

準安定状態ヘリウムビーム偏向器の製作

量子・物質工学科 清水研究室

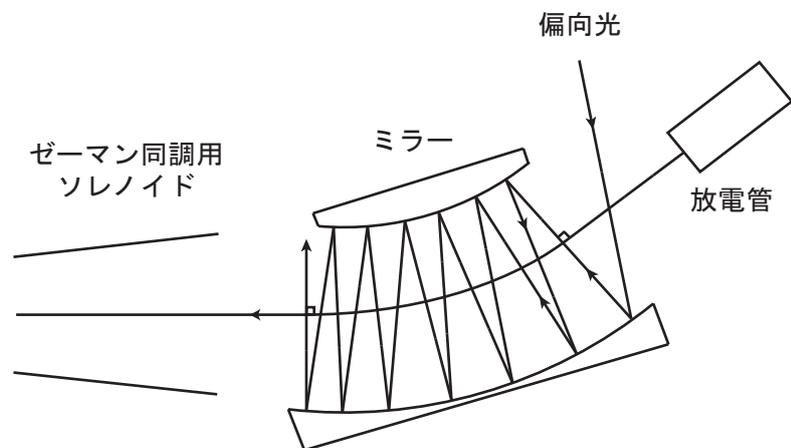
0313115 矢島章二郎

背景・目的

- ・本研究室では、放電管から射出された準安定状態ヘリウム原子をレーザー冷却し、磁気光学トラップ(MOT)でトラップさせ、トラップされた極低温の準安定状態ヘリウム原子を用いて固体表面での量子反射の実験を行っている
- ・より多くの原子をトラップするために、現在実験で使われている偏向器よりもヘリウム原子ビームを平行化させ、ビームの強度を向上させる、より高い集束機能をもった偏向器を製作する。

偏向器の必要性

放電管が射出するヘリウム原子は基底状態、準安定状態やイオンが存在する。準安定状態ヘリウム原子に共鳴するレーザー光により準安定状態ヘリウム原子を偏向し他の状態と分離する。また、広がりのある原子ビームを平行化し、ビーム強度を向上し、ビームをゼーマン同調用ソレノイドの軸方向に一致させる。

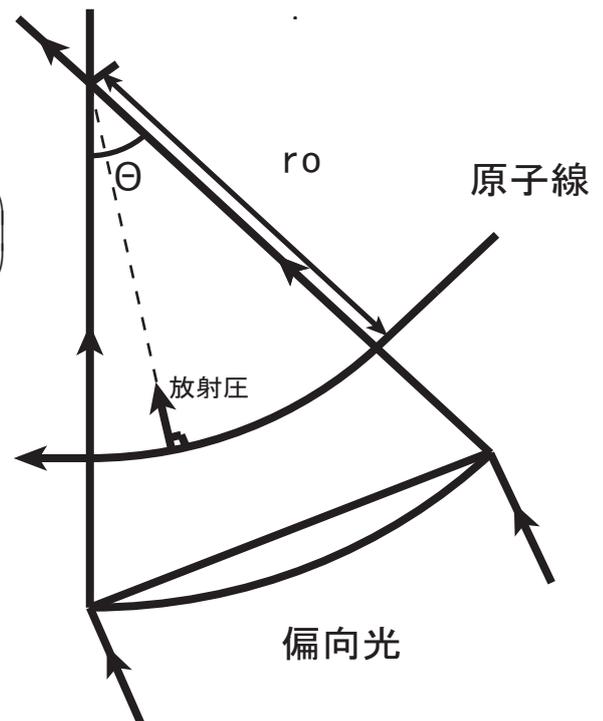


原子線偏向器の原理

右の図のような、ある曲率中心に向かうレーザー光の場と、その場に垂直に入る原子線を考えます。原子がレーザー光によって受ける放射圧は以下の式で書けます。

$$F_{spont}(r) = -\frac{\hbar k}{2\tau} \frac{2I(r)/Isat}{1 + 2I(r)/Isat + u^2}, \quad u(\dot{r}) = \frac{2\pi}{\Gamma/2} \left(\frac{\dot{r}}{\lambda} + \Delta\nu_L \right)$$

ここで、 $Isat$; 飽和パワー、 $\tau = 1/\Gamma$; 原子遷移の上順位の寿命、 $\Delta\nu_L$; レーザー離調である。放射圧の大きさは、ドップラーシフトを考慮するとレーザー光と原子の進行方向のなす角によって決まり、なす角が 90° のとき最大の力が原子に与えられます。よってこのとき放射圧と遠心力が釣り合えば円軌道を描いて曲率中心の角度 Θ だけ曲げられます。



