

87Rb原子の5S-6P遷移を用いた光の減速実験のための 外部共振器レーザー作成に向けて

物理工学プログラム 岸本研究室

2010153 小野航希

1. 研究背景

本研究は,5S-6P遷移(420nm帯)を用いて光をどの程度まで減速が可能なのかを探索し,光学的深さへの依存性や減速効率を調べるための外部共振器レーザーの作成に向けて設計を考えたものである.2つのレーザーではなく,1つのレーザーから電流変調で2つの周波数成分を生成し,外部で共振器を組んでサイドバンド光を増強させる.これにより,2つの光源を使わないので,コストの削減が期待できる上に,周波数を合わせやすくなると予想される.

2. 実験原理

2.1 EITを用いた光の減速に向けて

EIT(電磁誘起透明化)において, Λ 型の図1のような3準位系を用意する.aは励起状態で,b,cは基底状態である.ここに2つの異なる2つの周波数を当てることにより通常なら光を吸収する下の状態に物理系があるのにも関わらず,光と物質との相互作用がなくなり吸収が消失する[1].

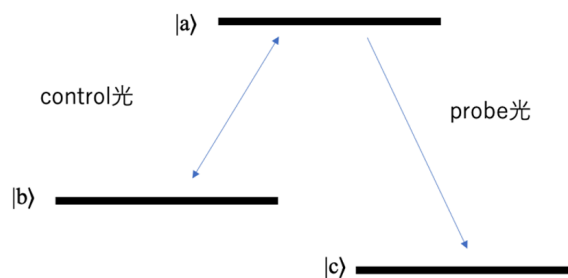


図1. Λ 型3準位系のエネルギー準位

a-b間に共鳴する光をcontrol光,a-c間に共鳴する光をprobe光と呼ぶ.また,probe光とcontrol光の差を超微細構造に調整する.ここでprobe光の共鳴周波数では図2のように吸収が消失する.この吸収が消失している時の領域の幅は,control光と相互作用の大きさであるラビ角周波数により与えられる.このように共鳴周波数付近で光の吸収が抑制されることにより,非常に大きな分散が生じる.

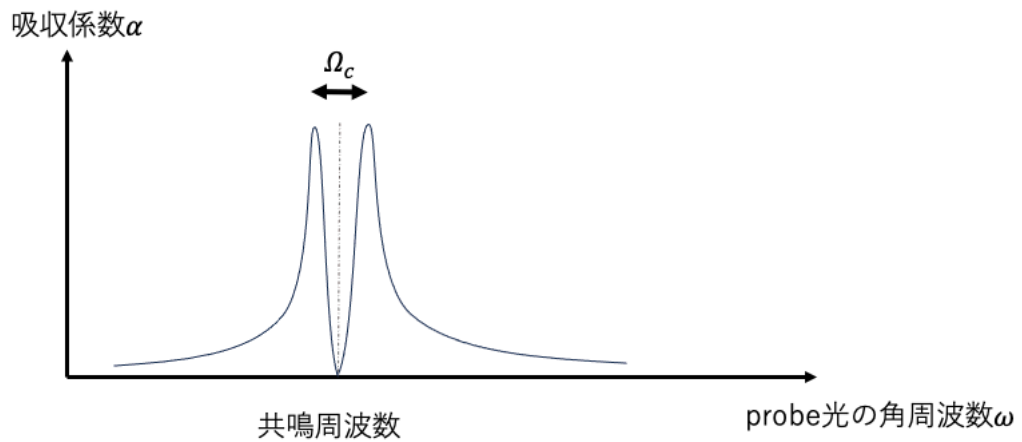


図2.EITにおけるprobe光吸収スペクトルの概形

ここで複数の波を重ね合わせたときに進む速度である群速度について考えてみる. 群速度は(1)式のように与えられ分母に分散の項がある. また $n(\omega)$ は物質の屈折率である.従って,光の吸収が抑制されることにより,大きな分散が生じ,群速度の分母の分散も大きくなり,群速度が小さくなる[2].

$$v_g = \frac{c}{n(\omega) + \omega \frac{dn(\omega)}{d\omega}} \dots (1)$$

2.2 コリメートチューブを用いる理由

光の減速実験に向けて2つの異なる周波数成分の光を1つの外部共振器レーザーから発生させることを考えており,そのためにも平行光の出力かつ焦点距離を合わせるためにコリメーションレンズの位置が重要になる.

ガウシアンビーム光学に基づいてLD(Laser Diode)から出た光は次の図3のように広がっていく.

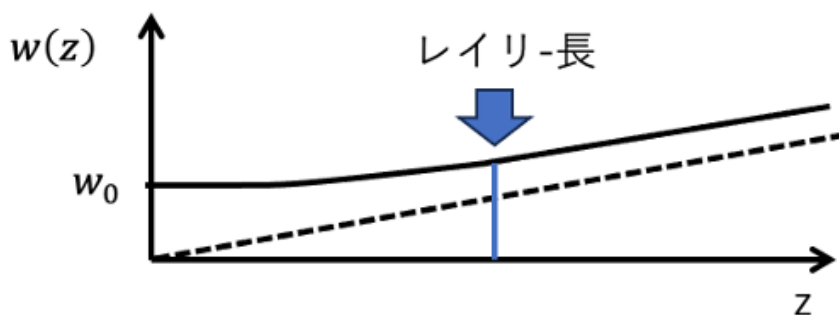


図3.ビームウェスト面からのビーム半径

$w(z)$ は z での光波の $1/e^2$ の強度の等高線の半径, w_0 はビームウエスト面で中心に比べて $1/e^2$ の強度の等高線の半径,そして z はビームウエスト面からの距離である.初めの方は非線形的に広がっていくが,遠ざかるにつれて線形的に広がっていく.ここで図3中にあるレイリー長とは,ビーム断面積がビームウエスト面の2倍になる距離であり次式(2)のように定義される.

