

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

山本 大輔

日本大学 文理学部
准教授

人工量子系における量子状態同定および量子もつれの定量化法の開発

研究成果の概要

冷却原子を用いた人工量子系を量子シミュレータとして用いる際には、量子領域への「冷却」と量子状態の「検出」が鍵となる。本年度は主に前者に関して $SU(N)$ 気体を用いた新たなプロトコルを開発するとともに、後者に関して昨年度開発したスパイラル量子状態トモグラフィ(QST)法の現実に即した検証を行った。

極低温に冷却された2成分多体系を作成することは、固体電子系の量子シミュレータとして用いるためにも、量子ビットとして情報処理に用いるためにも重要な課題となる。一方で、冷却原子系では、 ^{173}Yb や ^{87}Sr などのアルカリ土類(様)原子の核スピン自由度を用いることで、高次対称性を持つ $N (> 2)$ 成分の系を作成可能である。このような多成分系はエントロピーが大きいと、効率的な断熱冷却が可能であることが知られている(ポメラランチュク冷却)。そこで本研究では、成分に依存する偏向した光を用いることで、外周に N 成分 (^{173}Yb なら $N=6$)、中心部分に特定の2成分のみを配置するように制御することを考えた。直交化有限温度 Lanczos 法による数値解析から、外周の多成分系が効率的なエントロピー溜まり (^{173}Yb なら最大エントロピー $1.8 k_B$) の役割を果たし、中心の2成分系部分が効率的に断熱冷却されることを理論的に明らかにした。

また、昨年度開発したスパイラル QST 法に関しては、実際の冷却原子量子シミュレータを想定した際に主要なノイズ源となる「磁場勾配の原点の揺らぎ」に対する頑強さをテストした。この QST 法では、量子気体顕微鏡での撮影を繰り返して平均することで各基底での量子期待値を得るため、1ショットごとに磁場勾配原点が揺らぐ効果を考える必要がある。いくつかのターゲット量子状態を想定した数値実験から、技術的に到達可能な揺らぎ幅の最小値よりも10倍程度大きい揺らぎであっても十分な精度で量子状態(密度行列)のトモグラフィが可能であることが確認できた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Supersolid devil’s staircases of spin-orbit-coupled bosons in optical lattices”, *Physical Review Research* **4**, L032023 (2022).
- 2) “Linear Flavor-Wave Analysis of $SU(4)$ -Symmetric Tetramer Model with Population Imbalance”, *Journal of the Physical Society of Japan* **91**, 073702 (2022).