平行化の原理

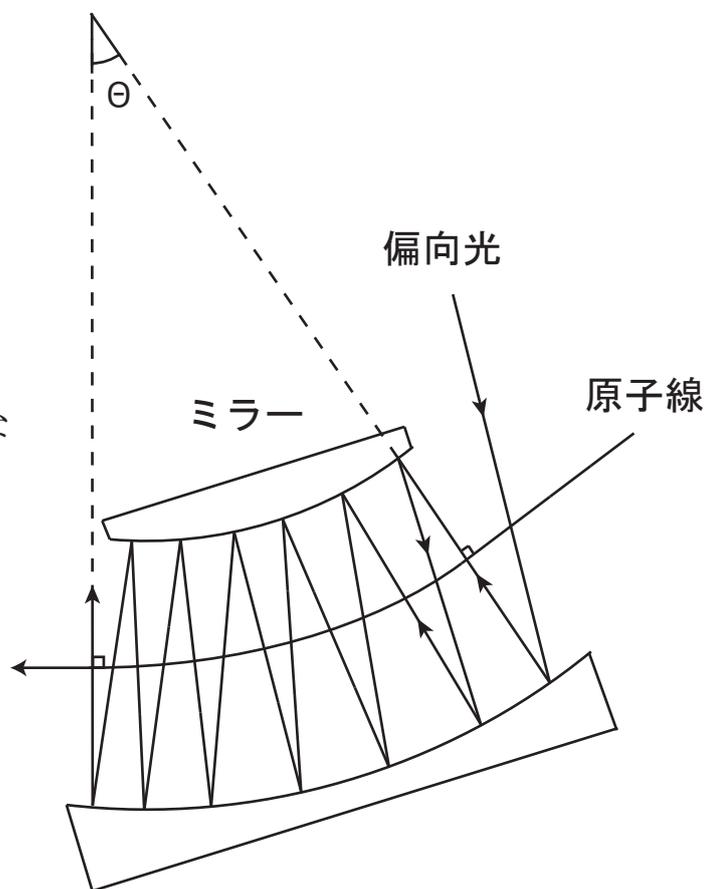
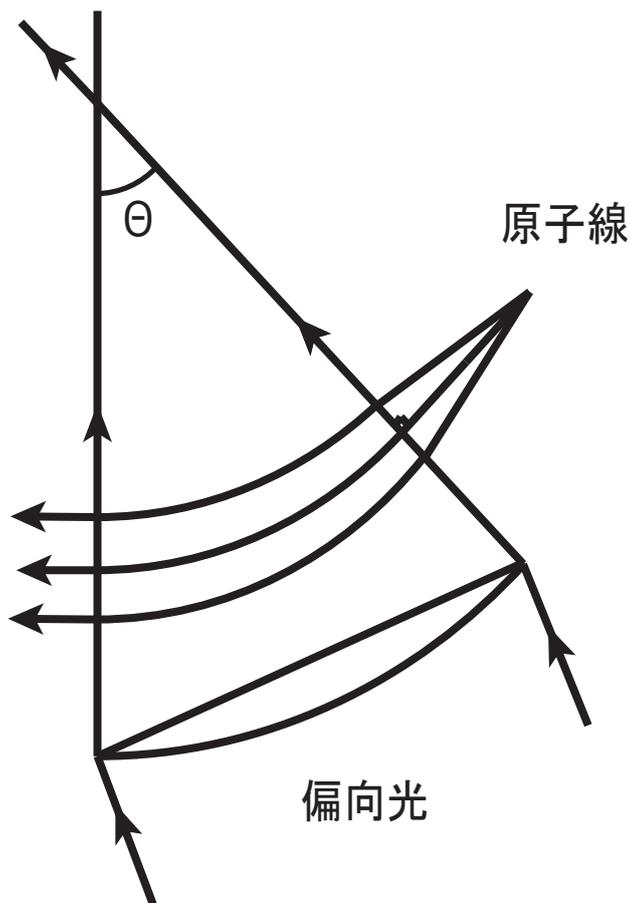
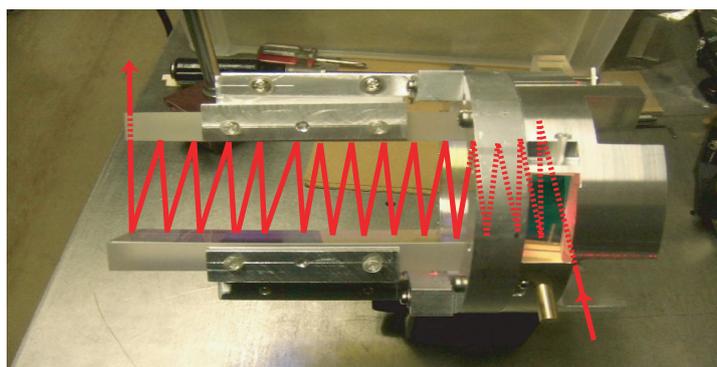
動径速度が Γ (自然幅)/ k よりも小さい、近共鳴に保たれる速度広がりを考えます。放射圧の式を動径速度で展開した1次の補正項は次の式になります。

$$F = 16\pi^2 h \Gamma \frac{I}{Isat} \cdot \dot{r} \frac{\Delta\nu_L}{(1 + I/Isat + 16\pi^2 \Gamma^2 \Delta\nu_L^2)^2}$$

