

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出  
平成 28 年度採択研究代表者

H28 年度 実績報告書
-----------------

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. 研究実施体制

### (1)「光格子実験」グループ

- 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
  - ・量子磁性実験
  - ・散逸下の非平衡過程の実験
  - ・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

- ① 主たる共同研究者:段下 一平(京都大学基礎物理学研究所、助教)
- ② 研究項目
  - ・散逸的 Bose-Hubbard 模型の理論
  - ・非ユニバーサル量子計算の理論

## § 2. 研究実施の概要

まず、「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、発光検出による 2 次元光格子中のサイト分解・単一原子観測法、すなわち量子気体顕微鏡の開発に成功し、さらに、分散型の相互作用であるファラデー効果を用いたサイト分解・単一原子観測法である、ファラデー量子気体顕微鏡を新たに開発することに成功し(論文投稿中)、そのノイズ特性を詳細に調べた。これによって得られた 2 次元原子分布の情報をもとに、原子の内部状態の操作を行う量子フィードバック法の開発に向けて、デジタルマルチミラーデバイスとよばれる高分解能な空間光変調技術を開発し、様々な空間パターンを短時間で生成することに成功し、現有の量子気体顕微鏡装置への実装を完了した。それと同時に、検出の高感度化に関し、量子気体顕微鏡の信号対雑音比の考察、量子光学技術を用いた改善とその限界の考察も進めた。

次に、「準安定電子軌道  $^3P_2$  状態の量子多体系の革新的量子シミュレーター開発」について、特に、原子間に大きな 2 体ロスが存在することが大きな特徴であることに注目して、制御された散逸下でのボース・ハバードモデルという新規な量子多体系に対する量子シミュレーション実験を行った。2 つの原子間の光会合過程を用いて制御された散逸を 3 次元光格子中のボース原子に導入することで、強い散逸過程が、強相関モット絶縁体状態から超流動状態への移行を著しく遅らせることを実験的に明らかにすることに成功し(図 1)、この振舞いが理論グループの最新の理論計算によりおよそ説明できることを確認した(論文投稿中)。さらに、モット絶縁体から超流動相へのクエンチ後の非平衡ダイナミクス過程を詳しく調べた。運動エネルギーおよび相互作用エネルギーについて、系の次元を変えながら系統的に測定する量子シミュレーションを行い、この系の振舞いを明らかにした。特に、1 次元系では理論グループの信頼性の高い計算手法と比較し一致を確認した。

最後に、「SU(N)量子シミュレーターの開発」については、実験系の構築を最初から始めて、ボース凝縮体、SU(6)及びSU(2)対称性を持ったフェルミ縮退気体、のそれぞれを魔法波長の 3 次元光格子に導入することに成功し、特にボース凝縮体については高分解能レーザー分光測定をすることに成功した。

今年度の代表的な原著論文は以下の通りである。

- 1) Masaya Kunimi and Ippei Danshita, "Thermally activated phase slips of one-dimensional Bose gases in shallow optical lattices", Physical Review A, Vol 95, pp. 033637-1 - 033637-11, 2017

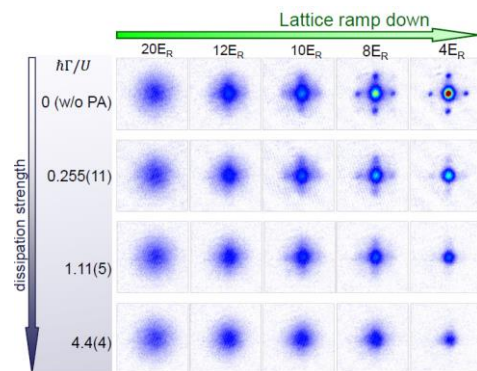


図1 散逸下での位相コヒーレンスの振舞い。光格子を比較的ゆっくりと下げていく時に、散逸がない場合(最上段)、位相コヒーレンスの復活が観測されるが、散逸が大きい場合(下段)、位相コヒーレンスの復活は遅れ、モット絶縁体が維持される。

2) Hideki Konishi, Florian Schäfer, Shinya Ueda and Yoshiro Takahashi, Collisional stability of localized Yb( $^3P_2$ ) atoms immersed in a Fermi sea of Li, New Journal of Physics, Vol. 18, 103009-1-8, 2016