

2 電子原子アレイの高分解能分光とリドベルグ状態への1光子励起

[1]要旨

高度な構造調整性をもつ光ピンセットアレイにトラップされた単一冷却中性原子（原子アレイ）とリドベルグ状態を用いた原子間相互作用の高度な制御性は、量子状態操作の重要な実現舞台を与え、量子シミュレーションや量子計算などの観点から近年注目を集めている。本論文ではアルカリ土類様原子であるイッテルビウム（Yb）原子を用いることで従来用いられてきたアルカリ原子における光ピンセットアレイ上での状態操作上の問題点を克服することができることを示した。まず、測定と原子の移動を組み合わせたフィードバック操作による無欠損な Yb 単一原子アレイの構築に成功している。さらに長寿命な準安定励起状態 3P_2 に注目し、基底状態 1S_0 と 3P_2 状態間の高分解能分光、および 3P_2 状態からリドベルグ状態への1光子励起に成功した。これらは中性原子による量子計算の性能向上につながる成果である。

[2]本文

近年、中性冷却原子気体の新たなプラットフォームとして、光トラップによって格子上に整列した原子配列（アレイ）中の単一原子とリドベルグ状態への励起による原子間相互作用を組み合わせた系が注目されている。このような系では原子配置や原子間相互作用の強さを自在に制御することが可能であり、極めて自由度の高い量子多体系のエンジニアリングを可能とする。これにより横磁場イジング模型や SSH 模型の量子シミュレーションの他、原子の内部状態を量子ビットに用いた量子ゲート操作の実現がなされてきた。従来の先行研究では価電子を一つ持つアルカリ原子が用いられてきたが、これはいくつかの問題点を有する。一つにはリドベルグ状態の動的分極率が負となり、光に対して斥力を感じるため、リドベルグ状態のトラップができないという点が挙げられる。また、リドベルグ状態への励起の際、短寿命な中間状態を用いた2光子励起によって行うために、中間状態に由来するデコヒーレンスや原子の内部状態間の位相シフトが生じてしまうという問題もある。

最近、京都大学理学研究科物理学・宇宙物理学専攻の研究グループは、価電子を2つ持つアルカリ土類様原子であるイッテルビウム（Yb）原子が持つ性質、特にこれまであまり研究されてこなかった長寿命な準安定励起状態 3P_2 を用いることでこれらの問題点を克服することを着想した。まず、測定と原子の移動を組み合わせたフィードバック操作による無欠損な ^{174}Yb 単一原子アレイの構築を実現し、そこで基底状態 1S_0 - 3P_2 間の高分解能分光および 3P_2 状態からリドベルグ状態への1光子励起を行うことに成功した。この成果は JPSJ の 2022 年 8 月号に掲載された。

^{174}Yb の 1S_0 - 3P_2 遷移は 10mHz 程度の極めて狭い自然線幅をもつ磁気四重極子遷移であり、精密分光や量子ゲート操作への応用が期待される。この論文で観測されたスペクトルでは

量子化された冷却原子の重心運動状態を周波数的に分解したものが得られ、これによりサイドバンド冷却と呼ばれる重心運動基底状態への冷却が可能になる。また、この研究で実現された 3P_2 状態からのリドベルグ状態への 1 光子励起はデコヒーレンスや位相シフトを伴わない理想的な 2 準位系での励起である。この 1 光子励起による分光によって新たに主量子数 65 から 80 までの 3D_3 リドベルグ状態の共鳴が観測された。これは Yb 原子のリドベルグ状態の解析における重要な知見を与えるものである。

本研究成果は単一 Yb 原子アレイの構築を行い、その準安定励起状態を用いたリドベルグ状態への 1 光子励起に初めて成功したものであり、Yb 原子を用いることによる量子ビットとしての中性原子の性能の向上を示唆するものである。同グループはさらにこれらの励起をコヒーレントに行うことで、スケーラブルな量子計算の実現に取り組んでいる。今後の研究の展開に注目したい。

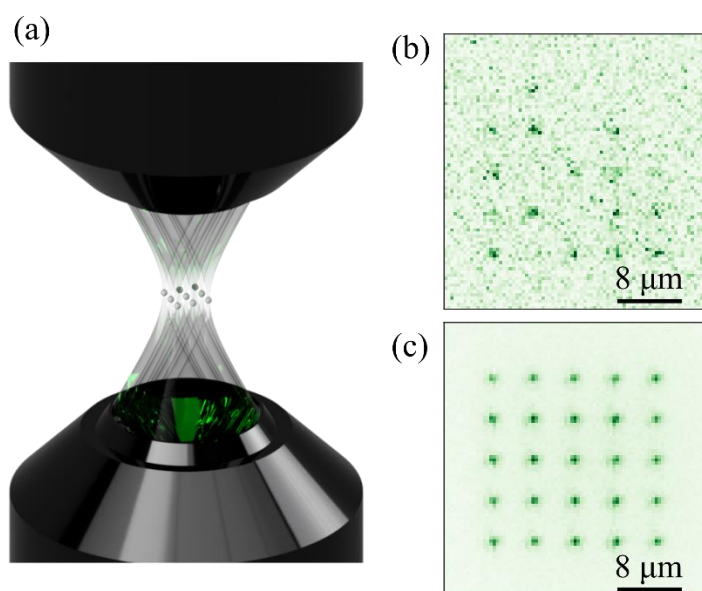


図 1 : (a)光ピンセットによる単一原子アレイの概念図、(b)得られた単一原子アレイの蛍光イメージのシングルショット画像および (c)平均画像

原論文 (2022 年 7 月 4 日公開済)

[High-resolution Spectroscopy and Single-Photon Rydberg Excitation of Reconfigurable Ytterbium Atom Tweezer Arrays Utilizing a Metastable State](#)

Daichi Okuno, Yuma Nakamura, Toshi Kusano, Yosuke Takasu, Nobuyuki Takei, Hideki Konishi, and Yoshiro Takahashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **91**, 084301 (2022).

<情報提供：奥野大地（京都大学理学研究科）

高橋義朗（京都大学理学研究科）>