

物理實作課程-光譜儀

一、實作目的：

1. 了解光譜儀運作原理。
2. 觀察轉動光柵對光譜儀的影響。
3. 學會校正固定式光譜儀。

二、實作原理：

光譜學 (Spectroscopy) 是研究物質發射、吸收或散射的光、聲或粒子來研究物質的方法。光譜學也可以被定義為研究光和物質之間相互作用的學科。歷史上，光譜學指用可見光來對物質結構的理論研究和定量和定性的分析的科學分支。但是近來，光譜學的定義已經被擴展為一種不只用可見光，也用許多其他電磁或非電磁輻射（如微波，無線電波，X 射線，電子，聲子（聲波）等）的新技術。光譜學被頻繁的用在物理和分析化學中，通過發射或吸收光譜來鑑定物質。其中將成分複雜的光分解為光譜線的科學儀器叫做光譜儀(Spectrometer)。

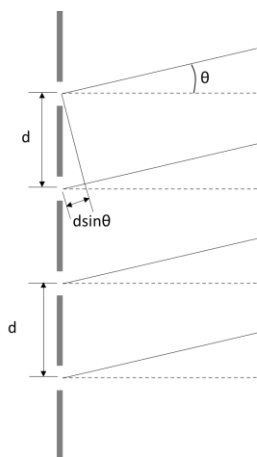
光譜儀(Spectrometer)可測量物體表面反射的光，依適用的波長可區分不同種類的光譜儀，例如紫外-可見光光譜儀、近紅外線光譜儀等。光譜儀由稜鏡或繞射光柵等構成，經由聚焦鏡變成平行光到光學元件，因繞射及干涉效應產生分光，再聚焦到偵測器，可量測出待測光譜的強度。光譜分析的特點包括非破壞性、具化學鑑別力、具波長變通性、靈敏度高及分析速度快。

光的干涉現象是光波疊加後能量再分配的結果，形成明暗交替的條紋，最亮的光可能超過兩束光的光強度之和，而最暗的地方有可能為零。要產生干涉現象的光波必須滿足 1. 振動方向相同 2. 頻率相同 3. 相位差固定(同調)。

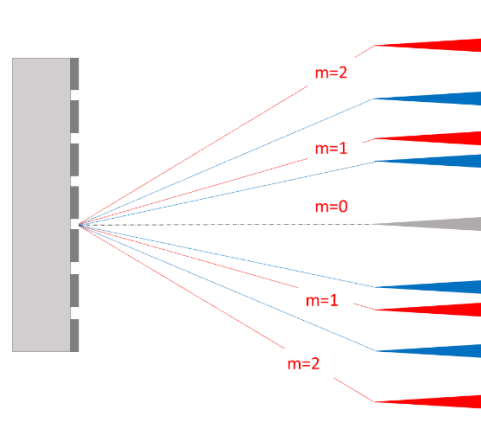
光的繞射現象是當光通過小孔或障礙物時，造成波動的疊加，形成亮暗相間條紋的現象。繞射可分為許多種，其中隨光源、狹縫、成像距離不同可分為菲涅耳繞射(Fresnel diffraction)和夫琅禾費繞射(Fraunhofer diffraction)。夫琅禾費繞射假設造成繞射的狹縫和屏幕距離很遠，可視為無限遠的情況，而菲涅耳繞射則假設屏幕與狹縫的距離是有限的。換句話說，夫琅禾費繞射是指當平行光經過狹縫後沿任何一方向抵達屏幕皆視為平行，相當於屏幕距離狹縫無限遠處。若要符合夫琅禾費繞射，在光點和狹縫間放入透鏡或面鏡，讓光線變成平行光後，在狹縫和屏幕間放置一個凸透鏡或凹面鏡聚光，就能將屏幕視為無限遠。

光柵繞射(diffraction grating) 是基於夫琅禾費繞射，使入射光的振幅或相位受到週期性空間調製，在光學上最重要的應用是分光，常被用於單色儀或光譜儀。最

簡單的光柵是在一塊平板玻璃或金屬薄板上刻有許多平行等間距的密集直線溝槽，一般在一釐米的寬度中會刻上數百條至千條溝槽。光柵屬於多狹縫繞射，當平行光進入光柵時，會產生繞射光束，而繞射光束和狹縫寬度有關，且會彼此干涉而於屏幕上產生繞射條紋。繞射光的角度與光的波長有關，能依不同波長將光進行分散。而特定波長的入射光可以同時擁有多個不同程度分離的繞射角，稱為繞射級數。



