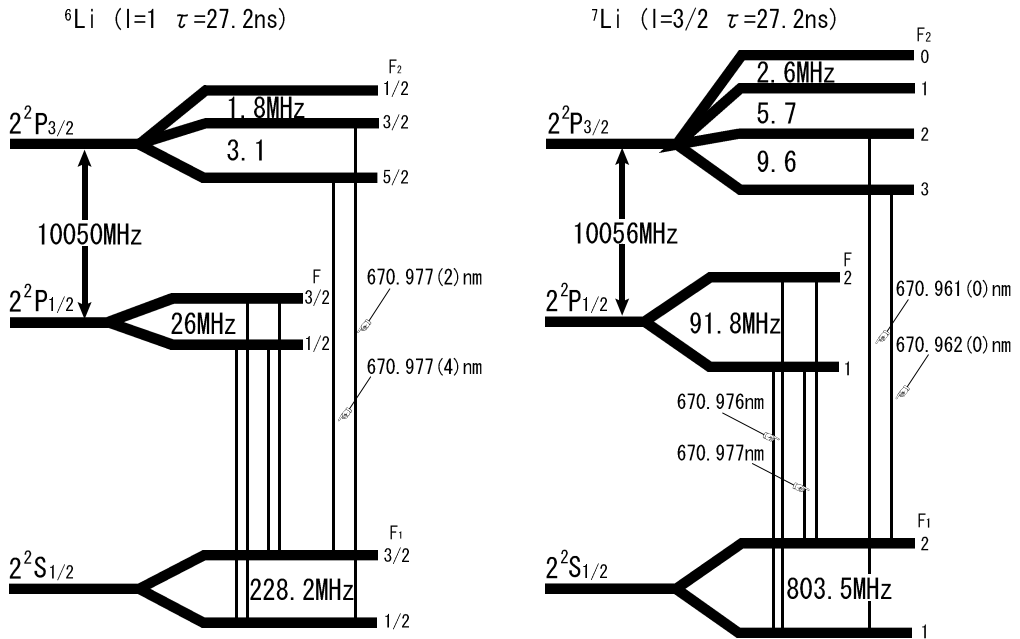


リチウム原子の原子ビーム法による ドップラー・フリー蛍光スペクトルの測定 II

清水和子研究室 杉浦 烈

5. 測定

リチウム6及びリチウム7のエネルギー準位は下図のようにになっている。これらの各遷移について蛍光スペクトルを測定した。

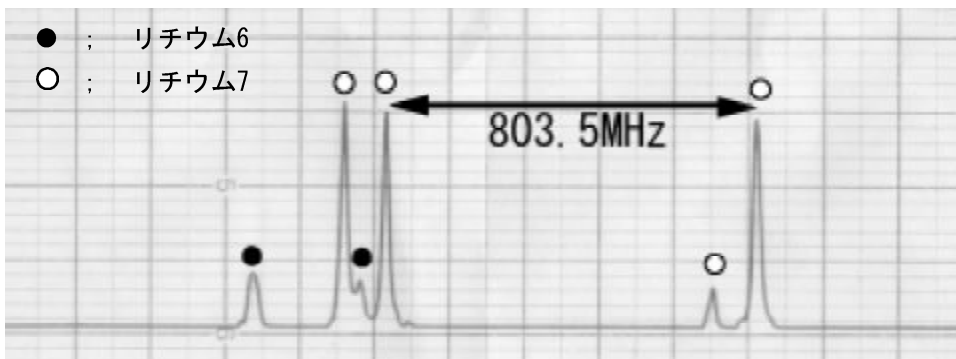


リチウム原子のエネルギー準位

6. 測定結果

6.1 リチウム6及びリチウム7の蛍光スペクトル

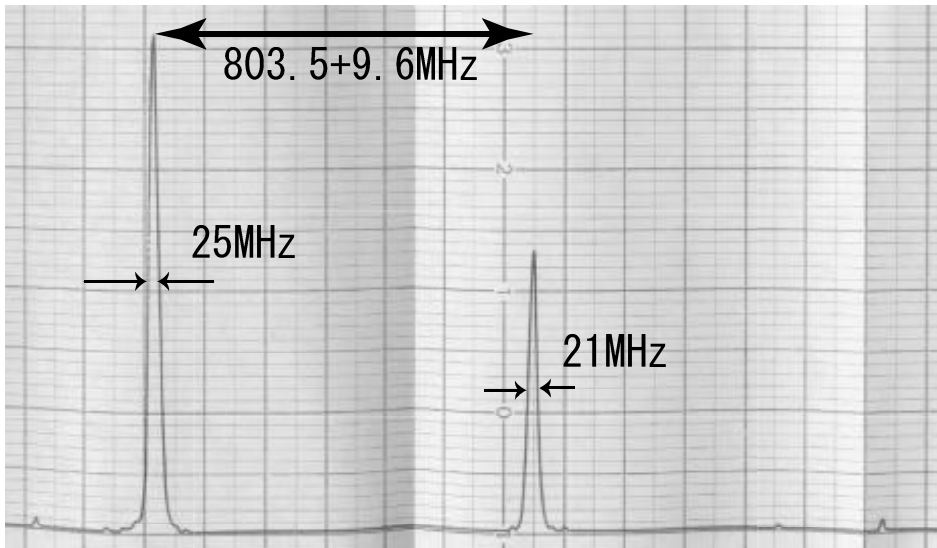
波長670.976~670.977[nm]付近でレーザー光の周波数を掃引したときの蛍光スペクトルを測定結果1に示した。スペクトル線の上に黒い点のあるものがリチウム6、白い点のあるものがリチウム7の蛍光スペクトルである。本実験で使用したリチウム原子はリチウム6とリチウム7が混ざったままのものなので、両方の蛍光スペクトルを同時にみることができた。



測定結果1；リチウム6及びリチウム7の蛍光スペクトル

6.2 リチウム7の $2^2P_{3/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトル

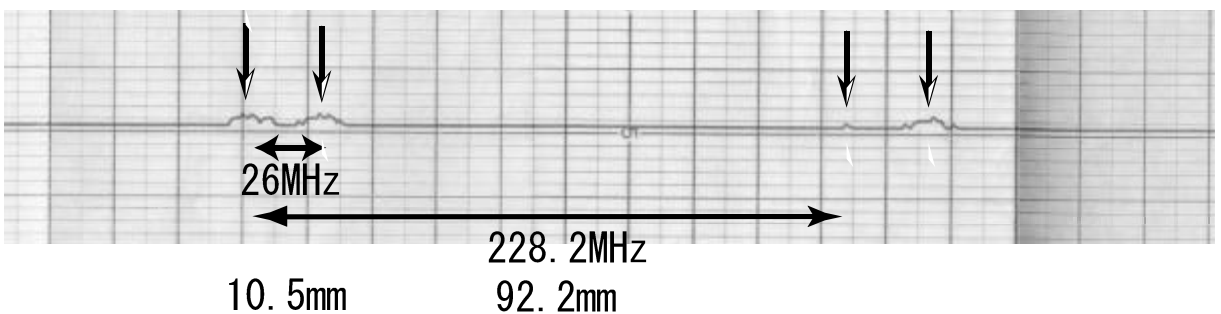
リチウム7の $2^2P_{3/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトルを測定結果2に示した。ここで、この励起状態では超微細構造の周波数差が非常に小さいので、蛍光スペクトルは分裂されずに重なっていることがわかる。実際にこれらの半値幅を測ってみると、スペクトル線の間隔が $803.5+9.6$ [MHz]より、それぞれ、約 25 [MHz]、 21 [MHz]と太くなっていることが測定できた。



測定結果2； $2^2P_{3/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトル

6.3 リチウム6の $2^2P_{1/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトル

リチウム6の $2^2P_{1/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトルを測定すると、測定結果3のようになった。左から遷移周波数の低い蛍光スペクトルなので、順に、基底状態 $F=3/2$ から励起状態 $F=1/2$ 、基底状態 $F=3/2$ から励起状態 $F=3/2$ 、基底状態 $F=1/2$ から励起状態 $F=1/2$ 、そして基底状態 $F=1/2$ から励起状態 $F=3/2$ という4本の蛍光スペクトルを見ることができた。



