

第四章 實驗結果與分析

4-1 鉍原子 $6P_{3/2} \rightarrow 6D_{5/2}$ 的超精細光譜量測

圖 4.1 為量測 ^{205}Tl 在 $6P_{3/2} \rightarrow 6D_{5/2}$ 的能階躍遷結果：

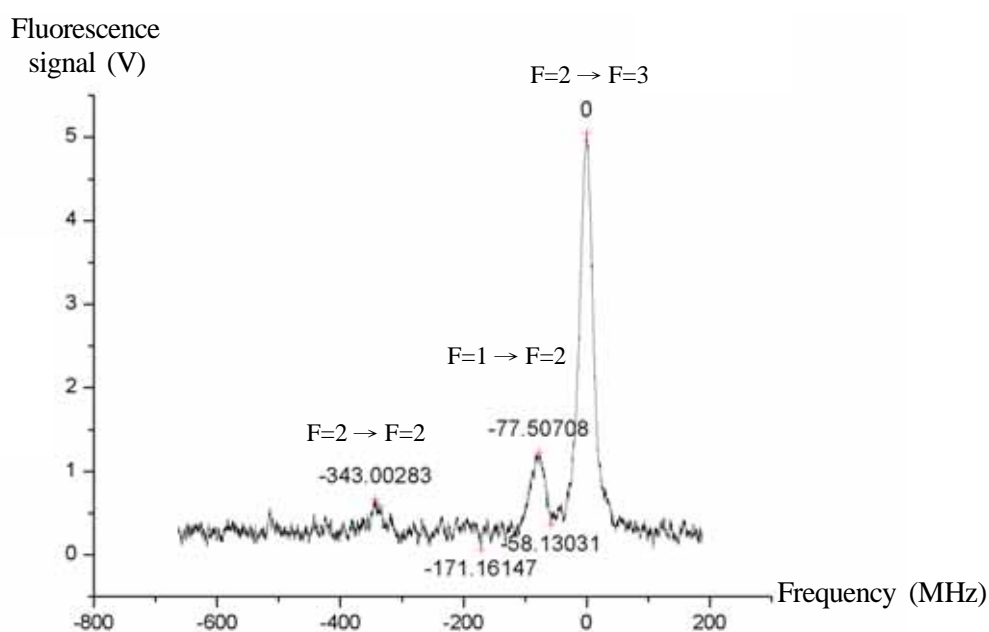


圖4.1 ^{205}Tl 在 $6P_{3/2} \rightarrow 6D_{5/2}$ 能階躍遷光譜圖

圖 4.1 中縱軸為 PMT 所偵測到的螢光信號，橫軸為經過平移的頻率軸，原點訂在 $6P_{3/2}, F=2 \rightarrow 6D_{5/2}, F=3$ 的中心頻率。從實驗結果可以看出 ^{205}Tl $6D_{5/2}$ 能階的超精細能階分裂 (hyperfine splitting) 為 686 (16) MHz (紅光頻率要乘 2 才是紫光頻率)，其中 $F=2 \rightarrow F=3$ 的線寬 (FWHM) 為 46 MHz。

圖 4.2 為量測 ^{203}Tl 在 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$ 的能階躍遷結果：

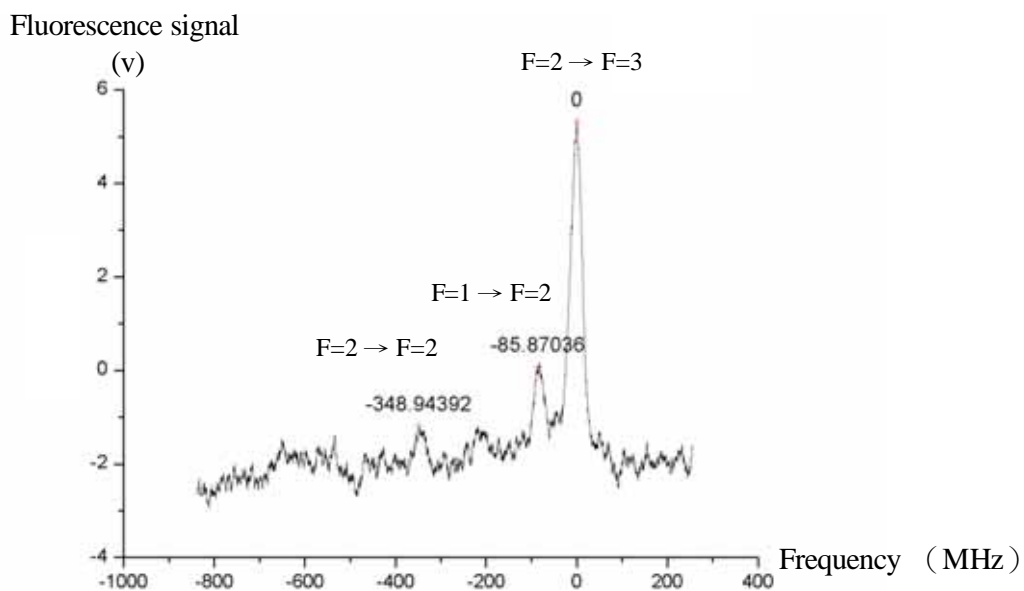


圖4.2 ^{203}Tl 在 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$ 能階躍遷光譜圖

從圖 4.2 可以看出 ^{203}Tl $6\text{D}_{5/2}$ 能階的超精細能階分裂 (hyperfine splitting) 為 698 (21) MHz，其中 $\text{F}=2 \rightarrow \text{F}=3$ 的線寬 (FWHM) 為 60 MHz。