$$Z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \dots (2)$$

ここで光の広がりを抑えるためにもレンズを用いるのだが,通常はSPW301等のマウント付き非球面レンズ調整用スパナレンズを用いてLDとレンズの距離を調整している.

3. 新たに調整機能付きチューブを用いたレンズの位置の調整方法

今回新たに調整機能つきチューブ(型番:LTN330)を用いることにより従来よりもレンズの位置を調整しやすくなった.そこで,5S-6P遷移での光の減速実験に向けて光を平行化されているかの確認実験を行い,使用した機器とその特徴を表1にまとめた.

表1.実験で用いた機器の説明

機器	型番	詳細
チューブ	LTN330(Thorlab)	調整機能付き
カメラ	BC207VIS/M - CMOSカメラ 型ビームプロファイラ (Thorlab)	350~1100 nm対応
LD	NDVA416T(NICHIA)	420nmがピーク波長
レンズ	357775(Thorlab)	設計波長は408nm 焦点距離4.0mm

また光の減速実験に向けて,図4のような5S-6P遷移波長の光が必要である[3].調整機能つきチューブに付属しているレンズの設計波長が350nmから700nmと幅が広い.そこで光の減速実験のために波長420nm付近のレンズに差し替えた.

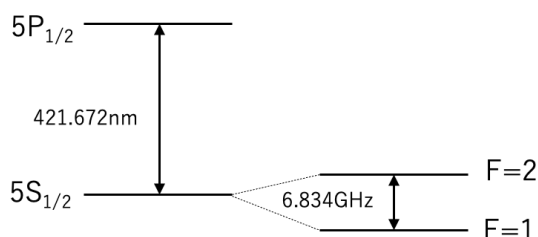


図4.5S-6Pの遷移波長差

レンズとLD断面の距離を焦点距離である4.0mmに合わせて $1/e^2$ 半径を測定した結果が図6である.理論値は(1)式より求めて測定した値と比較した.また(2)式よりレイリー長を求め $z=268\text{cm}$ とわかり,実験では $z=260$ 付近でレイリー長を取ることがわかった.

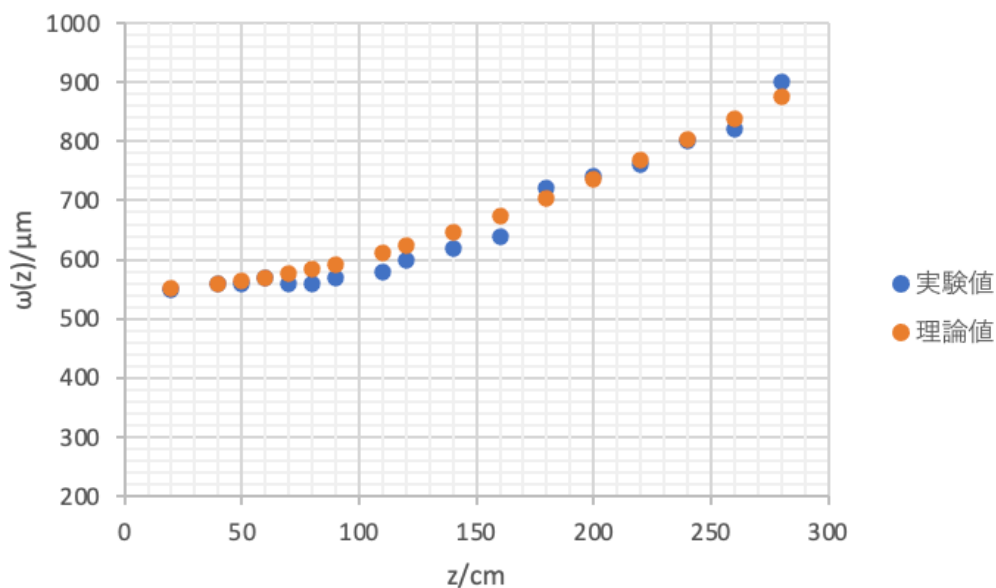


図5.zでの $1/e^2$ の強度の等高線の半径

4.今後の展望

レイリー長が概ね一致しており,ガウシアンビーム光学に沿ったレーザーを作成できた.今後は実際に外部共振器を作成し共振器長に注意して光の減速実験を行う.

参考文献

- [1] L. V. Hau *et al.* "Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas." *Nature* **397**, 594-598 (1999).
- [2] A.S.Zibrov *et al.* "Experimental demonstration of enhanced index of refraction via quantum coherence in rb," *Phys. Rev. Lett.*, **76**, 3935-3938, (1996).
- [3] C. Glaser *et al.* "Absolute frequency measurement of rubidium 5s-6p transitions," *Phys. Rev. A* **102**, 012804 (2020).