圖(一) 狹縫光程差示意圖。光程差可表示為 $d \sin \theta$ ， d 為相鄰兩狹縫間距。



圖(二) 繞射光柵光路示意圖。

當繞射光束的光程差為入射光波長 λ 的整數倍，則光會在屏幕上產生亮紋，即為建設性干涉，表示如下：

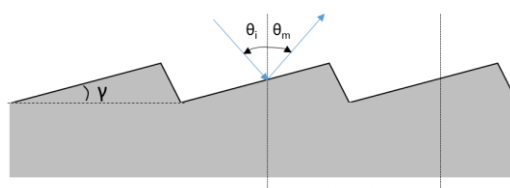
$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots)$$

$m=0$ 中央亮紋 (zero-order maximum)

$m=\pm 1$ 第一級繞射條紋 (first-order maximum)

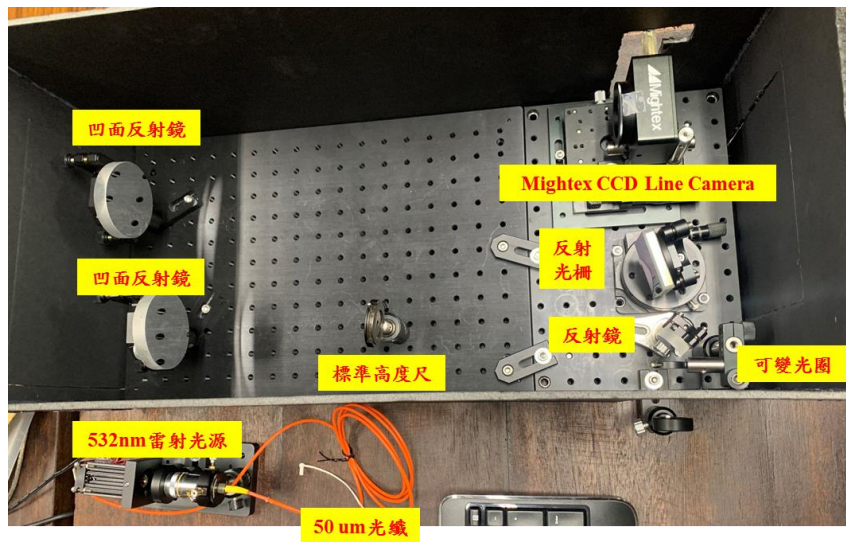
$m=\pm 2$ 第二級繞射條紋 (second-order maximum)

由上述公式可知光柵繞射的零級極大，因為沒有散色作用故不能用於分光，光柵分光需利用高級次譜線，而多縫繞射的零級光譜占了很大一部份能量，導致較低級次的能量非常弱，繞射效率低。為了將光強度集中至高級次譜線，將光柵表面刻製成可控制的溝槽，因此可以在特定的繞射級數實現光柵的最大效率，此光柵稱為 **Blazed grating**。



圖(三) Blazed grating 示意圖。

三、 實作使用之器材與軟體：



1. 硬體端：

- (a). 532nm 雷射光源 x1
- (b). 標準光源 x1
- (c). 可變光圈 x1
- (d). 反射鏡 x1
- (e). 凹面反射鏡 x2 (G01 f=50cm)
- (f). 反射光柵 x1
- (g). 標準高度尺 x1
- (h). 50 um 光纖 x1、100 um 光纖 x1
- (i). Mightex CCD Line Camera x1 (USB2.0 3648-Pixel 16-bit CCD Line Camera with External Trigger)
- (j). USB 連接線 x1

2. 軟體端：

- (a). U-Spec2.0 / 3.0
- (b). Origin 6.0

四、 注意事項：

1. **嚴禁直視雷射光束**
2. **嚴禁碰觸光學元件受光面**(反射鏡、凹面反射鏡、反射光柵、Mightex CCD Line Camera)
3. 嚴禁 **壓** 或 **折** 光纖線路

五、 實作步驟：

=校正光路=

1. 開啟雷射
2. 確認雷射是否打在 pinhole 正中間
3. 調整雷射光束出光位置令其亮度最大，調整可變光圈令雷射光束最寬
4. 定 Zero Order 反射訊號位置
 - A. 旋轉第一面凹面鏡找尋 Zero Order 反射訊號落於光柵中間並確認光是否平行
 - B. 旋轉光柵找尋 Zero Order 反射訊號落於第二面凹面鏡中間並確認光是否平行
 - C. 固定光柵
5. 調整可變光圈降低雷射光束出光量
6. 確認整個光路的高度是否位在標準高度
7. 確認光是否聚焦在 CCD 感測元件上(可開啟光譜軟體 U-spec2.0/3.0 藉由光譜訊號強度判斷)，若沒有，輕輕微調 CCD 感測元件高度使光位於 CCD 正中間
8. 調整第二面凹面鏡水平角度，令聚焦點位置落於 CCD 感測元件中心上
9. 移動 CCD 感測元件位置至第二面凹面鏡的焦距面
10. 轉動光柵將雷射的 First order 反射訊號轉至第二面凹面鏡中央
11. 將光源換成標準光源(Cal-2000)並更換光纖為 100 um，藉由光譜量測軟體 U-spec2.0/3.0 觀察光譜，此時應該出現 546 nm、577 nm、579 nm 的訊號。若 577 nm、579 nm 訊號未分開，代表解析度低，確認光圈是否降到最低後需微調 CCD 焦距，提高解析度

