

2022 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	松本 伸之
研究機関名	学習院大学
所属部署名	理学部 物理学科
役職名	准教授
研究課題名	大質量機械振動子を用いた巨視的量子力学分野の創発
研究実施期間	2022 年 4 月 1 日～2023 年 3 月 31 日

研究成果の概要

従来の量子制御の対象より 6 桁巨視的なミリグラムスケールの機械振動子(懸架鏡)の量子もつれを生成可能であることを理論的に示した。量子もつれ生成のため、既に我々が開発に成功している低散逸振動子を 2 つパワーリサイクルマイケルソン干渉計 (PRMI) の両腕に設置する実験系の理論モデルを詳細に解析した。その結果、PRMI から出る 2 つの光出力を観測し、因果的量子フィルタを介して最適状態推定することで、2 つの振動子の差動振動と同相振動にもつれが生じることが分かった。干渉計を使った変位計測によってそれぞれの振動モードの条件付きスクイーズ状態が生成されるため、光の直交位相振幅エンタングルメントと同様にもつれが生じる。

さらに、振動子の条件付きスクイーズ状態を実験的に確認するために必要な非因果的量子フィルタの開発を進めた。条件付き量子状態は、数学的には、条件付き分散によって特徴づけられる。これは物理量の真値と因果的量子推定値の間の差の二乗平均で与えられるが、巨視系の場合、一般に真値を観測することは不可能なため、条件付き量子状態を確認できない。2 つの量子推論の結果を比較すれば、測定効率が十分に高いとき、条件付き分散が推定可能なことを示した。先行研究で同様の研究は進められていたが、本研究ではじめて、光ばねを含んだ巨視系における状態確認のアルゴリズムを構築することに成功した(投稿準備中)。

最後に、振動子の回転振動の影響を詳細に解析した。振動子の回転振動もまた共振器長の変動を生じるため、回転振動と重心振動は光ばねを介して強結合状態と成りえる。よって、散逸の比較的大きなピッチ回転と重心振動が normal mode splitting するため、重心振動の Q 値が低減する。以上の現象を、精密な理論モデルの解析によって確かめ、さらに、実験で既に確認していた Q 値の低減と一致する結果を得た。