

光格子中の極低温リュードベリ原子集団の 多体ラムゼー干渉実験装置の開発

¹奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科、
²分子科学研究所・光分子科学研究領域、³総合研究大学院大学・物理科学研究科
○松本清張¹、田中陽²、溝口道栄^{2,3}、Yichi Zhang²、
武井宣幸^{2,3}、香月浩之¹、柳久雄¹、大森賢治^{2,3}

Construction of a many-body Ramsey interferometer of ultracold Rydberg atoms in an optical lattice

○Kiyoharu Matsumoto¹, Akira Tanaka², Michiteru Mizoguchi^{2,3}, Yichi Zhang²,
Nobuyuki Takei^{2,3}, Hiroyuki Katsuki¹, Hisao Yanagi¹, Kenji Ohmori^{2,3}
¹Graduate School of Science and Technology, NAIST
²Department of Photo-Molecular Science, IMS
³The Graduate University for Advanced Study, SOKENDAI

【Abstract】

Many-body correlations play an important role in physical phenomena such as the emergence of superconductivity and magnetism. Solving such quantum many-body problems is thus one of the central goals of modern sciences. In our previous study, we have generated a strongly correlated ultracold Rydberg gas by broadband picosecond pulsed-laser excitation of a disordered ensemble of rubidium atoms in an optical dipole trap and observed its many-body electron dynamics by time-domain Ramsey interferometry with attosecond precision [1-4]. We apply this approach to rubidium atoms trapped in an optical lattice. This would allow us to uncover more precise many-body dynamics hidden behind averaging over the disordered ensemble. To perform such an experiment, the long-term stability of the experimental system is required, including laser-frequency stability for laser cooling. In this poster, we discuss the long-term stability of our laser frequency and other possible technical improvements.

【序】

多体相互作用は、固体中における超伝導や磁性の発現から溶液中の薬剤分子の化学反応に至るまで、様々な物理・化学現象において本質的な役割を果たしており、これを解決することは現代科学における重要な課題の1つである。我々は光格子中の極低温ルビジウム原子集団に対してピコ秒パルスレーザーによるアト秒精度の時間領域ラムゼー干渉実験を適用することによって、強相関リュードベリ原子集団を生成し、そこでの多体電子ダイナミクスの観測・制御を行っている[1-4]。長時間に及ぶ測定の間、実験条件を均一に保つために

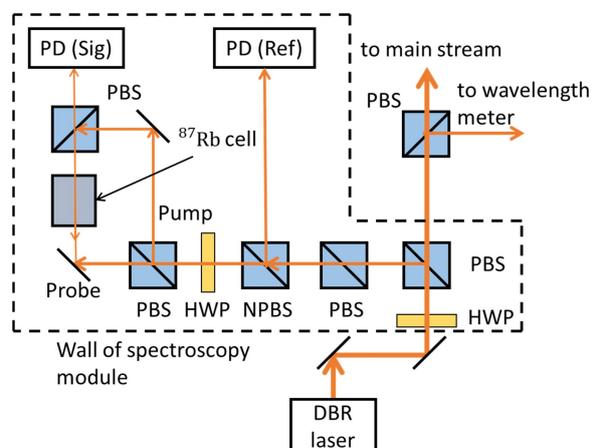


Fig. 1 Optical setup for frequency-lock system based on saturated absorption spectroscopy

実験システムを長期安定化する必要がある。例えば、冷却されたルビジウム原子集団を長時間に渡り安定して供給する必要がある。そこで我々は磁気光学トラップに用いる Repump レーザーの周波数ドリフトを 100 kHz/week に抑えることを目標に飽和吸収分光による周波数ロックの安定化に取り組んだ。磁気光学トラップとは、3 組の対向するレーザー対を原子に対して照射すると同時にアンチヘルムホルツコイルによる四重極磁場を発生させ、原子の冷却と捕捉を行う原子トラップの一種である。

【方法 (実験・理論)】

図 1 に飽和吸収分光の測定系を示す。光源は DBR レーザーで、その中心波長は 780nm である。pump 光はガスセル内の原子に吸収され、pump 光と重なる probe 光は原子に吸収されず PD (Sig) により検出される。PD (Sig) で得た信号から PD (Ref) で得た信号を引くことにより最終的な吸収信号を取得する。図 2 にルビジウム原子の超微細構造と Repump レーザーの対象となる原子遷移を示す。Repump レーザーの周波数は $5S_{1/2}$, $F=1$ から $5P_{3/2}$, $F'=1$ と $F'=2$ への遷移のクロスオーバーにロックしており、そこから音響光学素子により $F=1$ から $F'=2$ への遷移へ周波数をシフトさせる。図 3 に飽和吸収分光により取得した吸収線とエラー信号の図を示す。取得した吸収線は図 2 のルビジウムの超微細構造を反映している。エラー信号は吸収信号を近似的に微分した結果とみなせ、これを用いて DBR レーザーの電流にフィードバックをかけ、その周波数をロックする。レーザー周波数の安定性は、波長計により検出される波長 (nm) の小数点以下 3 桁を出力とする電圧値と、上記のフィードバックをかけた吸収ピークの電圧値をリアルタイムでモニターすることによって評価した。本講演では、これらの実験の詳細および今後の展望について報告する。

【参考文献】

- [1] N. Takei *et al.* *Nat. Commun.* **7**, 13449 (2016).
- [2] C. Sommer *et al.* *Phys. Rev. A* **94**, 053607 (2016).
- [3] K. Ohmori. *Found. Phys.* **44**, 813 (2014).
- [4] H. Katsuki *et al.* *Acc. Chem. Res.* **51**, 1174 (2018).

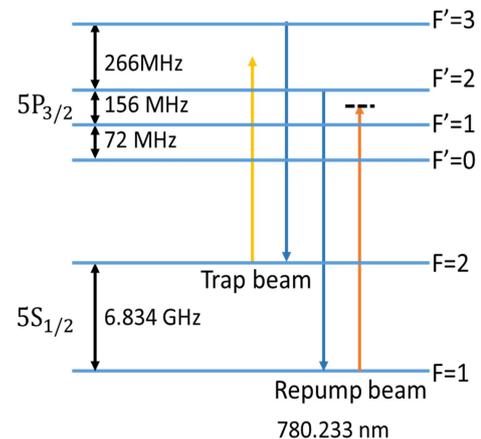


Fig. 2 Hyperfine structure in Rubidium and transitions by Trap and Repump beams.

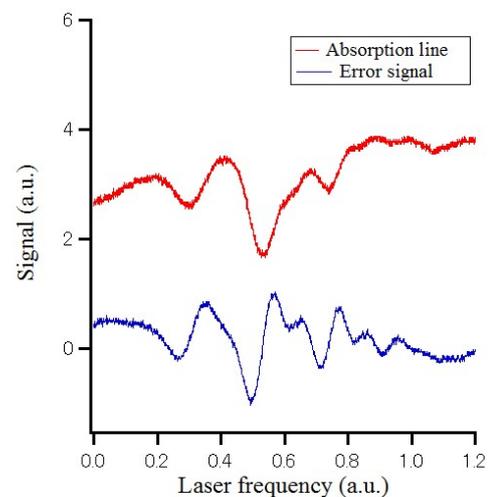


Fig. 3 Absorption line by saturated absorption spectroscopy and the error signal.