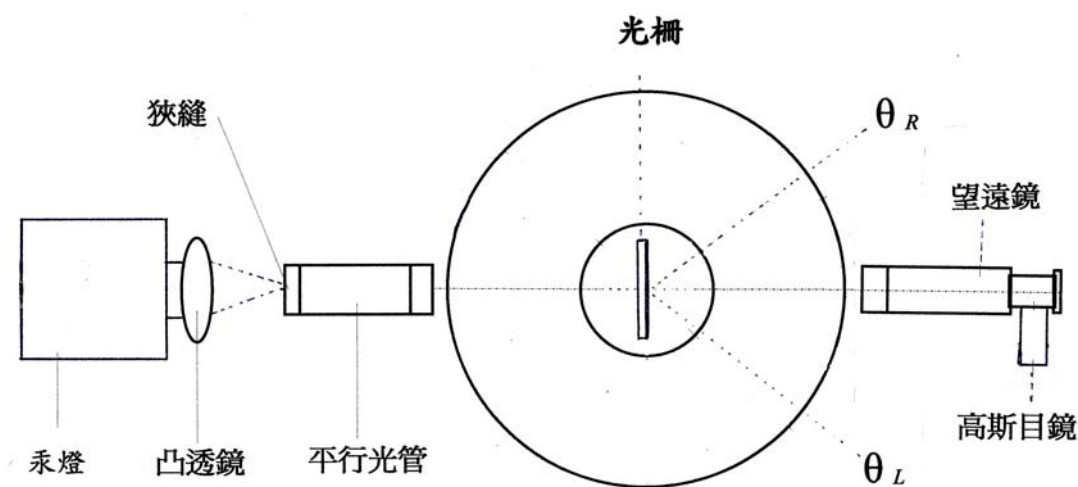
### 一·實驗內容：

1. 利用光柵(25000條/英吋) 正向入射第1階繞射、觀測汞燈光譜。
2. 利用光柵(3000條/公分) 非正向入射第9階繞射、測量鈉燈雙線光譜間距 $\Delta\lambda$ 。

### 二·實驗器材：

1. 分光計。
2. 鈉燈(含凸透鏡組)。
3. 汞燈(含凸透鏡組)。
4. 25000條/英吋(複製光柵)。
5. 3000條/公分(複製光柵)。
6. 放大鏡。

### 三·實驗步驟：



測量汞燈光譜裝置圖

#### 1·觀測汞燈光譜：

- (1) 參考反射光的偏極(實驗十)中的說明，先熟練分光計的調整步驟。(大略調整就可以)
- (2) 25000條/英吋光柵(夾在架上)，置於平臺中央，將有光柵薄膜的一面對向望遠鏡，用目測法、使光柵面與平行光管軸線相垂直後**固定大盤**。
- (3) 調整汞燈位置，使成像於平行光管的狹縫上，通過平行光管的燈光，均勻的照射在光柵中央。
- (4) 由望遠鏡看光譜，適當的調整狹縫寬度，使黃色雙線光譜清楚的分開。比對左右兩側譜線的高度、若不相同、旋轉與光柵面平行的水平調整鈕、即可修正。(小心不要完全鬆開)
- (5) 對照分光計實驗圖二(汞燈光譜分布圖)、仔細尋找以確定看到第一階、波長為  $6908\text{\AA}$  的紅色譜線。
- (6) 測量  $m = 1$  階中各譜線的左右繞射角  $\theta_R$  及  $\theta_L$ ，並將數據填於表一中：  
各譜線的平均繞射角  $\theta = |\theta_R - \theta_L| / 2$  計算其值後亦填於表一中。
- (7)  $A = |\theta_R - \theta_0| = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $B = |\theta_L - \theta_0| = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(註： $\theta_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  平行光管入射方向、當  $|A-B| > 1^\circ$  時、代表光柵面與平行光管入射方向不垂直、使光譜左右繞射角差異太大、可利用大盤微調鈕轉動光柵面來修正。)

(8) 利用光柵垂直入射繞射公式  $d \cdot \sin \theta = m \lambda$ ，計算對應之譜線波長，將結果填於表一中，經由回歸計算後、再計算其百分誤差“ $\Delta\%$ ”。(測一條算一條、有問題立刻解決)

