



Title	量子ゲート・シミュレーションのための40Ca+の量子状態制御
Author(s)	土師, 慎祐
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59075
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【72】

氏 名	は 土 師 慎 祐
博士の専攻分野の名称	博 士（理学）
学 位 記 番 号	第 2 5 2 5 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 24 年 3 月 22 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	量子ゲート・シミュレーションのための $^{40}\text{Ca}^+$ の量子状態制御
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

論 文 内 容 の 要 旨

イオントラップ装置を用いることで電磁場摂動の影響がほとんど無視できるような領域へイオンを長時間閉じ込め

ることが出来、さらにレーザー冷却によってその振動運動の基底状態へ準備することが可能である。本研究ではイオントラップ中で冷却されたイオンを量子ビットとして用いて量子情報処理を行うことを目的としており、特に本論文では量子ゲートや量子シミュレーションに向けた $^{40}\text{Ca}^+$ の量子状態制御に関する報告を行う。

本研究では量子ビット状態として $^{40}\text{Ca}^+$ の二つの準安定D状態を用いる。これらの状態はその分裂幅が1.8THzであり、これまで使用されてきた量子ビットとは異なる周波数帯域を持つ新しいタイプの量子ビットとして機能させることが出来る。励起のためには位相同期レーザー光源を用いるが、これまでにこのような周波数帯域でのコヒーレント状態制御に関する報告はほとんどなく、今回の実験が初のデモンストレーションとなる。本論文ではこのような位相同期光源による準安定量子ビットの量子ゲート操作について報告する。また、この量子ビットは従来利用されてきた $^{40}\text{Ca}^+$ の量子ビットと比較して磁場に対する感度が小さく、環境磁場ゆらぎによるデコヒーレンスの影響を受けにくいという特徴を持つため、高忠実度の量子状態制御が期待できる。

また、本論文では $^{40}\text{Ca}^+$ の持つ光周波数遷移の二周波数レーザー光励起による二個のイオンのエンタングルド状態の生成実験や、基底状態のZeeman準位を用いた量子ビットの基本特性評価と量子ゲート操作に関する実験についても報告する。

レーザー冷却イオンは量子シミュレーションにも応用することができる。本研究ではイオンの動径振動モードフォノンを用いたハバードモデルの量子シミュレーションに着目し、ボースハバードモデルにおいて基本的な相互作用となる動径振動モードフォノンホッピングの観測を行った。このような相互作用の観測は量子シミュレーション実験を行うための重要な要素技術であるといえる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、イオントラップ中に振動基底状態まで冷却された Ca^+ イオンを用いて、量子ゲート操作や量子シミュレーションを行うための量子状態制御に関する実験結果を述べたものである。新しい量子ビットを用いた量子ゲート操作と、ハバードモデル量子シミュレーションに向けた要素技術の開発が主な研究目標となっている。論文では、イオントラップ技術、イオンとレーザーの相互作用による量子状態制御の原理などを述べた後、実験装置の概要とイオンの振動基底状態までの冷却特性、冷却イオンの二準位間のラビ振動の観測などの量子状態制御に必要な基本性能が示される。この装置を用いて得られた注目される実験結果は、 Ca^+ イオンのテラヘルツ離れた二つの準安定準位を量子ビットとして用いる量子ゲート実験である。この量子ビット励起のために、光周波数コムを用いて、位相同期されたテラヘルツの周波数差を持つ二台のチタンサファイアレーザーシステムを開発した。これを用いてテラヘルツ帯における精密分光実験を行い、100Hzオーダーの狭い共鳴スペクトルを観測した。さらにイオンの内部状態と振動状態を利用して二量子ビットゲート操作を行い、新たなテラヘルツ遷移の量子ビットを実際に利用できること、また、高忠実度ゲート操作のためのACシュタルクシフトの高精度補正法を示した。次いで注目される実験結果は、二個のイオンを用いた局在動径フォノンのイオン間ホッピングの観測である。これは一個のイオンに励起されたフォノンがクーロン相互作用によってイオン間を周期的に移動することを観測したもので、冷却イオンを用いたボースハバードモデルなどの量子シミュレーションの実現に向けた第一歩となる大きな成果である。この結果により、上記の量子シミュレーションの実現が期待される。この他、 Ca^+ イオンの光遷移量子ビットを用いた二個のイオンの量子もつれ状態の発生とイオン間の擬スピン相互作用の特性測定、 Ca^+ イオンの基底状態のゼーマン量子ビットのコヒーレンス時間測定などの実験結果も示される。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の新たな知見が示されており、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。