測定結果3；リチウム6の $2^2P_{1/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトル

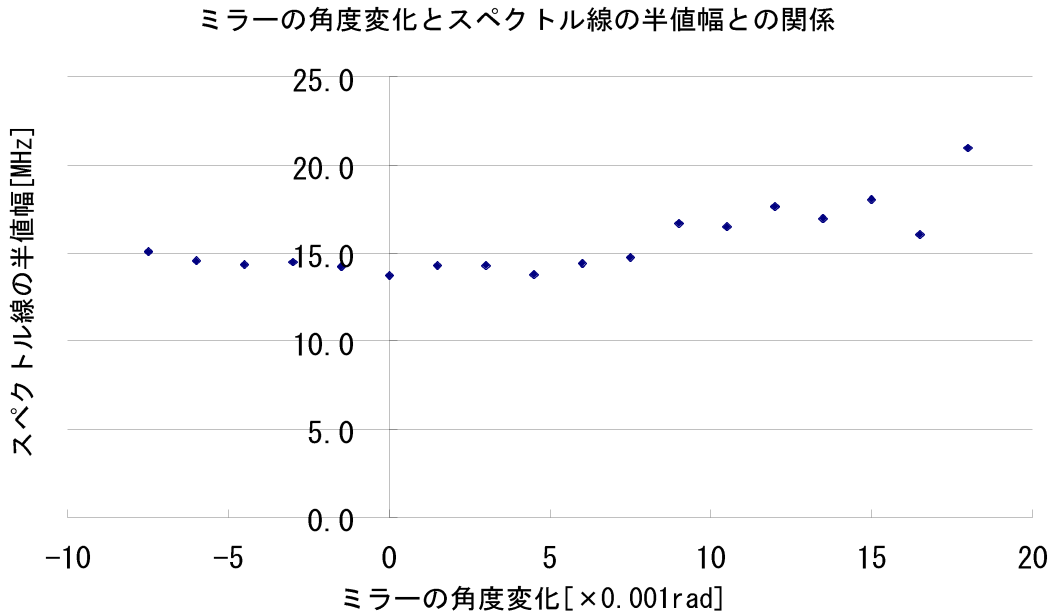
リチウム6の存在確率は約7%ほどなのでスペクトル強度も非常に弱くなっていることがわかる。そこで、この蛍光スペクトルが、この準位間の遷移のものであるかどうかを確認するために、左から1本目と2本目のスペクトル線の間隔と1本目と3本目のスペクトル線の間隔を測定すると、それぞれ、 10.5 [mm]、 92.2 [mm]となった。したがって、1本目と3本目の周波数差は 228.2 [MHz]より、1本目と2本目の周波数差を求めると、

$$228.2 \times \frac{10.5}{92.2} = 26.0 \text{ [MHz]}$$

となり、実際、励起状態 $F=1/2$ と $F=3/2$ の周波数差は26 [MHz]であるから、これは、 $2^2P_{1/2}$ と $2^2S_{1/2}$ の間の遷移における蛍光スペクトルということが確認できた。

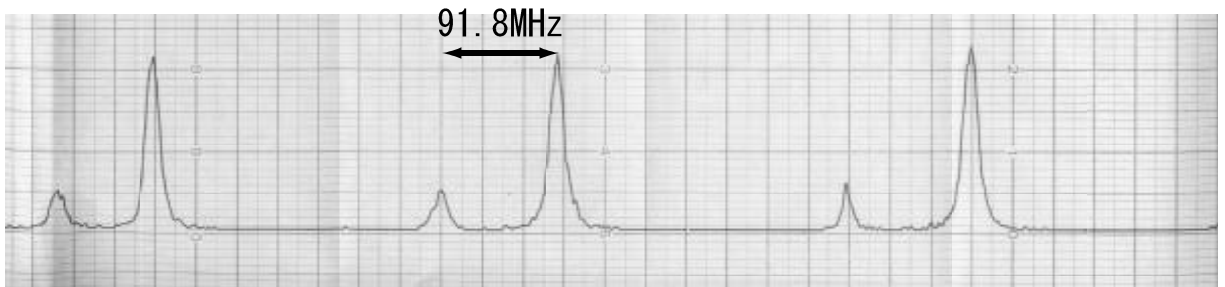
6.4 スペクトル線の半値幅

リチウム7の $2^2P_{1/2}$ の $F=1$ 、 $F=2$ と $2^2S_{1/2}$ の $F=1$ との間の遷移における2本の蛍光スペクトルを測定した。この準位の超微細構造はよく分裂し、スペクトル線がはっきりと分かれているので、この半値幅を使ってミラーの角度を調整し、原子ビームに対してレーザー光が直角に入射するようにした。ミラーの角度変化とスペクトル線の半値幅との関係を測定結果4に示した。



