

Title	断熱過程を用いた $^{40}\text{Ca}^+$ の量子状態制御とデコヒーレンスの抑制
Author(s)	野口, 篤史
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27508
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

量子情報処理は、エンタングルド状態などの量子的な振る舞いを利用し、高速なコンピュータや絶対安全な暗号の実現などの強力な情報処理を目的とした研究分野である。原子の電子軌道状態は量子的な状態の典型であり、またイオントラップを用いると、単一もしくは多数の原子を電磁場の摂動のない点に局在させることができる。この技術とレーザー冷却の技術を組み合わせる事で、振動量子基底状態でイオン鎖を用意する事ができ、それゆえトラップイオンは量子情報処理に用いるqubitとして非常に良い候補という事ができる。

一般に量子状態、特にエンタングルド状態は外乱から強い擾乱(デコヒーレンス)を受ける事が知られている。デコヒーレンスはqubitのもつ情報を壊してしまい、また多数からなる量子系に特徴的な多数個のエンタングルド状態を作るときにもデコヒーレンスが大きな問題となる。それゆえ、状態の保持・生成はデコヒーレンスの影響を受けにくい形で行うのが望ましい。本論文では、外部からの影響を受けにくい方法として断熱過程を利用した量子状態の制御や量子系のデコヒーレンスの抑制を目的として実験を行った。

まず、共通の外場に結合した2qubitの固有状態を利用し、断熱定理による量子エンタングルド状態のデコヒーレンス抑制実験を行った。そのための状態生成には、固有状態を直接生成するような新しいプロトコルを提案・実現した。断熱性により、生成された状態のコヒーレンス時間は保護しない場合に比べて約2桁長いものが観測され、この方法によるデコヒーレンスの抑制が実現された。

続いて、誘導ラマン断熱通過法と呼ばれる断熱過程を利用した高精度の量子状態制御手法を用いたエンタングルド状態(半数励起Dicke状態)の生成方法を提案し、実現した。4qubitまでの高忠実度での状態生成に成功し、さらなる多数個化に向けた問題点を評価した。また、生成された状態は新しい簡便な評価方法を用いて解析した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、断熱過程による量子状態制御や、断熱過程を利用したデコヒーレンスの抑制についての新たな手法の提案、およびイオントラップ中に振動基底状態まで冷却された $^{40}\text{Ca}^+$ イオンを用いて行った実験結果について述べたものである。論文では、研究の背景や論文の位置づけ、次いで、イオントラップ、レーザー冷却の原理、実験周辺技術、射影測定や量子もつれゲートの原理等が記述されたあと、本論文の中心となる三つの実験について原理や結果が述べられる。まず、最初の実験は、誘導ラマン断熱通過による状態制御によって幾何学的位相をキュービットに付加して1キュービットゲートを実現した実験である。 $^{40}\text{Ca}^+$ イオンのゼーマンキュービットと光遷移キュービットを組み合わせ、断熱的に1キュービット操作を実現している。実験結果の信頼性、および誤差要因等の解析が示されている。二番目の実験においては、外部からの擾乱によるデコヒーレンスを抑制するために、制御された外場を量子系と結合させるドレスト状態を用いることで系への擾乱を防ぐ方法を考案している。具体的には高周波ドレスト場と擬スピン間相互作用を組み合わせることで直接的にドレスト場の固有状態を発生させ、ドレスト場に守られた2個の $^{40}\text{Ca}^+$ イオンの量子もつれ状態を発生させた。この状態において、ドレスト場が存在しない場合に比べて、コヒーレンス時間が二桁程度長くなったことを実験的に示した。さらに、この方法を用いた多粒子状態発生への展開も議論されている。三番目の実験は、半数励起された対称Dicke状態の生成に関するものである。この状態は量子標準限界を超える精密測定の観点からも注目されているが、イオンでは多数個の半数励起Dicke状態発生はこれまで実現されていない。論文では、この状態を信頼性高く実現するために、二つのサイドバンド遷移を利用することにより、振動状態を仲介にした多準位誘導ラマン断熱通過法を用いた生成法を新たに考案した。また、生成状態の解析についても、従来のウィットネスによる評価法に加え、グローバルなアクセスのみによる測定で忠実度の下限を測定する方法も考案している。この方法を用いて、2個および4個の $^{40}\text{Ca}^+$ イオンの対称Dicke状態の生成および評価を行い、2個のイオンに対しては忠実度0.96、4個のイオンに対しては忠実度0.84以上であることを確認している。また、忠実度を下げる要因の解析やさらに多粒子へ拡張するための問題点なども詳しく述べられている。以上述べた通り、本論文にはイオンを用いた量子情報処理のための量子状態制御などの新たな知見が数多く示されており、博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。

【60】

氏名	野口 篤史
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 26108 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学位論文名	断熱過程を用いた $^{40}\text{Ca}^+$ の量子状態制御とデコヒーレンスの抑制
論文審査委員	(主査) 教授 占部 伸二 (副査) 教授 北川 勝浩 教授 井元 信之