4-2 ^{205}Tl 在 $6\text{P}_{3/2}, F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}, F=3$ 能階躍遷的絕對頻率量測

本實驗利用飛秒光頻梳首次量測到 ^{205}Tl 在 $6\text{P}_{3/2}, F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}, F=3$ 的能階躍遷絕對頻率。絕對頻率的決定可以由 $f_{\text{known}} = n f_{\text{rep}} \pm f_0 \pm f_{\text{beat}}$ 來計算，實驗中會取到的實驗參數為 f_{rep} 、 f_0 與 f_{beat} 。通常式子中的 n 值與正負號之選擇是透過準確的參考頻率來判斷，因為過去沒有人發表過 ^{205}Tl 在 $6\text{P}_{3/2}, F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}, F=3$ 的絕對頻率，因此我們透過一些程序去決定計算絕對頻率時所需的 n 值與正負號之選擇。首先將 352 nm 的紫光頻率停在此能階躍遷頻率上，同一時間 comb 也從 spectrum analyser 取出 704nm 紅光與飛秒光頻梳的拍頻訊號 f_{beat} 。以不同的 f_{rep} 與 f_0 取八組拍頻數據，這八組數據中每組都有八種可能的絕對頻率組合，經過交叉比對後得到其中四種可能是在八組數據中都出現的頻率組合。再經由 wavemeter 選擇出唯一一種在八組數據中都出現的頻率值可能組合，最後平均得到絕對頻率值為：


$$425817323 (28) \text{ MHz}$$

此頻率為紅光頻率值，換算成紫光頻率得到 ^{205}Tl 在 $6\text{P}_{3/2}, F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}, F=3$ 能階躍遷絕對頻率為：

$$851634646 (56) \text{ MHz}$$

此頻率值是 ^{205}Tl 在 $6\text{P}_{3/2}, F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}, F=3$ 的絕對頻率第一次被量測到。

4-3 實驗結果討論

表 4-1 為實驗結果的整理：

	Hyperfine splitting	Line width (F=2 \rightarrow F=3)	Absolute frequency
^{205}Tl	686 (16) MHz	46 MHz	851634646 (56) MHz
^{203}Tl	698 (21) MHz	60 MHz	

表 4.1 實驗結果

超精細能階分裂 (hyperfine splitting) 可以由超精細常數 (hyperfine constant) $A(J)$ 換算出：

$$\Delta E(F) - \Delta E(F-1) = A(J)F \quad (4-1 \text{ 式})$$

參考文獻 [19] 有鉈原子在 $6D_{5/2}$ 的 hyperfine constant $A(J)$ 量測值，此 $A(J)$ 值可以換算成 $6D_{5/2}$ 的 hyperfine splitting。將本實驗所得 $6D_{5/2}$ 能階的 hyperfine splitting 結果與參考文獻 [19] 換算得出的 hyperfine splitting 結果做比較，如表 4.2 所示：

	Hyperfine splitting (this work)	hyperfine splitting [19]
^{205}Tl	686 (16) MHz	686.7 (0.9) MHz
^{203}Tl	698 (21) MHz	680.7 (0.9) MHz

表 4.2 鉈原子 $6D_{5/2}$ 能階的 hyperfine constant

^{205}Tl 在 $6P_{3/2}$, $F=2 \rightarrow 6D_{5/2}$, $F=3$ 的絕對頻率量測之誤差為 56MHz，其中雷射的頻率抖動佔了 7 MHz。準確度無法再提高是因為在 704 nm 的波長範圍 comb 與送達到 comb 的光都相當微弱，在背景雜訊之上的拍頻訊號不到 10 dB（與本實驗室之前量測鋰原子 735 nm 能階躍遷相比，comb 在 704 nm 的出光強度只有在 735 nm 的 0.68 倍，拍頻信號弱了約 10dB），因此無法量得更精確的結果。

