

光共振器中のリュードベリ集団励起を利用した単一光子源の開発

Development of single photon source using collective Rydberg excitation in an optical cavity

電通大レーザー研, [○](M2) 増田晴美, 足立遼太郎, 丹治はるか

ILS, Univ. of Electro-Comms., Harumi Masuda, Ryotaro Adachi, Haruka Tanji-Suzuki

E-mail: tanji@ils.uec.ac.jp

近年, 量子暗号通信や量子コンピュータなどの量子技術が注目されている. これらの実装においては, 任意のタイミングで確実に単一光子を発生できる, オンデマンドな単一光子源が重要な役割を果たすと考えられている. 私たちは, 共振器中に捕捉した ^{87}Rb の冷却原子集団をリュードベリ状態に励起させ, 脱励起に伴って発生する光子を光共振器モードを通じて取り出すことによる高効率な単一光子発生を目指している. 単一光子発生にあたっては, 光共振器中に磁気光学トラップ(MOT)によって冷却, 捕捉された Rb 原子気体を光双極子トラップによりブロックード半径 R_b 以下の領域にトラップする. そこに共振器モードから 780 nm の光を, 横から 480 nm の光をそれぞれ入射させ, 原子をリュードベリ状態に二光子励起させる(Fig.1).

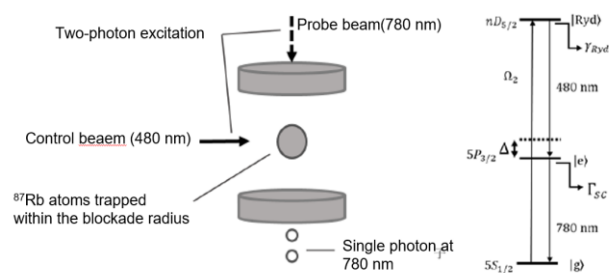


Fig.1 : Overview of the single-photon source

共振器モード中の集団励起状態からの脱励起における共振器モードへの単一光子の放出確率は

$$P_{cav} = N\eta/(1 + N\eta) \quad (1)$$

と表される. ここで N は原子数, η は単一原子協働パラメータである. 使用する共振器は, 光子を外部の単一モードへ高確率で放出させるために, 片側に低散乱損失のアウトプットカップラを用いた, フ

ァブリペロー型の非対称共振器であり, 単一原子協働パラメータは $\eta=0.346$ [1] である. 光子発生確率の目標を 90 % とした場合に確保すべき原子数は式 (1) より $N = 30$ 個程度である. また, 圧縮 MOT(cMOT) で実現可能な原子密度が $d_{cMOT} = 10^{11}/\text{cm}^3$ 程度であることから, 原子数 $N=30$ を含む原子集団の半径 $R=8 \mu\text{m}$ 程度と見積られる. リュードベリブロックード効果の及ぶ範囲を表すブロックード半径は,

$$R_b = (C_6/\hbar\Omega_2)^{1/6} \quad (2)$$

(C_6 : ファンデルワールス係数, Ω_2 : リュードベリ励起の二光子ラビ周波数) で与えられる. 二光子励起が自然放出よりも十分速いという条件 $\Omega_2 \gg \gamma_{\text{Ryd}} \approx 100 \text{ kHz}$ を満たすよう, $\Omega_2 > \Omega_{\text{min}} = 1 \text{ MHz}$ とすると, $R < R_b$ となる最小の主量子数 $n_{\text{min}} = 63$ となる. これまでに, 原子を中間状態から $n=63$ のリュードベリ状態に励起させるための波長 480 nm の光をチタンサファイアレーザーの第二高調波として発生させた. さらに FM 分光法[2]を用いてリュードベリ準位に対して周波数安定化をおこない, 安定度は $(3.5 \pm 0.2) \times 10^2 \text{ kHz}$ となった. また, 光共振器のミラーの特性評価が完了している. 現状では, MOT により得られている冷却原子集団の密度は $10^9/\text{cm}^3$ であり, 今後は cMOT による密度向上及び光双極子トラップを用いた原子の捕捉を目指す.

[1] 松山佳生 (電通大 情報理工学研究科 基盤理工学専攻 平成 31 年度修士論文).

[2] R.P.Abel et al, Phys,Rev,Lett. **110**,071107 (2009).