

2024 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

上田 正仁

東京大学 大学院理学系研究科
教授

浮揚ナノ粒子が拓くハイブリッド量子

主たる共同研究者：

相川 清隆（東京大学 大学院理学系研究科 准教授）

研究成果の概要

実験グループはまず、実験装置の東大への移設作業を進め、ナノ粒子の冷却装置を 2 ヶ月程度で復元し、基底状態への冷却を確認した。さらに、ナノ粒子を円偏光により高速に回転させるための実装を行った。さらに、ナノ粒子の運動量の揺らぎを低減する量子スクイーミングの実現を理論グループと緊密に議論して進め、世界で初めて、ナノ粒子の運動の量子スクイーミングの実現に成功した。また、理論グループによって新たに提案されたフィードバック冷却の手法を実装すべく冷却手法のための機器を導入して実験を行い、理論グループの予想と矛盾しない実験結果を得た。新しい実験装置の構築についても進めており、真空チャンバーの構築を完了すると共に、そのベーキングも行い、超高真空領域へ到達できることを確認した。また、イオントラップ電極の作成や増幅回路の構築も行った。ナノ粒子を捕捉に必要な赤外レーザーの周波数と強度の安定化も完了した。

理論グループは、前回提案したローパスフィルターを用いたフィードバック冷却法 (LPF 法) をナノ粒子の標準的な冷却法であるコールドダンピング法と LQG (linear-quadratic Gaussian) 制御法との定量比較を行った。その結果、粒子の検出効率が現在の実験状況に相当する 30% 程度の場合は、いずれの方法も検出効率で決まる冷却限界に到達できるが、検出効率が 90% 程度になると、LPF 法はコールドダンピングの 1/3 程度まで、LQG 法の 1/2 程度まで冷却できること、さらに、この冷却限界の差は検出効率が 1 に近づくほど顕著になることが分かった。ナノ粒子を用いてマクロな量子現象を探索するためにはナノ粒子を絶対零度付近まで冷却する必要があるが、このためには検出効率を 1 に近づける必要があり、LPF 法を用いる必要があることを示している。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Gao, H., Wang, K., Xiao, L., Nakagawa, M., Matsumoto, N., Qu, D., Lin, H., Ueda, M., and Xue, P. Experimental Observation of the Yang-Lee Quantum Criticality in Open Quantum Systems. *Phys. Rev. Lett.* **132**, 176601, 1-6 (2024).
- 2) Hokkyo A., and Ueda M. Universal Upper Bound on Ergotropy and No-Go Theorem by the Eigenstate Thermalization Hypothesis. *Phys. Rev. Lett.* **134**, 010406, 1-6 (2025).