預期實驗結果

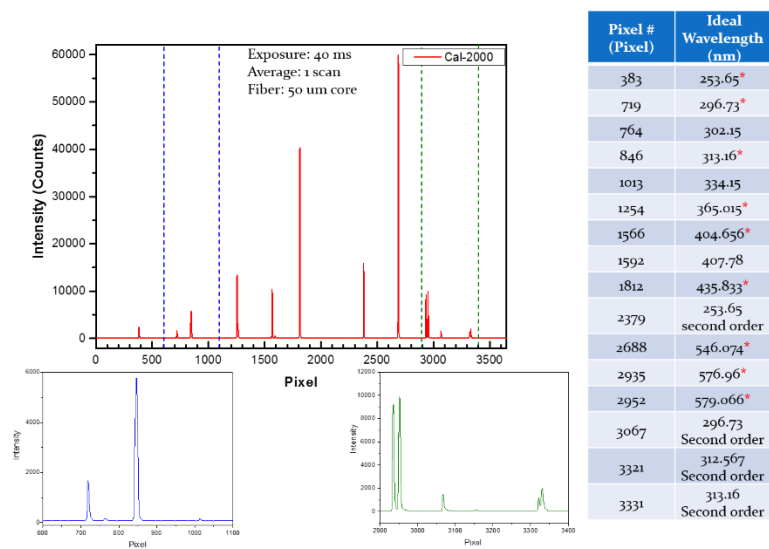
1. 將訊號最佳化，看到訊雜比佳的 Zero Order 訊號，且將此訊號置於任何 pixel 位置皆不改變其訊號強弱。
2. 能夠清楚看到 Cal-2000 的訊號且 577 nm、579 nm 的訊號能清楚辨別

=校正光譜儀=

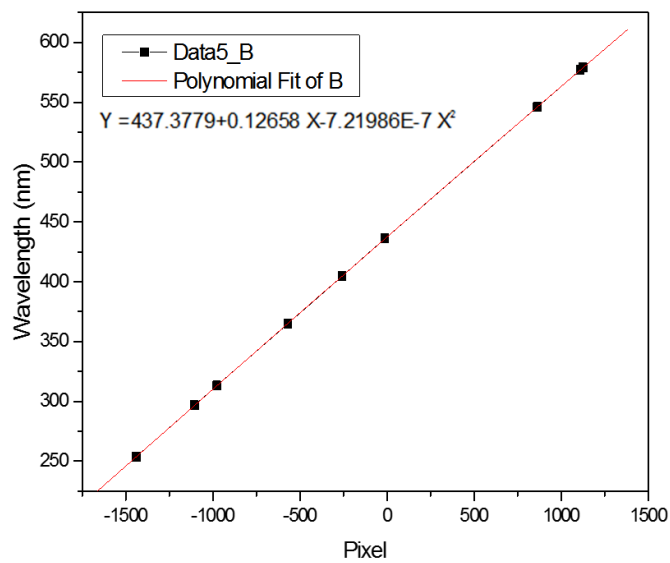
1. 定 1st Order 反射訊號位置
 - 微調光柵旋轉角找尋 1st Order 反射訊號落於第二面凹面鏡中間(需再確認標準高度)
2. 關閉雷射
3. 更換光纖並開啟標準光源(Cal-2000)
4. 使用光譜軟體(U-Spec)擷取 Cal-2000 光譜(x 軸單位為 pixel)
5. 使用 Origin 讀取擷取的光譜進行校正
6. 藉由**此截取光譜波峰位置像素 P (Pixel)**與**標準光源(Cal-2000)波峰波長 λ (nm)**計算數學轉換式: (註: P 為以 CCD 中心像素為原點之數值， $a_0 / a_1 / a_2$ 即為校正參數)

