O-27

コンパクトな⁸⁷Rb 原子ボース・アインシュタイン凝縮体生成システムのためのレーザー冷却およ び原子観測装置の開発

Developments of a laser cooling apparatus of ⁸⁷Rb atoms and the atoms observation for a compact Bose-Einstein condensate generation system

〇江口真未¹, 桑本剛²
*Mami Eguchi¹, Takeshi Kuwamoto²

Abstract: We are constructing a simple and compact experimental system for generating the Bose-Einstein condensates of ⁸⁷Rb atoms. As the development process, we report the constructed systems for laser cooling of ⁸⁷Rb atoms and the atom observation.

1. はじめに

レーザー冷却とは、レーザー光を用いて気体分子の 温度を絶対零度近くまで冷却する方法であり、ボース・ アインシュタイン凝縮(Bose-Einstein Condensation: BEC)の前段階[1]や量子情報技術[2]に応用されている. 本研究ではレーザー冷却の一種であるドップラー冷却, 特にレーザー光と磁場を組み合わせ原子の冷却と捕獲 を同時に行う、磁気光学トラップ(Magneto-optical Trap: 以下 MOT) [3]を開発した. MOT はレーザー光とアン チヘルムホルツコイルによってできる四重極磁場で実 現される.また、BEC 生成の第一段階であり、非常に 重要な技術である.

我々の研究室では,2008 年に QUIC(Quadrupole Ioffe Configuration)型の磁気トラップ中で⁸⁷Rb 原子の BEC 生成に成功している.しかしながら,この BEC 生 成の実験系は大きく複雑なものである.本研究では, BEC 生成に向けたよりシンプルかつコンパクトな ⁸⁷RbMOT 構築および MOT 中の原子集団観測のための 装置開発を行ったので報告する.

2. 実験装置

MOT では、原子の閉じた 2 準位間の遷移を利用す る. Rb の主要な光学遷移には D1 線(遷移波長 795nm) と D2 線(同 780nm)の 2 つが存在し、通常レーザー冷却 には遷移強度の強い D2 線を使う. Fig.1 に ⁸⁷Rb 原子の D2 線の超微細構造とレーザー冷却に関係する遷移を 示す.本研究では F=2 → F'=3 の遷移を MOT 遷移と して使用する.ここで、F および F'は基底および励起 超微細準位の角運動量量子数である.この光学遷移過 程において、わずかながら F'=2 準位へ励起される確率 があり、冷却機構に寄与しない F=1 準位への脱励起過 程が存在する.そのため F=1 → F'=2 遷移に周波数を 合わせたリポンプ光を照射し、MOT を有効に働かせる.

1:日大理工・院(前)・量子 2:日大・教員・量科研

吸収イメージングに用いる Probe 光は MOT 光と同じ F=2 \rightarrow F'=3 遷移に離調をとらず共鳴に合わせる.



Figure 1. Hyperfine structure of ⁸⁷Rb atom, and the optical transitions for MOT and absorption imaging. F and F' are angular momentums of each hyperfine level.

Fig.2 に光学系の概要を示す.緑色の点線内が MOT 光の系,黄色の点線内がリポンプ光の系,青色の点線 内が Probe 光の系である. MOT 光用のレーザー

(MOT レーザー)は Sacher Lasertechnik 社の主発振器 出力増幅レーザー(TEC-420-0780-1000),リポンプ光用 のレーザーは手作りの外部共振器型半導体レーザーを 用いている.2台のレーザーの周波数変動は1MHz以 下に制御されている.

3. 磁気光学トラップ中原子集団の観測方法

原子の個数,温度を調べるためには、トラップから 解放し時間発展し膨張した原子集団を吸収イメージン グ法によって撮像することが必要である.Fig.3 に吸収 イメージング法の概略を示す.吸収イメージングは原 子集団に共鳴するレーザー光(Probe光)を照射すること で行う(Fig. 1).原子が Probe 光を吸収すると透過光強 度が減少するため、原子の密度分布を Probe 光の強度 分布として CCD カメラで撮像ができる. 今回 Probe 光 は $5S_{1/2}$:F=2 → $5S_{3/2}$:F'=3 の遷移に合わせ, イメージン グ画像の倍率は 1/2 に設定した. Fig.4 は CCD カメラ で撮像した MOT の吸収イメージング画像である.



Figure 2. Optical setup for MOT of ⁸⁷Rb atoms. Yellow square: repump beam system, green square: MOT beam system, blue square: probe beam system.



Figure 3. Absorption imaging of ⁸⁷Rb atom cloud.



Figure 4. ⁸⁷Rb atom cloud in the MOT taken by the absorption imaging.

4. まとめと今後の課題

⁸⁷Rb を用いた MOT の装置作成および MOT 中の原 子集団観測のための装置作成を行った.この装置で MOT 中の原子集団の原子数・温度評価を行い,より多 くの原子捕獲と低い冷却温度を目指し MOT の最適化 を行っていく.

5. 参考文献

[1] M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, and E. A. Cornell, Science 269, 198 (1995).

[2] T. Hecht, Master's thesis Technische Universität München 2004.

[3] E. L. Raab, M. Prentiss, Alex Cable, Steven Chu,andD. E. Pritchard, Phys. Rev. Lett. 59, 2631 (1987).