表 一：

m	波長標準值 (Å)	$\theta_R$ ***° **′	$\theta_L$ ***° **′	$\theta$ **.*°	$\lambda$ (Å)			誤差 %
					測量值	$\delta_i$	回歸後數值	
1	6907.5							
	6234.4							
	5790.7							
	5769.6							
	5460.7							
	4916.1							
	4358.3							
	4077.8							
	4046.6							

(9) 因入射光的垂直誤差、角度盤的機械誤差、以及溫度、濕度對光柵線間距離的影響、“波長測量值”會因上述的固有誤差、造成全面的偏大或偏小、所以要作“回歸修正”計算才能大幅降低實驗結果的“絕對誤差”。

波長測量值誤差  $\delta_i = (\text{波長測量值} - \text{波長標準值}) / \text{波長標準值}$  (註：保留正負號)

波長測量值誤差的平均值  $\langle \delta \rangle = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \delta_i = \underline{\hspace{2cm}}$

波長回歸後數值(波長絕對值) = 波長測量值 / (1 +  $\langle \delta \rangle$ )

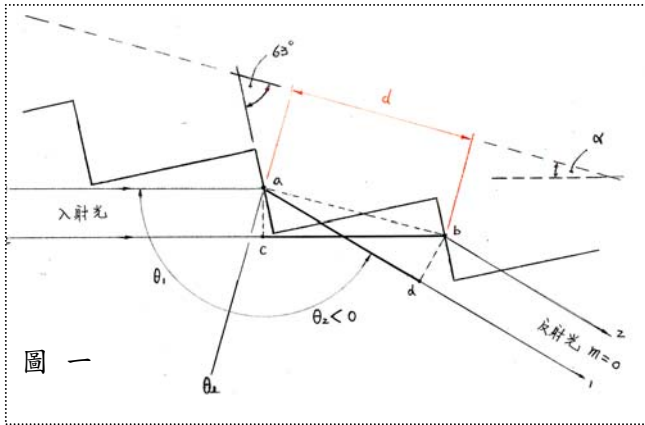
波長的絕對誤差 = [ (波長回歸後數值 - 波長標準值) / 波長標準值 ] X 100%

# 利用反射式閃耀光柵(echelle grating)測量鈉光燈紅黃綠靛四種顏色的雙線光譜

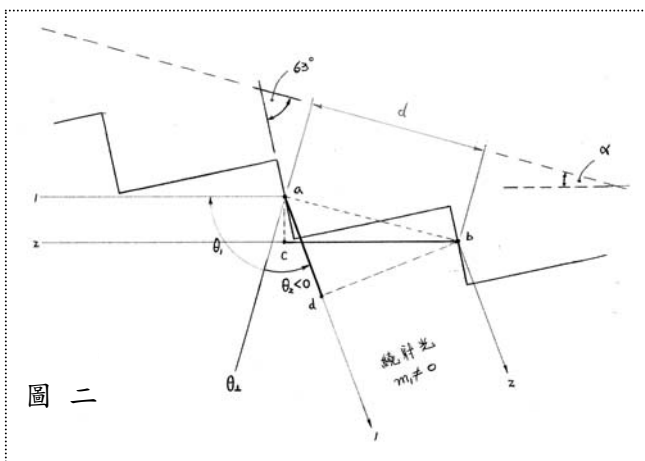
規格：閃耀角：63度，刻痕密度：316條/mm，長：25.4mm，寬：12.5mm。

(注意：光柵絕對不可擦拭、觸摸、吹氣)