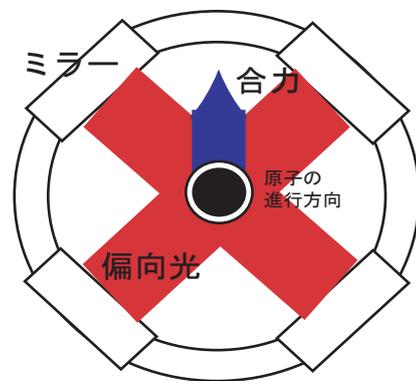
ここで、レーザー離調が負の時、1次の補正項の力は動径速度に比例し、レーザー離調が負なので、動径方向とは逆方向の力が粘性のある摩擦力のように働きます。これにより動径方向の冷却が起こり、原子は平行化されます。

偏向器の設計

原子線を偏向させるレーザー光の場を対の凹面、凸面鏡を使い作ります。対の凹面、凸面鏡にレーザー光を当て多数回反射させます。このときミラーの反射率が極めて高いこと、またレーザーに十分な幅を持たせていることからミラーの間は飽和パワー $Isat$ よりも十分強いほぼ一様なレーザーで満たされます。ここで、凹面鏡から凸面鏡に向かうレーザー光は曲率中心に向かっており、それにおよそ垂直に交わる原子が放射圧により曲率中心に向かう力を受けます。また、凹面から凸面鏡に向かう光に垂直に交わる原子であれば、凸面から凹面鏡に向かうレーザー光は、ドップラーシフトにより寄与が小さくなる。したがって、この偏向光の作る場は原理で説明した光の場とおよそ同様のものと考えられます。



実験では原子の進行方向をZ軸として、X、Y軸両方向に2対の凹面鏡、凸面鏡を配置させます。2対のミラーの作るレーザー光の場の合力は上向きになります。



	曲率中心	曲率中心角度 Θ	寸法
凸面鏡	2940mm	3.25°	150 × 35 × t15@min,t17@max
凹面鏡	3000mm	3.25°	170 × 35 × t15@min,t17@max

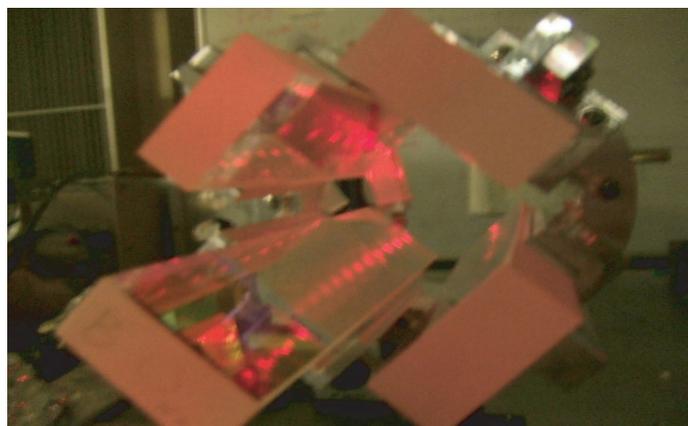
偏向光波長 λ	1083nm	飽和パワー I_{sat}	0.98mW/cm ²
原子遷移寿命 $\tau = 1/\Gamma$	100ns	He原子質量	$6.64 \times 10^{-27} \text{kg}$

R=2970mmで偏向できる限界速度	1660m/s
--------------------	---------

ソレノイドで決まる最大冷却速度	600m/s
-----------------	--------

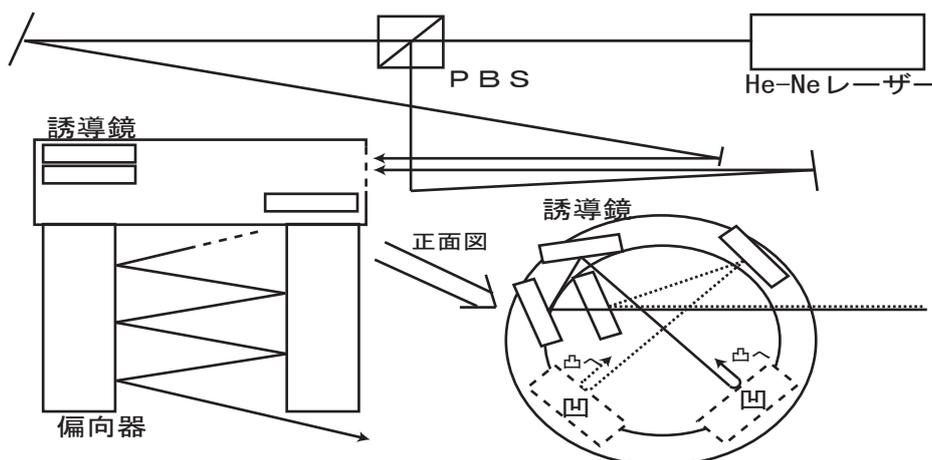
パワー密度 ($v=600\text{m/s}$)	1.75mW/cm ²
-----------------------------	------------------------

