

${}^6\text{Li}$ 磁気光学トラップの特性

電子物性工学科 清水研究室 荒井裕

1. はじめに

リチウム6原子は陽子3個電子3個中性子3個を持つフェルミ粒子であり、その気体を冷却し、多数トラップすると、フェルミ縮退が起こる。それを実現させ、縮退した気体の性質を調べようというのが遠い目標である。原子をトラップするのにまず磁気光学トラップを行うのだが、その前に原子を冷却しなくてはならない。その冷却の際に我々は電気光学変調器(EOM)を使った。本実験の目的は、リチウム6を磁気光学トラップする際に最適なEOMの駆動周波数と、供給パワーを決めることである。

2. なぜEOMを使うか

図1はリチウム6のエネルギー準位図を表している。リチウム6の冷却遷移には、 $2^2S_{1/2} F=(3/2) - 2^2P_{3/2} F=(5/2)$ を使う。 $2^2P_{3/2} F=(5/2)$ からは $2^2S_{1/2} F=(1/2)$ 準位にも原子が落ちるので、多数回の吸収放出を行わせるためには、その準位の原子を再び冷却遷移に戻さなくてはならない。そのために $2^2S_{1/2} F=(1/2)$ から $2^2P_{3/2} F=(3/2)$ に共鳴する光を照射し、原子がなるべく冷却遷移にいるようにする。そのリボンピング光を発生させるのに周波数変調を行うEOMを用いる。EOMを使うと光の方向を変えること無しに、もとの周波数の光と、周波数を変調された光を出すことができる。

3. 実験装置

図2のような実験装置を使う。

冷却レーザーはAr励起の色素レーザーを用い、EOMを通して原子ビームに向けて照射する。リチウム原子オープンから出た原子ビームは、ゼーマンコイル中を通過している間に減速され、二つのトラップコイルと四方向から入射するレーザー光によってトラップされる。EOMにはシグナルジェネレーターからアンプを通して信号を送り、トラップの蛍光強度はフォトダイオードで検出し、オシロスコープで観測する。

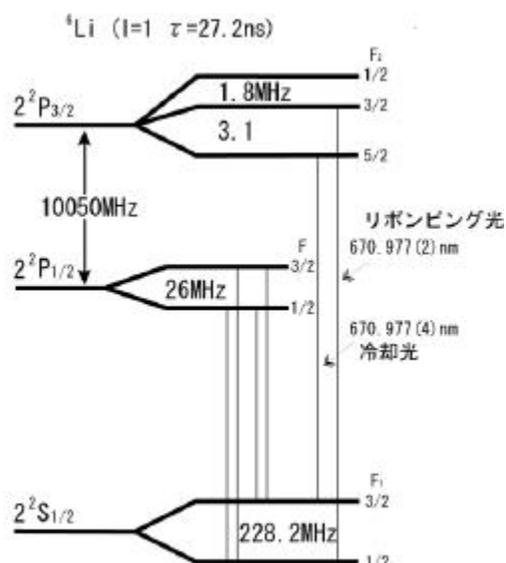


図1. リチウム6のエネルギー準位図

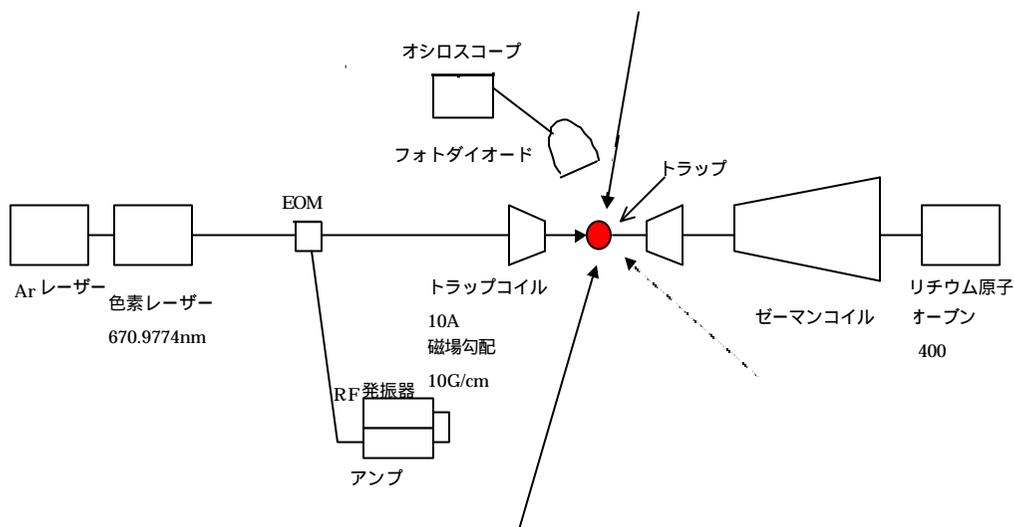


図 2 実験装置

4 . 測定方法

色素レーザーの波長を冷却遷移の 670.9774nm に合わせる。今回作成した EOM を用い、シグナルジェネレーターから周波数 240MHz から 253MHz の信号を送る。その時サイドバンドとキャリアの強度比を 10% で一定に保ち、トラップの蛍光強度を測定する。周波数を変化させるとサイドバンドとキャリアの強度比が変化するのでコイルを変形させて一番共振する状態にしてからパワーを変化させて調整した。キャリア周波数を固定できないので、色素レーザーの周波数を掃引してトラップの蛍光強度を測定した。