測定結果4

ここで、スペクトル線の半値幅が自然幅に最も近い点を横軸の原点としている。この点が原子ビームとレーザー光が直角である点だとしてスペクトル線を繰り返し測定した。その様子を測定結果5として示した。



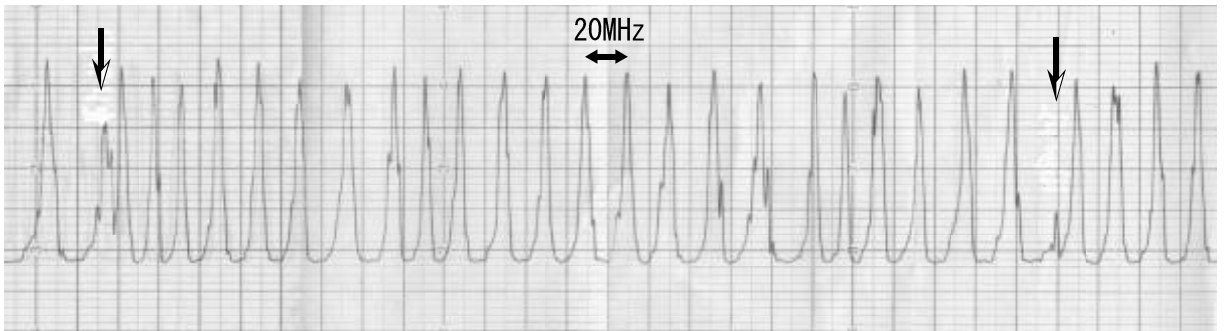
測定結果5 ; $2^2S_{1/2}$ ($F=1$)と $2^2P_{1/2}$ ($F=1, 2$)の間の遷移における蛍光スペクトル

この結果、スペクトル線の半値幅の平均は8.3 [mm]、2本のスペクトル線の間隔の平均とばらつきは 55.6 ± 0.5 [mm]より、スペクトル線の半値幅の平均とばらつきを周波数に直すと、 13.7 ± 0.90 [MHz]となった。

6.5 色素レーザーの周波数掃引の不均一

スペクトル線の半値幅を測定したとき、平均にばらつきが生じる理由として色素レーザーの周波数掃引が不均一であることが挙げられる。FSR20 [MHz]のエタロンにレーザー光を入射

して周波数を500[MHz]掃引したときのマーカーの様子を測定結果6として示した。



測定結果6；20[MHz]のエタロンにレーザー光を入射して周波数を掃引した様子

測定結果6において、共振のピークの間隔をひとつひとつ測り、平均をとると、 11.0 ± 1.85 [mm]となり、周波数に直すと、

$$20 \times \frac{1.85}{11.0} \cong 3.36 \text{ [MHz]}$$

のばらつきがあることがわかった。

6.6 スペクトル線の半値幅の測定値と計算値の比較

リチウム原子のスペクトル線の自然幅は5.85[MHz]、原子ビームの拡がりによるドップラーシフトの残留は10.2[MHz]、そして色素レーザーの周波数掃引の不均一によるスペクトル線の拡がり3.36[MHz]より、色素レーザーの周波数掃引の不均一をガウス分布と仮定して、ローレンツ関数とガウス関数を合成すると、その半値幅は、14.2[MHz]となる。測定で得られたスペクトル線の半値幅は 13.7 ± 0.90 [MHz]だから、一致しているといえる。

7. まとめ

ドップラー幅 (3.82[GHz]) に対して非常に細く、自然幅に近い蛍光スペクトルが得られ、リチウム原子の原子ビーム法によるドップラー・フリー蛍光スペクトルが測定できた。

8. 課題

測定したスペクトル線より誤差(エラー)信号を得、周波数をロックするためにスペクトル線が十分に細くなっているかを検討する。まだ細くする必要があるならば、原子ビームの拡がりを抑えるためピンホールをもう一枚入れるなどし、十分細ければ、周波数をロックし、リチウム7のプローブ光として使用できるようにする。