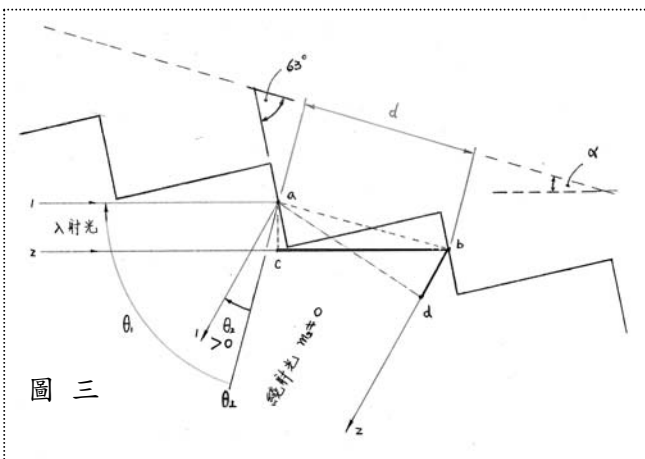
原理：



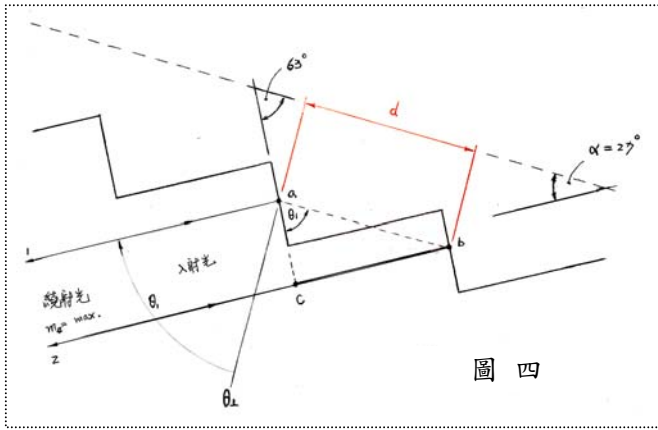
1. 如圖一所示， $\theta_{\perp}$  是光柵平面的法線方向， $d$  為刻痕間距， $\theta_1$  為入射角  $\theta_2$  為繞射角，兩者均由  $\theta_{\perp}$  量起，順時針為正、逆時針為負，當  $\theta_1 = -\theta_2$  時（滿足反射條件），因  $\overline{ad} = \overline{cb} = d \cdot \sin\theta_1$  則光束 1 與光束 2 間光程差為零，即射出光沒有繞射現象 ( $m=0$ )。



2. 如圖二所示，光束 1 與光束 2 間光程差  $\Delta = \overline{cb} - \overline{ad}$   
 (  $\overline{cb} = d \cdot \sin\theta_1$  ,  $\overline{ad} = d \cdot \sin\theta_2$  )  
 因大部份繞射光被反射點平面遮擋，繞射效率較差（即譜線較弱）。



3. 如圖三所示，入射角  $\theta_1$ 、繞射角  $\theta_2$  在光柵平面法線的同側，光程差  $\Delta = \overline{cb} + \overline{ad}$ ，因繞射光沒有被反射點平面遮擋，繞射效率較高譜線較亮(一般多用於此狀況)。
4. 但此時因繞射的窗口寬度較大，單狹縫繞射的第一階暗紋位置小於 90 度，可能會吃掉某一階繞射光譜，增加譜線判讀上的困難（即  $m=?$  會數錯）。



圖四

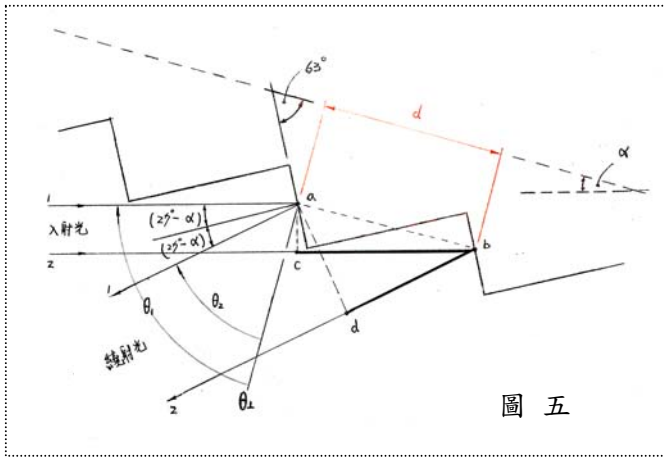
5. 如圖四所示，當入射光與繞射光剛好在閃耀角上

$$(即 \theta_1 = \theta_2 = 63^\circ)$$

$$光程差 \Delta = 2 \cdot \overline{cb} = 2d \cdot \sin \theta_1$$

在這種狀況下，因繞射光滿足反射條件且入射光的窗口最大，使得第  $m$  階 ( $m = \Delta / \lambda$ ) 的干涉亮線，剛巧落在單狹縫繞射的零階亮帶中央，故譜線最亮，這就是為何稱此光柵之閃耀角為  $63^\circ$  的原因。

