

單雙電子精細結構

【目的】

1. 學習使用分光計和光譜儀來觀測鈉燈光譜和鋅燈光譜
2. 比較分光計和光譜儀、鈉燈光譜和鋅燈光譜的差異

【原理】

在原子物理學中，因為一階相對論性效應與自旋-軌道耦合而產生的原子譜線分裂，稱為精細結構。非相對論性且無自旋的電子產生的譜線則稱為粗略結構。類氫原子的粗略結構只相依於主量子數 n ，精細結構則到考慮到相對論效應與自旋-軌道效應，是一個 $(Z\alpha)^2$ 效應；其中， Z 是原子序數， α 是精細結構常數。

1913 年，丹麥物理學家波耳發表了波耳原子模型。波耳原子模型假設電子只能在一系列特定能量的軌道上繞原子核做圓周運動。當電子從一個能級跳到另一個能級上時，就會發射或者吸收與能級之間能量差相對應的光子。波耳原子模型很好地解釋了氫原子光譜線的分布規律。然而進一步研究發現，氫原子光譜線具有精細結構，原先的一條譜線實際上是有幾條靠得很近的譜線組成的，波耳原子模型不能解釋光譜的精細結構。

德國物理學家索末菲在波耳原子模型的基礎上做了一些改進，建立了索末菲模型。在這個模型中，索末菲認為電子繞原子核運動的軌道不一定是正圓形，而是橢圓形。電子的軌道能級不僅與波耳模型中的主量子數 n 有關，還與角量子數有關。不同角動量量子數的軌道之間的能級差正比於某個無因次常數的平方。這個無因次常數是索末菲在解釋光譜的精細結構時引入的，因此被稱為精細結構常數。

精細結構常數用希臘字母 α 表示，定義為 $\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$ 或 $\alpha = \frac{e^2}{2\epsilon_0\hbar c}$ ，其中 e 是電荷、 ϵ_0 是真空電容率、 \hbar 是約化普朗克常數， h 是普朗克常數、 c 是光速。根據 2002 年 CODATA 的推薦值， $\alpha = 7.297352568(24) \times 10^{-3} = \frac{1}{137.03599911(46)}$ ，近似計算可以取 $\frac{1}{137}$ 。

引入精細結構常數後，波耳模型中電子的運動速度和能級可以表示成更為簡潔的形式：

$$v_n = \frac{\alpha c}{n}、E_n = -\frac{1}{2}m_e\left(\frac{\alpha c}{n}\right)^2 = -\frac{\alpha^2}{2n^2}E_0，其中 E_0 是電子的靜質量能。$$

【方法】

以光柵測定譜線波長乃是利用多狹縫干涉原理。當光波通過兩鄰近狹縫到達空間某點之光程差為波長的整數倍時，光線會在此點產生建設性的干涉，通常將這種干涉紋稱為“主干涉紋”。

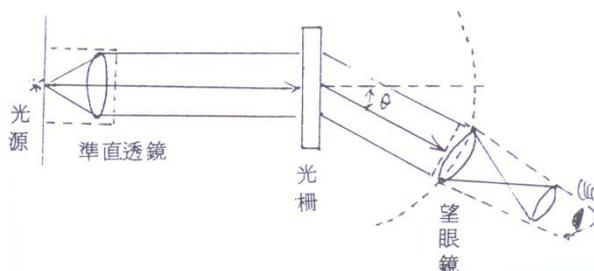
假設平行光垂直射入光柵，則產生主干涉紋的條件為：

$$\Delta x = d \sin \theta = m \lambda \cdots \cdots (*)$$

式中 Δx 為相鄰兩光束之光程差, d 為相鄰兩狹縫中央線之間隔。 θ 為光譜線與入射線之夾角。正整數 m 的定義為由光柵正前方開始測量同一個光譜線出現的次序。 $m=1$ 稱為第一級光譜, $m=2$ 稱為第二級光譜, 其餘類推。