図 3 は測定結果の一例で、EOM の駆動周波数 248MHz、アンテナへの供給パワーが 4.6W、サイドバンドとキャリアの強度比が 10% の時のオシロスコープの表示である。横軸が周波数、縦軸が下向きにトラップの蛍光強度を表している。(レーザー周波数掃引の速度は測らなかったのだが、最大の蛍光強度が出ている所がトラップ周波数で、強度がゼロになるあたりが原子の共鳴周波数である。)

一番蛍光強度が強く出る EOM の駆動周波数が決まったらそれを固定し、EOM への供給パワーを変化させ、トラップの蛍光強度を測定した。

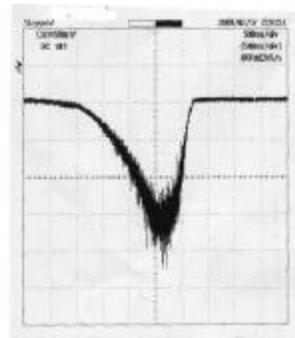


図3. 測定例

5. 結果

図4は EOM の駆動周波数を変化させた時のトラップの蛍光強度の変化を示したグラフである。この時冷却レーザーの強度は約 100mW である。

周波数のふらつきがある為、トラップの蛍光強度もふらつき、データはばらついたが、このグラフから、EOM の最適駆動周波数は 248MHz であるとした。

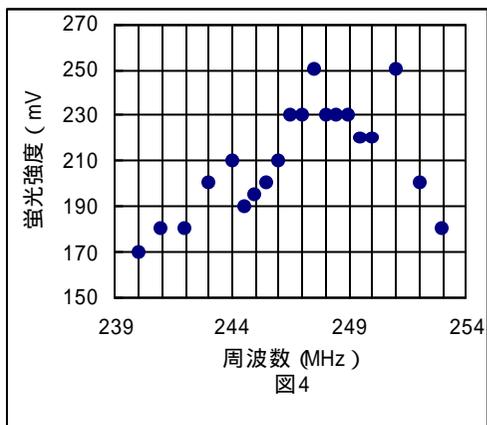


図4

図5は EOM の駆動周波数を 248MHz に固定した時の、アンテナへの供給パワーに対するトラップの蛍光強度の変化を示している。

また、パワーを変えるとサイドバンドとキャリアの強度比も変化するので、強度比に対する蛍光強度の変化もグラフに示した。図6。

図7はパワーに対するサイドバンドとキャリアの強度比の変化を表している。

供給パワーが約 36dBm、サイドバンドとキャリアの強度比が 15%程度で蛍光強度が最大となっている。

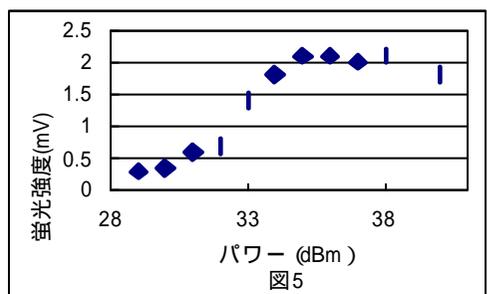


図5

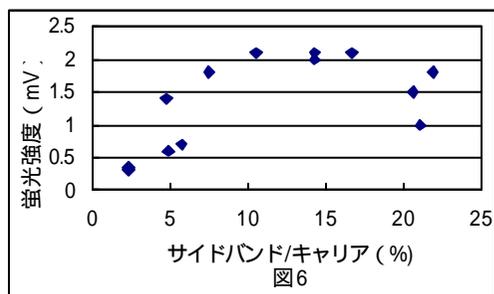


図6

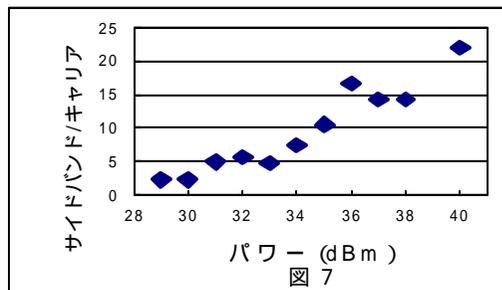


図7

6. まとめ

リチウム 6 を磁気光学トラップするのに最適な EOM の駆動周波数は 248MHz、供給パワーは 36dBm, またその時のサイドバンドとキャリアの強度比は 15% であると分かった。

EOM の駆動周波数 248MHz は、リチウム 6 のエネルギー準位図から、基底準位のスプリッティングの 228MHz と、励起準位のスプリッティングの 3MHz と、あとレーザーの周波数が原子の共鳴周波数より低めに設定してあるので、その差分の周波数から来ている。逆算すると、リチウム 6 を磁気光学トラップする時はレーザーの周波数を共鳴周波数から 17MHz だけ低くすればいいということが分かる。

また、今回の測定では、レーザーの周波数が安定していなかったばかりでなく、レーザーのパワーが弱かった (100mW) ため、サイドバンドとキャリアの強度比が 15% 程度となったが、レーザーのパワーがもっと強ければもっと違う値になるかもしれない。たとえば図 6 でサイドバンドとキャリアの強度比が 20% のあたりで蛍光強度が小さくなっているが、それはサイドバンドが増えた分キャリアが減ったためであり、キャリアもある程度なければトラップできないからである。

(ちなみにリチウム 7 のトラップの際に用いる EOM の場合、サイドバンドとキャリアの強度比は 30% であり、レーザーのパワーは 120mW 程度である。)

また、今回の測定からトラップされた原子の個数を見積もったところ、約 10^7 個であった。(リチウム 7 は今までで最高 10^9 個トラップされている。)

7. 今後の課題

リチウム 6 磁気光学トラップ用の周波数ロックシステムを作り、また、レーザーパワーを安定させ、より多くのリチウム 6 原子をトラップする。