6. 將閃耀光柵安裝在分光計上，因平行光管與望遠鏡無法重疊（二者間最小夾角大約  $30^\circ$ ），故無法使用如圖四所示的最佳狀態，只能依圖五所示的光路徑來使用，使光柵的表現儘可能的接近理想。



圖五

7. 如圖五所示，因平行光管與望遠鏡間夾角要  $>30^\circ$

$$則 (27^\circ - \alpha) > 15^\circ \text{ 知 } \alpha < 12^\circ$$

$$入射角 \theta_1 = 90^\circ - \alpha$$

$$繞射角 \theta_2 = 36^\circ + \alpha$$

(繞射光滿足反射條件時—譜線最亮)

$$8. \quad m \lambda = d \cdot (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$由公式(1)得 \quad d \lambda = \frac{d}{m} (\cos \theta_1 \cdot d \theta_1 + \cos \theta_2 \cdot d \theta_2) \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$例一: \quad \alpha = 10^\circ, \quad \theta_1 = 80^\circ, \quad \theta_2 = 44^\circ, \quad d \theta_1 = 0, \quad d \theta_2 = 2.909 \times 10^{-4} \text{ 徑 (即 1 角分)}, \quad m = 9$$

$$d \lambda = 0.74 \overset{\circ}{\text{Å}} / 1 \text{ 角分} \quad (\text{設 } \lambda = 589.3 \text{ nm})$$

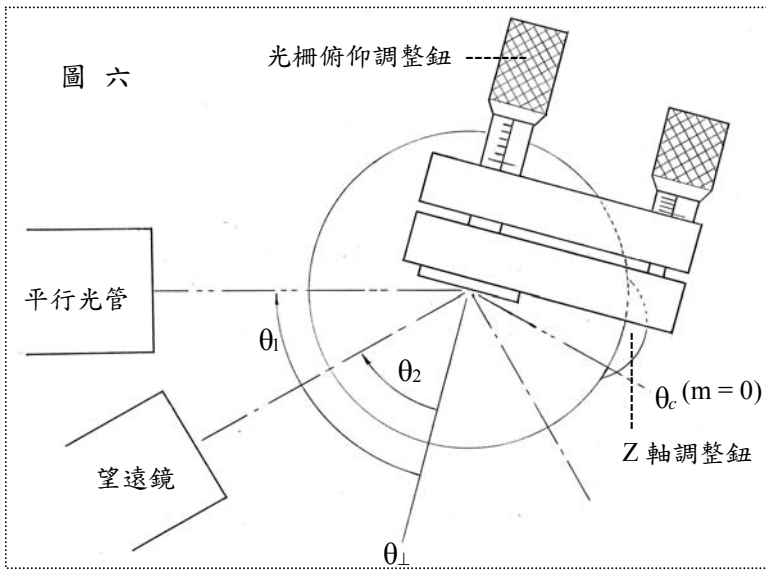
$$例二: \quad \alpha = 47^\circ, \quad \theta_1 = 43^\circ, \quad \theta_2 = 83.5^\circ, \quad d \theta_1 = 0, \quad d \theta_2 = 2.909 \times 10^{-4} \text{ 徑 (即 1 角分)}, \quad m = 9$$

$$d \lambda = 0.116 \overset{\circ}{\text{Å}} / 1 \text{ 角分} \quad (\text{當 } \lambda = 589.3 \text{ nm 時、測量值精確度上升 6.3 倍})$$

(由上面的兩個例子，可知在測 Na 雙線間距時，要儘可能用較大的繞射角，以得到較精確的測量數據。)