【實驗儀器與裝置】

分光計、光柵 (600 lines / mm)、光譜燈管 (Na、Zn)、光譜燈管電源供應器, 光譜燈支撐器、三腳架底座、傳輸線、光譜儀、光纖管、電腦



圖一 實驗裝置簡圖

【注意事項】

1. 切勿直接用手觸摸燈管, 或自行拔掉燈管, 如有損壞, 照價賠償。
2. 燈管的預熱過程和發光顏色如下表所示, 若出現異常現象, 立刻告知助教處理。

燈管	預熱時間	預熱過程	發光顏色
Na	1.5 分鐘	閃爍約 1、2 下, 上下亮 $\xrightarrow{1\text{min}}$ 中間亮	橘色
Zn	2 分鐘	淡紫色 $\xrightarrow{1.5\text{min}}$ 淡藍色	淡藍色

3. 實驗過程中, 切勿觸碰燈管和燈罩, 以免燙傷。
4. 眼睛勿長時間直視燈管所發出的光線, 尤其是 Na 的光線強烈, 避免造成眼睛的傷害。
5. 光柵乃高價器材, 嚴禁用手及外物接觸或擦拭光柵表面, 有損壞請自行賠償。
6. 請勿讓光纖管成 90° 的夾角, 以免折斷光纖管, 造成無法使用。
7. 軟體的 'Save Spectrum' 為儲存檔案用, 儲存的資料是按下該鈕的瞬間, 進入光纖管的光。

【實驗步驟】

一、分光計

1. 將鈉 (鋅) 燈放在平行光管狹縫後, 打開狹縫自平行光管前方觀察, 同時調整分光計位置與方向, 使狹縫在平行光管的區域內均被鈉 (鋅) 燈照亮。
2. 調整目鏡使叉絲清晰後, 將望遠鏡聚焦於最遠方之物, 再將叉絲對準平行光管狹縫, 調整平行光管焦距, 調整鈕使狹縫清晰 (此時由平行光管射出之光幾近平行光), 調整狹縫寬度到適當大小。
3. 將光柵安裝在光柵座上, 再放到分光計的平台上, 旋轉平台用目測法使光柵大約與望遠鏡垂直。

4. 精確的調整望遠鏡使叉絲對正狹縫（注意：必須調整到叉絲與狹縫間沒有視差存在，否則影響精確度非常大），記錄鈉（鋅）光入射方向 θ_0 。
5. 分別旋轉望遠鏡到右方及左方，觀察左右二邊第一級繞射光譜，並記錄每一條光譜線其繞射方向 θ_R 及 θ_L 。
6. 計算正向入射第一級繞射角 $\theta = \frac{1}{2} |\theta_R - \theta_L|$ 。
（左繞射角 $|\theta_L - \theta_0|$ 與右繞射角 $|\theta_R - \theta_0|$ 相差在 1° 以內）
7. 利用公式（*）將 $m=1$ 、 $d=1667\text{nm}$ 、 $\sin\theta$ 代入，計算各光之波長。

二、光譜儀

開啟電腦，點選 'Quantum exe' 軟體，點選 'Intensity'，將光纖管移近燈管，觀察是否出現高峰，若高峰不明顯，可以點選 'Zoom in' 和 'Zoom out' 作適度的縮放。待高峰明顯時，即為該燈管的光譜圖。配合點選 'Snapshot'，紀錄下光譜圖後，再點選 'Print'，列印出光譜圖。最後，移動滑鼠來逐一記錄各波長於光譜圖上。

【問題】

1. 查資料：（1）Na 原子的電子組態，鈉燈在可見光範圍光譜線之波長。
（2）Zn 原子的電子組態，鋅燈在可見光範圍光譜線之波長。
2. 根據鈉燈和鋅燈各波長所對應的能階躍遷光譜圖（文件夾），比較兩者差異，並解釋之。
3. 說明光譜儀的原理。
4. 比較分光計和光譜儀的差別、準確度及優、缺點。
5. 如何提高光譜儀的解析度？