$$\lambda = a_0 + a_1 \times P + a_2 \times P^2$$

例：

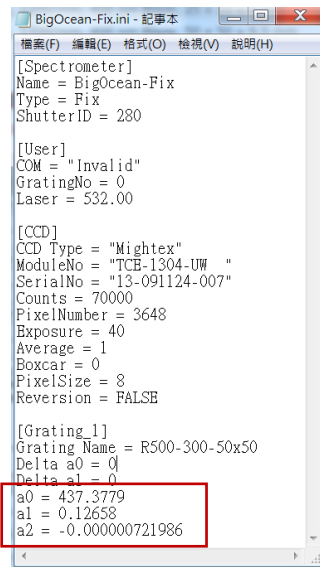


圖(四) 定義出位置像素對應的理想波長



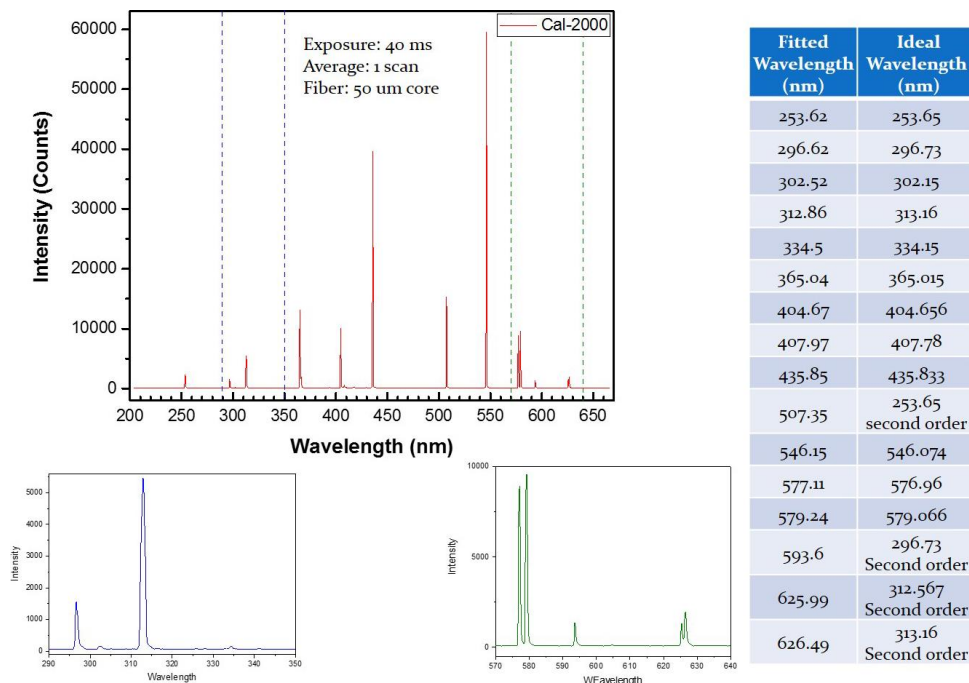
圖(五) 利用 P 及 λ 的關係進行 2nd order Polynomial fitting，得出校正參數。

7. 建立光譜儀參數檔(.ini)



圖(六) 將得出的校正參數帶入參數檔

8. 將參數檔重新帶回 U-spec2.0/3.0，再擷取一次光譜(x 軸單位為 wavelength)。
在 Origin 程式畫出光譜圖，標註視野範圍內之波峰波長並與理論值比較
例：



圖(七) 校正後的光譜圖

預期實驗結果

看到雷射的 First Order 訊號後，將光源換成標準光源，此時可以順利的看到該波段的訊號。校正完後擷取的光譜圖與理論光譜圖誤差小。

六、 問題與討論：

1. 影響光譜量測品質的外部干擾因素可能有哪些？
2. 如何確定反射光是否為平行光？
3. 如何檢查光路路徑是否正確？
4. 轉動光柵的目的為何？
5. 以雷射的 First Order 定出光柵的旋轉角度後，在不轉動光柵的情況下更換成標準光源，如何得知此時光譜的波段為何？
6. 調整可變光圈對光譜的影響為何？
7. 將雷射更換為標準光源的目的為何？

七、 參考資料：

1. 光譜學-維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E8%B0%B1%E5%AD%A6>
2. 光譜儀-東海大學光譜儀實驗
<http://physics.thu.edu.tw/sites/default/files/05-5101.pdf>
3. 光的干涉-維基百科
[https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B9%B2%E6%B6%89_\(%E7%89%A9%E7%90%86%E5%AD%A6\)](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B9%B2%E6%B6%89_(%E7%89%A9%E7%90%86%E5%AD%A6))
4. 光的干涉與繞射-國立交通大學物理實驗手冊
<https://physlab.ep.nctu.edu.tw/wp-content/uploads/2016/11/22-%E5%AF%A6%E9%A9%97%E5%8D%81-%E5%85%89%E7%9A%84%E5%B9%B2%E6%B6%89%E8%88%87%E7%B9%9E%E5%B0%84I080116.pdf>
5. 光的繞射-科學 Online
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=18976>
6. 夫琅禾費繞射(Fraunhofer diffraction) -維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AB%E7%90%85%E7%A6%BE%E8%B4%B9%E8%A1%8D%E5%B0%84>
7. 繞射光柵-維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%8D%E5%B0%84%E5%85%89%E6%A0%85>
8. 光柵
[http://www.phys.ncku.edu.tw/~optlab/experiment/Grating\(103\).pdf](http://www.phys.ncku.edu.tw/~optlab/experiment/Grating(103).pdf)