

# 光誘起脱離を用いた冷却 $^{87}\text{Rb}$ 原子源の高効率化

中川研究室 西岡直紀

## 1.背景・目的

中川研究室では重力加速度測定の為の可搬型原子干渉計の開発を行っている。重力の測定を行い、重力加速度を決定出来れば得られた結果から地下構造の様子を知ることが出来る。そこで得られた情報を基に防災分野に役立てる事が出来るといっただけでなく、火山やマグマの動きも監視する事が出来る。また原子干渉計の感度は冷却原子の個数に依存している。

しかし冷却原子の個数を増やすために圧力を上げると、冷却原子だけでなく背景の不要な原子も増加してしまう。これを防ぐため冷却原子のみを増やす試みとして光誘起脱離法(*Light - induced atomic desorption, LIAD*)を用い冷却原子の個数評価を行った。

## 2.原理

### -1.ドップラー冷却

原子に対しレーザー光を照射すると原子は基底状態から励起状態に遷移する。その後励起した原子は自然放出によって光子を放出し再び基底準位へ遷移する。この吸収放出サイクルが起こる過程で原子が光から受ける力を輻射圧という。輻射圧による原子への影響はレーザーと原子の運動状態によって異なり、運動している原子へ対向するレーザーの照射を行うと原子の運動量は減少し、温度低下を招く。この時の温度をドップラー温度と呼び実験で用いた $^{87}\text{Rb}$ のドップラー温度は $147\mu\text{K}$ である。

### -2.磁気光学トラップ

ドップラー冷却によって原子の冷却を行う事ができるが、それだけでは原子の位置を限定して捕縛するには至らない。原子を捕縛するには輻射圧に位置依存性を与えなくてはならない。アンチヘルムホルツコイルによって形成される四重極磁場により、原子はエネルギーシフトを起こす。次に円偏光が $\sigma^+$ , $\sigma^-$ であるレーザーを対向するよう照射する。先のエネルギーシフトとレーザー光による輻射圧を考慮すると、原子は中心方向に向かうような力を受けることになる。この原理を利用し原子を捕縛する装置を磁気光学トラップという。

### -3.偏光勾配冷却

レーザーの偏光状態を利用する事でドップラー温度よりも更に冷却する事が出来る。この手法を偏光勾配冷却といい、この時の温度を反跳限界温度という。実験で用いた $^{87}\text{Rb}$ 原子の反跳限界温度は $180\text{nK}$ である。

#### -4.光誘起脱離, LIAD

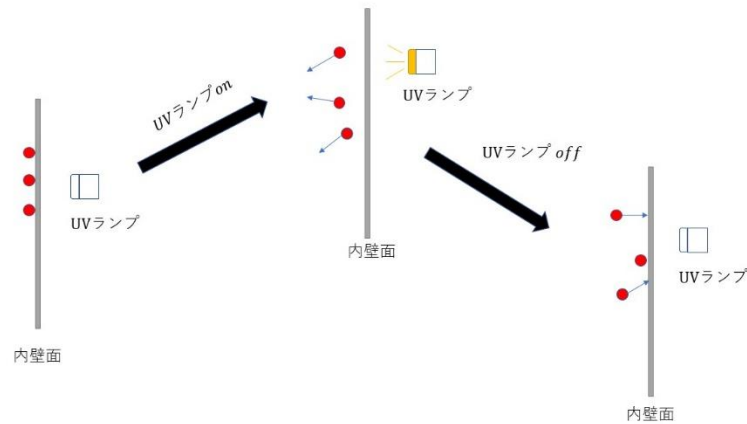


図.1 LIAD

ガラスセル内に封じ込めた気体に対しレーザーの照射を行うと内壁に吸着していた原子が運動量を得るので脱着する。勿論レーザーの照射をやめると、原子は再び内壁に吸着する。これにより一時的に圧力が上昇し、冷却原子の一時的な個数の増加がみられる。この手法を光誘起脱離という。

