

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

新田 龍海

東京大学 素粒子物理国際研究センター

特任助教

超伝導量子センサーと暗黒物質探索の共創的融合

研究成果の概要

本研究では、超伝導量子ビットを利用した、既存の技術より高感度な暗黒物質探索の開発を目指している。2024 年度は、超伝導量子ビットを利用した 2 つの方式の暗黒物質探索のパイロット実験によって、超伝導量子ビットの暗黒物質探索応用に関する原理検証をおこなった。1 つ目の方式は、量子ビットを暗黒物質探索用の共振空洞(キャビティ)の変調に用いる方式である。具体的には、キャビティと結合させた周波数変調可能な SQUID 型トランズモン量子ビットに対して外部磁束を印加することにより周波数変調をおこない、結合したキャビティ自体の共振周波数を変調する方式である。2023 年度に実証したピエゾアクチュエータを用いた方式では、変調範囲は大きいもののジュール熱や摩擦熱が大きく必須な極低温環境の維持に難点があった。この方式では、超伝導コイルを用いた微弱な磁場のみでキャビティを変調できるため、原理的には余計な熱は発生しない。実際に 2024 年度にパイロット実験をおこない、余計な熱が発生しないことと実際にキャビティを変調できることを実証した。2 つ目の方式では、暗黒物質信号を用いて超伝導量子ビット自体を励起させるという新しい方法の量子センシングであり、我々が初めて提唱した方式である。2024 年度にはこちらもパイロット実験をおこない、超伝導量子コンピュータで使われるような 2 次元実装を利用した場合と、さらに感度が期待できる3次元実装(3D の共振空洞)を利用した 2 種類のデータを取得し、比較検討をおこなった。これらのパイロット実験では暗黒物質に対する優位な信号は見られなかったものの、探索した周波数帯では世界最高感度があることを示した。これらの結果は暗黒物質探索のトップ会議である Patars2024 で報告している。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Shion Chen, Hajime Fukuda, Toshiaki Inada, Takeo Moroi, Tatsumi Nitta, and Thanaporn Sichanugrist, Quantum Enhancement in Dark Matter Detection with Quantum Computation, Phys. Rev. Lett. **131**, 021801, (2024)
- 2) Shion Chen, Hajime Fukuda, Toshiaki Inada, Takeo Moroi, Tatsumi Nitta, and Thanaporn Sichanugrist, Search for QCD axion dark matter with transmon qubits and quantum circuit, Phys. Rev. D. **110**, 115021, (2024)