

2023 年度年次報告書

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

2023 年度採択研究代表者

高橋 義朗

京都大学 大学院理学研究科

教授

超低温原子の高精度量子計測で探る新物理探求

主たる共同研究者:

高木 隆司 (東京大学 大学院総合文化研究科 准教授)

田島 治 (京都大学 大学院理学研究科 教授)

研究成果の概要

まず、高橋グループでは、A1)ローレンツ不変性の検証に向けて、同位体混合系を利用した磁気副準位分光における動的デカップリング法及び新規な擬磁場の高速スイッチング法の適用可能性の検討、内殻励起準安定状態への高効率励起のための高出力光発生器の設計、などを行った。A2)超精密同位体シフト測定では、新時計遷移の魔法波長3次元光格子に超低温原子を導入して、光コムで安定化された光源を用いて 10Hz 以下の精度で4つの同位体シフトを決定した。A3)光トラップアレー量子計測技術の開発では 1S_0 - 3P_2 状態間高分解能レーザー分光を遂行し、80%程度の励起効率を実現するとともに、磁気四重極モーメント測定へ応用する提案論文を出版した。B)リドベルグ状態を利用したダークマター探索では、リドベルグ状態励起 UV レーザー光として 0.7W の出力を得た。C)冷却 Yb 原子誤り耐性量子計算方式の開発では、大きなスピン自由度を有する ^{173}Yb 原子トラップアレーを実現した。

「高感度なマイクロ波検出によるダークマター探索」(田島グループ)では、5G 通信技術を応用した広帯域なエレクトロニクスの開発と、超伝導デバイス(SIS)を用いて 200GHz 帯域を開拓する装置の開発をおこなった。前者に関しては、従来機器の二千倍も広い帯域幅をカバーするエレクトロニクスの開発に成功し、特許も出願した(京都大学の発明賞も受賞)。後者においては、受信機の冷却試験と SIS の性能評価をおこなった。

高木グループは、量子誤り訂正に関して、具体的なspin codeの構成の検討を行うと同時に、bosonic codeのfault toleranceの一般論に向けた議論を開始した。また、GKP符号の根本的な性質である非ガウシアン性の操作的な重要性を、対応するqudit stateの量子マジックと対応づけることで明らかにした。一方、量子アルゴリズムに関する成果として、dynamic programmingの量子計算への拡張に成功した。我々の導入した一般的な枠組みは、量子メモリーを用いることで回路深さを大幅に削減できることを示すものである。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Ayaki Sunaga, Yuiki Takahashi, Amar Vutha and Yoshiro Takahashi. Measuring the nuclear magnetic quadrupole moment of optically trapped ytterbium atoms in the metastable state, *New Journal of Physics*, **26**, 023023:1-11, (2024).
- 2) Kantaro Honda, Yosuke Takasu, Yuki Haruna, Yusuke Nishida, Yoshiro Takahashi. Evidence of a Four-Body Force in an Interaction-Tunable Trapped Cold-Atom System, arXiv:2402.16254, (2024).
- 3) Takuto Tsuno, Shintaro Taie, Yosuke Takasu, Kazuya Yamashita, Tomoki Ozawa, Yoshiro Takahashi. Gain engineering and topological atom laser in synthetic dimensions, arXiv:2404.13769, (2024)
- 4) Jeongrak Son, Marek Gluza, Ryuji Takagi, Nelly H. Y. Ng. Quantum Dynamic Programming, arXiv:2403.09187, (2024).