### 3.実験方法

#### -1.蛍光強度による個数評価

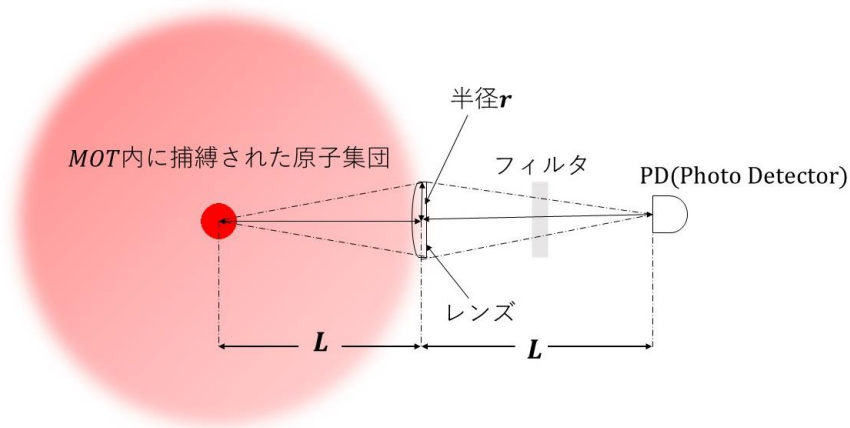


図.2 個数評価

得られた蛍光強度から原子を見積もる方法を示す。光学系は図のようになっている。レンズの焦点距離を $f$ 、MOTからレンズまでの距離を $L$ 、レンズの実行半径が $r$ であるときディテクターに入射する光の強度 $P$ は

$$P = h\nu \frac{1}{\tau} N \frac{S_c}{S_b}$$

と表される。この時原子数 $N$ は

$$N = P \frac{\tau}{h\nu} \frac{4L^2}{r^2}$$

と表される。自然放出レート $1/\tau$ の導出を行う。自然幅 $\Gamma$ 、励起状態にいる確率 $\rho_{ee}$ 、飽和パラメータ $s$ 、共鳴飽和パラメータ $s_0$ 、飽和強度を $I_0$ 、入射レーザー強度を $I$ とすると

$$\begin{aligned} 1/\tau &= \Gamma \rho_{ee} = \Gamma \frac{1}{2} \frac{2}{1+s} \\ &= \frac{\Gamma}{2} \frac{s_0}{1+s_0 + \left(\frac{2\delta}{\Gamma}\right)^2} \end{aligned}$$

と表される。自然幅 $\Gamma$ を $2\gamma$ とし $\tau = \frac{1}{\gamma} \frac{1+s_0 + \left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^2}{s_0}$ と置き換える。また励起状態にいる確率 $\rho_{ee} = \frac{1}{2} \frac{2}{1+s}$ 、飽和パラメータ $s = \frac{s_0}{1 + \left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^2}$ 、共鳴飽和パラメータ $s_0 = I_0/I$ である事に注意すると原子の

個数 $N$ は

$$N = P \frac{\lambda}{hc} \frac{1}{\gamma} \left[ 1 + \frac{I_0}{I} \left\{ 1 + \left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^2 \right\} \right] \left(\frac{2L}{r}\right)^2$$

これにより原子の個数を見積もる事が出来る。

## -2.PD(Photo Detector)

個数評価を行う為電流電圧変換回路を作成し、その装置の感度を測定したところ $18.5 \mu W/V$ であった。

## 4.結果

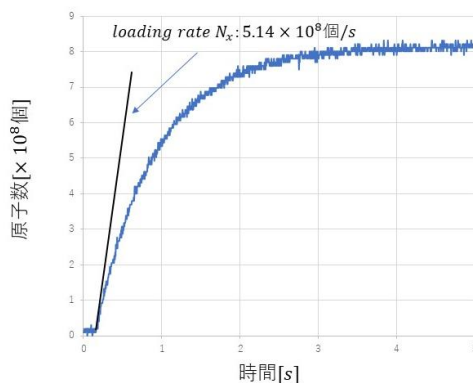


図.3 MOTのみでの原子数

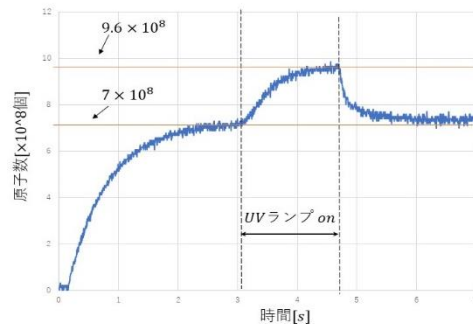


図.4 LIADによる原子数への影響

LIADによって増加した原子の個数は $2.6 \times 10^8$ と見積もることができた。

## 5. 今後の展望

増加した個数は $2.6 \times 10^8$ であり増加後の比率としては1.37倍と言える。しかし参考にしたデータと比べると増加した原子数の桁が1桁大きいといった結果となった。そのため、今後は何故桁が大きくなったのか原因を探りつつ、不要な原子の個数評価の方法についても模索していきたい。

### [参考文献]

- [1]K.Nakagawa, Y. Suzuki., M. Horikoshi., and J. B. Kim, 「Simple magnetic transport of cold atoms using moving coils for the production of Bose-Einstein condensation」 Applied Physics B(2015)
- [2]B.P.,Anderson, and M.A.Kasevich, 「Loading a vapor-cell magneto-optic trap using light-induced atom desorption」 Physical Review A,Vol.63 (2001)
- [3] 久我隆久『量子光学』朝倉書店 (2018)