圖 4.3 與 圖 4.4 分別是 Comb 的光譜圖與拍頻訊號圖：

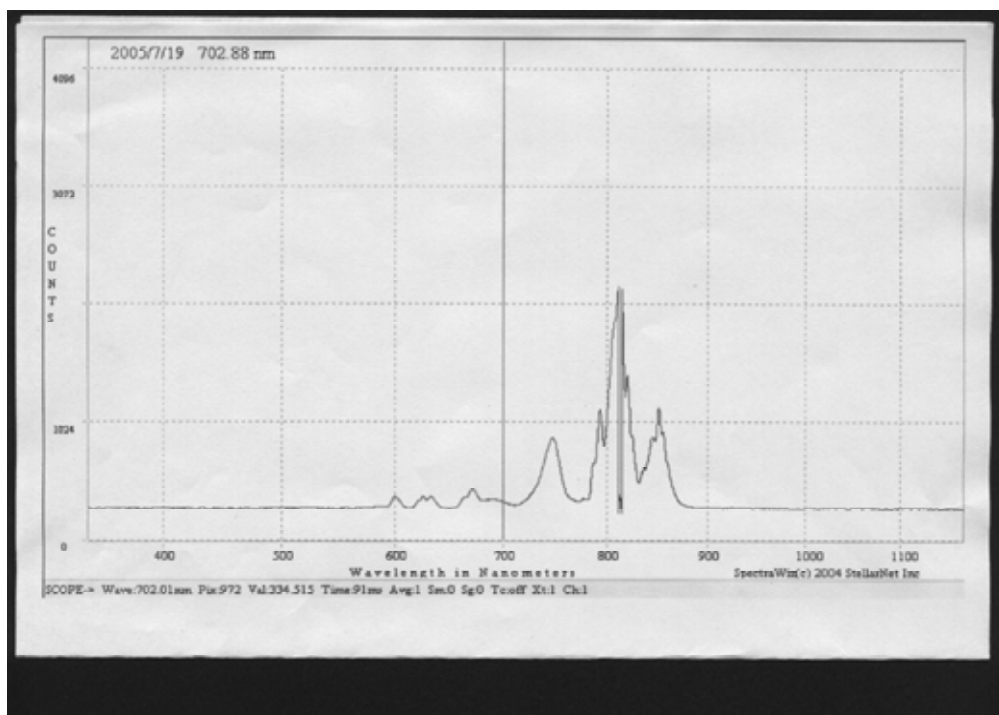


圖4.3 Comb的光譜圖

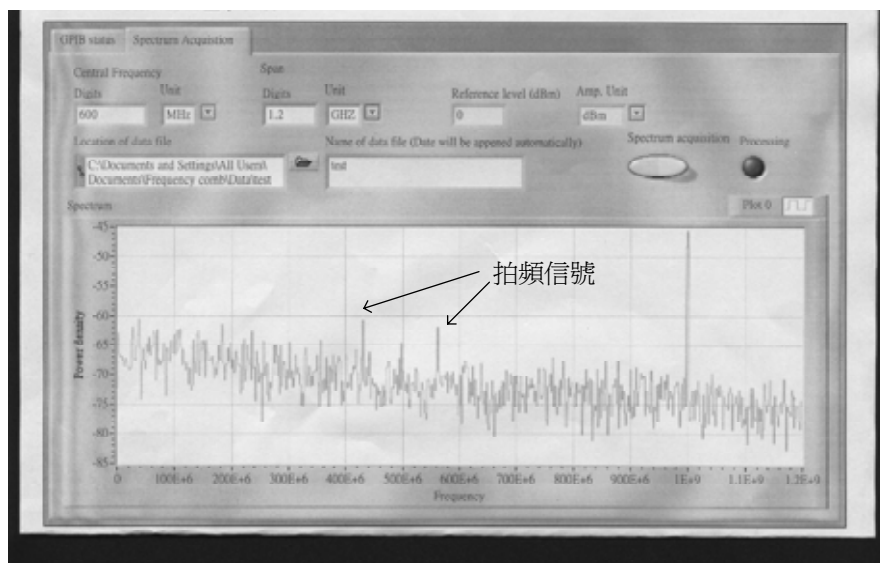


圖4.4 拍頻訊號圖

由表 4.2 可以看出本實驗在 ^{203}Tl $6\text{D}_{5/2}$ hyperfine splitting 的誤差比在 ^{205}Tl $6\text{D}_{5/2}$ hyperfine splitting 的誤差要大。這是因為在 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$ 的信號裡 $6\text{P}_{3/2}$, $F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$, $F=2$ 的信號最小, 而 ^{203}Tl 的信號又比 ^{205}Tl 要來的小, 因此造成 ^{203}Tl 在 $6\text{P}_{3/2}$, $F=2 \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$, $F=2$ 的信號很小, 無法得到較準確的結果, 因此造成在 ^{203}Tl 在 $6\text{D}_{5/2}$ 的 hyperfine splitting 的誤差較大。

本實驗也有試著量測鉈原子 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{3/2}$ 的躍遷光譜, 但是掃描頻率從 424570 GHz 到 424595 GHz 之間都沒有掃到螢光光譜信號。鉈原子在 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$ 的 oscillator strength 為 34.6×10^{-2} [20], 在 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{3/2}$ 的 oscillator strength 為 4×10^{-2} [20]。從 oscillator strength 可以看出 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{3/2}$ 的能階躍遷信號比 $6\text{P}_{3/2} \rightarrow 6\text{D}_{5/2}$ 要弱了 9 倍左右, 可能是因為信號太小而沒有量測到。