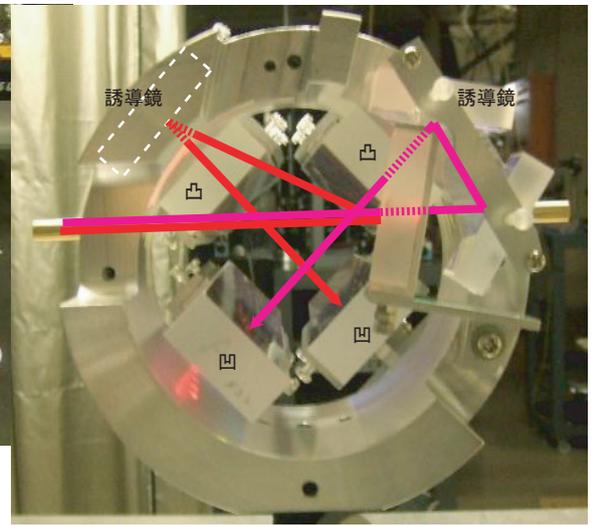
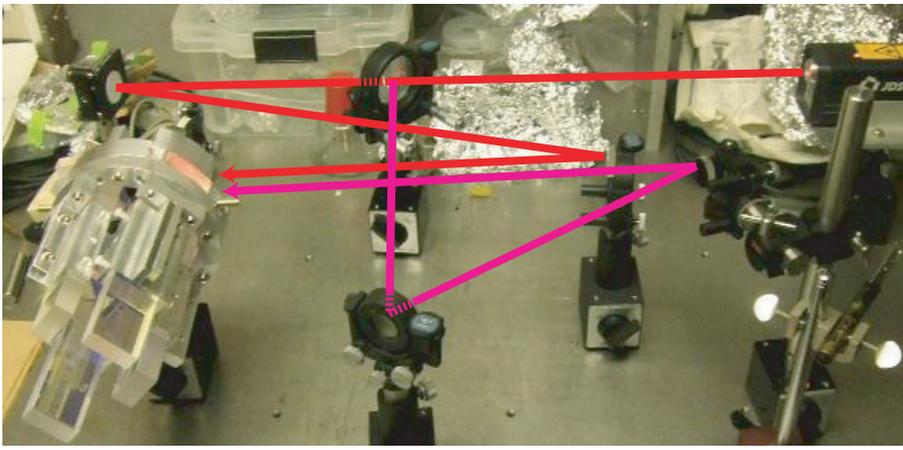
実験で使う凸面鏡、凹面鏡のサイズはこのようになります。偏向光の波長、飽和パワー、寿命、質量は上記のようです。対のミラーの間である、 $R=2970\text{mm}$ で偏向できる限界速度は1660m/sです。このとき、ゼーマン同調用ソレノイドで決まる最大冷却速度は600m/sなので、十分です。実際には凸面鏡から凹面鏡からのレーザーの寄与も多少存在するので、上記のパワー密度よりも大きくなることが予想されます。実験で使うレーザーパワーは100mW以上あるので、十分であると思われます。右の画像は実際に組んだ偏向器の正面の画像と横から写した画像です。



偏向器の調整

実験で使うレーザー光は可視光ではないので、調整では可視光であるHe-Neレーザーを使います。He-Neレーザーから出た光をビームスプリッターで分け、2本の光を偏向器にいれます。ミラー対を設置するリングに固定されている誘導鏡にあたり、まず凹面鏡に当たり対のミラーで多数回反射させます。レーザーの入射角と対のミラーを動かし、対のミラーで15回の反射、また、レーザー光が中心を通るよう調整します。現在この調整を行っています





まとめ

工作段階が終わり、現在偏向器の調整を行っている。反射回数と偏向器の中心を通ることを確認するだけでなく、レーザーが偏向器から透過して集束してゆく曲率中心を確認し、調整したいと思う。

今後の予定

偏向光の調整(現在)



実験装置に設置



MCPにより性能評価

偏向器の調整が終わり次第、実際の実験装置に組み込み、マイクロチャンネルプレート(MCP)、また、ファラデーカップを使用し偏向器の性能を評価したいと思う。