

極低温リユードベリ原子の超高速コヒーレント制御

(分子科学研究所¹, 総合研究大学院大学², JST-CREST³, 岩手大学⁴)

○武井宣幸^{1,2,3}、Giorgi Veshapidze¹、千葉寿^{1,3,4}、子安邦明^{1,2,3}、大森賢治^{1,2,3}

【序】

コヒーレント制御とは、物質の波動関数の干渉を光で制御する技術である。その応用は、量子情報処理や結合選択的な化学反応制御といった先端テクノロジーの開発に結びつくだけでなく、量子力学的な世界観の検証においても有用である。我々の研究室では、気相孤立分子の電子振動波束にアト秒精度で制御されたレーザー電場の位相情報を完全に転写するという方法を用いて、分子内の波束干渉の時空間模様をピコメートルレベルの空間分解能とフェムト秒レベルの時間分解能で加工し可視化する技術を確立してきた[1-5]。さらにこの技術を用いて、世界最速レベルのスーパーコンピュータの1000倍以上の速さでフーリエ変換を実行する分子コンピュータの開発に成功した[6,7]。今後、分子コンピュータを実用化し、さらに量子・古典境界の謎を解き明かすためには、凝縮系への展開が求められる。

実在の凝縮系は、無数の電子と原子核が協奏する多体系である。その厳密解を求める場合、スーパーコンピュータを用いても数十サイトで計算量の限界を迎える。近年、この複雑な多体系を人工的な実験系で実現し、そこでの模擬実験によって多体問題を解明しようとするアプローチが模索されるようになった[8,9]。このような人工多体系は量子シミュレーターと呼ばれている。

本発表では、我々の開発した超高速観測制御手法と光格子中の極低温原子分子集団を組み合わせた新しい量子シミュレーターの開発について報告する。対象としてレーザー冷却により極低温まで冷却されたRb原子集団を利用し、それを光格子ポテンシャルに導入する。光格子とは、レーザー光の定在波によるシュタルクシフトを利用した周期ポテンシャルのことで、定在波の腹（または節）に原子を捕獲することができる。このようにして捕捉されたRb原子集団に我々の超高速コヒーレント制御法を適用することによって、多体系の時間応答を研究する。我々はこれを超高速量子シミュレーターと呼んでいる。超短光パルスにより原子を複数のリユードベリ状態へとコヒーレントに励起し、リユードベリ電子波束を生成する[10]。照射するレーザー電場を加工することでリユードベリ電子波束の空間広がりをデザインし、隣接サイト間の相互作用を制御する。このようにして形成された電子波束の実時間発展を観測することで、多体系の時間応答を研究する計画である。

本発表では、超高速量子シミュレーターの研究計画と、磁気光学トラップ中に捕獲された冷却Rb原子集団を対象とした予備実験について報告する。また、光双極子トラップ中の高密度Rb原子集団に対して同様の実験を行い、リユードベリ電子波束振

動の原子密度依存性について議論する。

【実験】

実験対象は ^{85}Rb 原子で、それを磁気光学トラップ (MOT) により冷却・捕獲する。捕獲された原子数は 2×10^7 個、密度は $1 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ 程度であった。波長 605nm、時間幅 120fs 程度の超短パルスレーザーにより原子を複数のリュードベリ状態へとコヒーレントに励起し、リュードベリ電子波束を形成する。波束振動の観測には、ポンプ・プローブ法を用いる[10]。ポンプ光による二光子励起でリュードベリ波束を形成し、遅延をつけたプローブ光により原子をイオン化し MCP で測定した。また、リュードベリ状態間の多体相互作用を観測するため、高密度の捕捉が可能な光双極子トラップを導入した。密度は $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 程度、捕獲された原子数は約 1×10^6 個であった。MOT と同様にリュードベリ波束の観測を行った。

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] K. Ohmori, *Annu. Rev. Phys. Chem.* 60, 487 (2009).
- [2] H. Katsuki *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 102, 103602 (2009).
- [3] H. Katsuki, K. Hosaka, H. Chiba, and K. Ohmori, *Phys. Rev. A* 76, 013403 (2007).
- [4] H. Katsuki, H. Chiba, B. Girard, C. Meier, and K. Ohmori, *Science* 311, 1589 (2006).
- [5] K. Ohmori *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 96, 093002 (2006).
- [6] K. Hosaka *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 104, 180501 (2010).
- [7] H. Goto *et al.*, *Nature Physics*, 7, 383 (2011).
- [8] D. Jaksch *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 81, 3108 (1998).
- [9] M. Greiner *et al.*, *Nature* 415, 39 (2002).
- [10] A. ten Wolde *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 61, 2099 (1988).