

高橋 義朗

京都大学大学院理学研究科
教授

冷却原子の高度制御に基づく革新的光格子量子シミュレーター開発

§ 1. 研究成果の概要

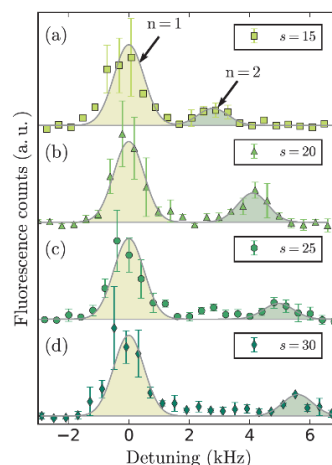
まず、全体研究項目(1)「光格子中原子の個別観測・量子フィードバック制御技術の開発」について、イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡技術の高度化に向けた準備を行った。特に、固浸レンズを利用することにより、高い空間分解能を実現することができる装置への改良を進めた。現有真空装置を大幅に改良し、固浸レンズを真空装置内に装着し、また、レーザー冷却原子を固浸レンズ表面に移送する「原子ベルトコンベヤー法」を、2つのレーザー光の相対周波数制御により安定にロスなく移動することに成功した。

次に、全体研究項目(2)「量子多体系の革新的量子シミュレーター開発」について、非平衡や開放系でのユニークな量子シミュレーションを行った。まず、開放系での量子多体系の振る舞いについて、ボース原子の準安定状態に内在する強い散逸の場合について研究を行い、論文としてまとめた。また、フェルミ原子系についても制御された2体散逸過程を導入することにより、多体エンタングル状態である Dicke 状態の生成を示唆する結果を得た。さらに光格子深さを急激に減少させるクエンチ操作後の、モット絶縁体相から超流動相などへ移行する非平衡ダイナミクス過程についての実験結果について理論グループとの議論を行い、論文としてまとめた。

さらに、全体研究項目(3)「SU(N)量子シミュレーターの開発」について、まず、近藤効果の量子シミュレーションに応用可能な実験系として ^{171}Yb 原子を新たに見出した成果を論文にまとめた。(図 A 参照)。この ^{171}Yb 原子系を用いて、局在および遍歴2軌道系を光格子技術を駆使することにより実現し、量子輸送現象に対する局在原子の非自明な効果の端緒を捉えることに成功した。これらの結果について、理論グループとの綿密な議論を行い、定性的な理解を得ることに成功した。また、SU(N)量子磁性について、 ^{173}Yb 原子の SU(6) フェルミ原子系を用いて実験を行い、原子を超低温に冷却することにより、これまでのような2重井戸型光格子ではなく、1次元、2次元、および3次元の等方的な光格子に導入した系においても隣接サイト間において反強磁性スピン相関が発達していることを見出した。さらに、反強磁性スピン相関の、相互作用、初期温度、次元性、スピン数に対する依存性を系統的に測定することに成功した。

【代表的な原著論文】

- [1] Hideki Ozawa, Shintaro Taie, Yosuke Takasu, and Yoshiro Takahashi, “Antiferromagnetic Spin Correlation of SU(N) Fermi Gas in an Optical Superlattice”, *Phys. Rev. Lett.* **121**, pp.225303-1-5(2018).
- [2] Koki Ono, Jun Kobayashi, Yoshiki Amano, Koji Sato, and Yoshiro Takahashi, “Antiferromagnetic Interorbital Spin-Exchange Interaction of ^{171}Yb ”, *Phys. Rev. A*, **99**, pp.032707-1-7(2019).
- [3] Takafumi Tomita, Shuta Nakajima, Yosuke Takasu, and Yoshiro Takahashi, “Dissipative Bose-Hubbard system with intrinsic two-body loss”, *Phys. Rev. A* **99**, pp.031601-1-6(R) (2019).



図A ^{171}Yb 原子系が近藤効果の量子シミュレーションに必要な反強磁性スピン交換相互作用をもつことを示す分光結果。

§ 2. 研究実施体制

(1) 光格子実験グループ(研究機関別)

① 研究代表者:高橋 義朗 (京都大学大学院理学研究科 教授)

② 研究項目

- ・個別観測技術の開発
- ・量子フィードバック技術の開発
- ・量子磁性実験
- ・散逸下の非平衡過程の実験
- ・非ユニバーサル量子計算の実験
- ・SU(N)スピン量子シミュレーション実験

(2) 光格子理論グループ(研究機関別)

① 主たる共同研究者:段下 一平 (近畿大学理工学部 准教授)

② 研究項目

- ・散逸的 Bose-Hubbard 模型の理論(量子物性理論グループ)
- ・非ユニバーサル量子計算の理論(量子情報理論グループ)
- ・孤立量子系の緩和模型、光格子量子誤り訂正理論(量子情報理論グループ)
- ・時間依存相関関数の観測法提案(量子物性理論グループ・量子情報理論グループ)
- ・SU(N)スピンの量子物性理論(量子物性理論グループ)