

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ヘリウム表面上の電子を用いた万能デジタル量子コンピューターの実現へ向けて

2. 個人研究者名

川上 恵里加（理化学研究所開拓研究本部 チームリーダー）

3. 事後評価結果

実用性のあるゲート型量子コンピュータを実現するためには、誤り訂正を可能にする量子ビットを多数集積化する必要がある。本研究では、そのための有力なプラットフォームとして、液体ヘリウム上の単一電子スピン状態を量子ビットとして用いることを提案した。ヘリウム上の単一電子ビットとしては、スピン状態、リュードベリ状態、軌道状態の利用が考えられるが、いずれの場合でも単一量子ビット測定が難しい。先行研究として、超伝導共振器や単一電子トランジスタを用いて測定した例があるが、単一電子量子ビットの測定には至っていない。

そこで本研究では、image-charge detection という方法を提案し、その第一歩となる実証実験として、ヘリウム上の多数(10 の 7 乗個程度)の電子スピンのリュードベリ状態の測定に成功した。また image-charge 測定に適切な増幅機能を付加して測定精度を向上するとともに、リュードベリ状態の緩和時間を温度 100-700mK の領域で測定することに成功し、500mK 以上の高温領域ではヘリウム蒸気による緩和、500mK 以下の低温領域ではリプロンによる緩和が支配的であることを明らかにした。この時得られた最長の緩和時間は $1\mu s$ であり、この値から、ヘリウム上の電子スピン量子ビットでは、99.9%の 2 量子ビットゲート演算精度や読み出し精度が得られることを見出した。この精度は誤り訂正量子コンピュータの構築に十分な値である。また、基礎研究という側面においてもヘリウム上の電子状態とリプロンの相互作用に関するダイナミクスを検知した初めての実験であり、電子状態をプローブとしてリプロンの物理を明らかにしていくことは極めて意義深い。

今後は、ナノ加工技術によって作製される円柱電極上に単一電子を捕獲して image-charge detection を実施する道筋が探究される。また、リュードベリ状態とスピン状態の相互作用を用いたスピン状態の測定や制御手法の進展が期待される。さらには電子-リプロン相互作用を用いたハイブリッド量子系という新しい量子機能が見出され、世界をリードする独創的な研究として発展することが大いに期待される。