$$(即 \theta_2 > \theta_1)$$

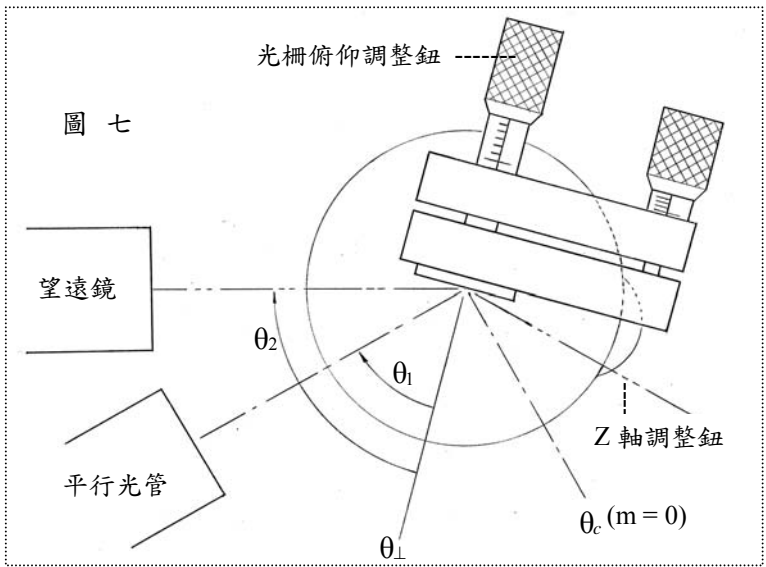
實驗步驟：



法一：測黃光(入射角 > 繞射角)

1. 固定大盤移望遠鏡對準平行光管入射方向，  
記錄  $\theta_b = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
3. 望遠鏡移到  $\theta_a = \theta_b + 90^\circ + \alpha = \underline{\hspace{2cm}}$   
固定望遠鏡 (取  $\alpha = 10^\circ$  入射角大約  $80^\circ$ )。
4. echelle 反射光柵架，  
調整到正確高度後固定，大盤鬆鎖  
轉動光柵面對準望遠鏡，利用高斯目鏡及  
光柵俯仰調整鈕使光柵面精確垂直望遠鏡，  
固定大盤 記錄  $\theta_{\perp} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

5. 參攷圖六、望遠鏡移到  $m=0$  位置，記錄  $\theta_c = \underline{\hspace{2cm}}$ 。得入射角  $\theta_1 = \theta_{\perp} - \theta_c = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
6. 由  $m=0$  開始向左數譜線，取得最高階  $m = \underline{\hspace{2cm}}$  (小心判別，有時某一階落在繞射零點附近因而變暗甚或消失)
7. 用 Z 軸鈕調整譜線高度、記錄外側譜線  $\theta_{d1} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。記錄內側譜線  $\theta_{d2} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。  
得繞射角  $\theta_{21} = \theta_{d1} - \theta_{\perp} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。  $\theta_{22} = \theta_{d2} - \theta_{\perp} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。  $\Delta\theta = \theta_{21} - \theta_{22} = \underline{\hspace{2cm}}$
8.  $\lambda_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。  $\lambda_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



法二：測黃光(入射角 < 繞射角)

1. 轉光柵面與平行光管大致平行，固定大盤移望遠鏡對準平行光管入射方向，記錄  
 $\theta_b = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
2. 望遠鏡移到  $\theta_a = \theta_b + 90^\circ + \alpha = \underline{\hspace{2cm}}$   
固定望遠鏡 (取  $\alpha = 47^\circ$  入射角大約  $43^\circ$ )。
3. 轉動光柵並利用高斯目鏡使光柵面精確垂直望遠鏡，固定大盤 記錄  $\theta_{\perp} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

4. 參攷圖七望遠鏡移到  $m=0$  位置，記錄  $\theta_c = \underline{\hspace{2cm}}$ 。得  $\theta_1 = \theta_{\perp} - \theta_c = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

5. 將望遠鏡逆時針轉到平行光管左側，記錄外側譜線  $\theta_{d1} =$  \_\_\_\_\_。記錄內側譜線  $\theta_{d2} =$  \_\_\_\_\_

得繞射角  $\theta_{21} = \theta_{d1} - \theta_{\perp} =$  \_\_\_\_\_。  $\theta_{22} = \theta_{d2} - \theta_{\perp} =$  \_\_\_\_\_。  $\Delta\theta = \theta_{21} - \theta_{22} =$  \_\_\_\_\_

(此步驟無法直接點數  $m = ?$ )

6. 由  $m=9$  計算出  $\lambda_1 =$  \_\_\_\_\_。  $\lambda_2 =$  \_\_\_\_\_。  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 =$  \_\_\_\_\_。

7. 其他三色同理可得。

紅	615.423nm	616.075nm	$\Delta\lambda = 0.625\text{nm}$
黃	589.592nm	588.995nm	$\Delta\lambda = 0.597\text{nm}$
綠	568.820nm	568.263nm	$\Delta\lambda = 0.557\text{nm}$
靛	498.281nm	497.854nm	$\Delta\lambda = 0.427\text{nm}$