

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
2016年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

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」に関連して光格子の単一サイトを分解した状態で単一原子を観測することに成功した。また、リドベルグ原子実験用の光トラップアレーのための研究開発として高感度なイオン化検出可能なチャンバーを完成させリドベルグ原子励起のための高安定光源(507nm 及び 325nm)を準備し実際にリドベルグ状態の共鳴スペクトルを観測することに成功し着実に成果を上げることができた。

また、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」に対応して次元をまたがる非等方な格子系について SU(6) フェルミ気体の反強磁性スピン相関を系統的に測定し論文としてまとめた。また、散逸によるスピン相関の反強磁性から強磁性への変化を系統的に測定し理論予測との良い一致を確認した。また、PT-対称量子系およびボースハバード系の非平衡ダイナミクスについてそれぞれ理論研究者と協力して論文として出版した。

そして、全体研究項目(3)「SU(N)量子シミュレーターの開発」については2軌道 SU(N)系に着目した、不純物スピンによって誘起されるスピン空間量子輸送シミュレーターの実現、という重要な成果を得ることができた。

さらに、当初の計画を超えた新たな研究展開としてトポロジカル量子現象の乱れに対する堅牢性とその限界をサウレスポンプに着目して明らかにすると同時に、乱れによって初めてポンプが誘起される現象を実証しこれを論文としてまとめた。新型コロナに関する研究の追加支援では、遠隔リモート実験装置制御・自動データ取得を通して通常の現場での実験と同様にリモートでの量子シミュレーション実験を遂行することができた。

§ 2. 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

- ① 主たる共同研究者:段下一平 (近畿大学工学部 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)

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yosuke Takasu, Tomoya Yagami, Yuto Ashida, Ryusuke Hamazaki, Yoshihito Kuno, Yoshiro Takahashi, “PT-symmetric non-Hermitian quantum many-body system using ultracold atoms in an optical lattice with controlled dissipation”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, vol. 2020, No. 12, pp. 12A110-1-16, 2020
- 2) Yosuke Takasu, Tomoya Yagami, Hiroto Asaka, Yoshiaki Fukushima, Kazuma Nagao, Shimpei Goto, Ippei Danshita, and Yoshiro Takahashi, “Energy redistribution and spatiotemporal evolution of correlations after a sudden quench of the Bose-Hubbard model”, Science Advances, vol. 6, No. 40, pp. eaba9255-1-6, 2020
- 3) Shimpei Goto and Ippei Danshita, “Measurement-induced transitions of the entanglement scaling law in ultracold gases with controllable dissipation”, Physical Review A, vol. 102, pp. 033316-1-7, 2020
- 4) Daisuke Yamamoto, Chihiro Suzuki, Giacomo Marmorini, Sho Okazaki, and Nobuo Furukawa, “Quantum and Thermal Phase Transitions of the Triangular SU(3) Heisenberg Model under Magnetic Fields”, Physical review letters, vol. 125, No. 5, pp. 057204-1-6, 2020
- 5) Y. Miyazaki, D. Yamamoto, G. Marmorini, and N. Furukawa, “Field-induced phase transitions of tetramer-singlet states in synthetic SU(4) magnets”, AIP Advances, vol.11, pp.025202-1-4, 2021
- 6) Kosuke Mitarai and Keisuke Fujii, “Constructing a virtual two-qubit gate by sampling single-qubit operations”, New Journal of Physics, vol. 23, pp. 023021-1-15, 2021
- 7) Kosuke Mitarai and Keisuke Fujii, “Overhead for simulating a non-local channel with local channels by quasiprobability sampling”, Quantum, vol. 5, pp. 388-1-8, 2021