



|              |                                                                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | QUANTUM MANIPULATION OF MULTIPLE BOSONS IN TRAPPED IONS                                                                                               |
| Author(s)    | 大平, 龍太郎                                                                                                                                               |
| Citation     | 大阪大学, 2021, 博士論文                                                                                                                                      |
| Version Type |                                                                                                                                                       |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/85419">https://hdl.handle.net/11094/85419</a>                                                                   |
| rights       |                                                                                                                                                       |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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">大阪大学の博士論文について</a>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

論文内容の要旨

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名 ( 大 平 龍 太 郎 )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| 論文題名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | QUANTUM MANIPULATION OF MULTIPLE BOSONS IN TRAPPED IONS<br>(イオン配列における複数ボソンの量子操作) |
| <p>論文内容の要旨</p> <p>本研究では冷却イオンの局所フォノンを用いた量子シミュレータの開発に挑戦した。冷却イオンの局所フォノンは、その制御性の高さと粒子的な性質から、ボソン系の量子シミュレーションに有用だと考えられている。これまでに、単一の局所フォノンの制御は確立されてきた一方で、複数の局所フォノンの制御技術は確立されていなかった。本研究では、局所フォノンを用いた量子シミュレータ実現に向けた(1) 複数局所フォノンの観測技術と(2) 複数局所フォノンの量子ダイナミクスの制御技術の確立を目指した。</p> <p>(1) 局所フォノンをベースにした量子シミュレータにおいて、出力されるフォノン状態を正確に評価する必要がある。本研究では、出力状態がどのようなフォノンの重ね合わせ状態になっているかを評価でき、かつ他のモード間の相関まで観測することができる手法を提案した。また実証実験として、2個のイオンを用いた実証実験を行い、2フォノンのダイナミクスを観測することに成功した。</p> <p>(2) 局所フォノンをベースとした量子シミュレーションを実現する上で、複数局所フォノンのダイナミクスを制御することが重要になる。局所フォノンのダイナミクスは、クーロン相互作用に起因する各局所フォノン間のモード間相互作用で決定される。しかし、このフォノンモード間の相互作用は、クーロン相互作用由来の常時作用している相互作用であり、その相互作用を制御することは容易ではない。本研究では、(a) phonon blockadeと(b) pulsed controlという技術を導入し、局所フォノンのダイナミクスの制御に成功した。</p> <p>さらに本研究で培った技術をもとに、Jaynes-Cummings-Hubbard(JCH)モデルと呼ばれる局所フォノンを用いた量子シミュレーションの実装を行った。このJCHモデルでは、局所フォノンとイオンの内部状態を光パルスにより結合することにより、ポラリトンと呼ばれる準粒子が生成される。本研究では、2個のイオン鎖中にポラリトン1個ずつ生成し、それらが相互作用の影響で移動せずその場にとどまり続ける現象を実験的に観測した。本研究は、冷却イオン系においてポラリトン間の相互作用の影響を初めて明示的に示したものであり、ポラリトンからなる量子多体系の研究などにおける基礎となる研究である。</p> |                                                                                  |

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 ( 大 平 龍 太 郎 ) |     |     |                             |
|-------------------|-----|-----|-----------------------------|
|                   | (職) | 氏 名 |                             |
| 論文審査担当者           | 主 査 | 教 授 | 向山 敬                        |
|                   | 副 査 | 教 授 | 北川 勝浩                       |
|                   | 副 査 | 教 授 | 藤井 啓祐                       |
|                   | 副 査 | 教 授 | 豊田 健二 (大阪大学量子情報・量子生命研究センター) |

論文審査の結果の要旨

申請者は、トラップされたイオン配列中のフォノン（振動運動の量子）を量子シミュレータに応用することにむけた研究を行った。本論文はその成果をまとめたものであり、イオン配列中フォノンの量子シミュレータへの応用にむけて、基礎となる現象の観測および応用のための基礎となる技術開発を行った成果について書かれている。量子シミュレータは一種の量子計算機であり、通常の古典コンピュータでは計算が困難な量子物理系を別の制御性が高い量子系を利用してシミュレートするというものである。イオン配列中のフォノンはイオンの内部状態からなる量子ビットと同様に制御性が高く、一つの自由度で量子ビットよりも大きな情報を担えること、相互作用する量子力学的粒子をシミュレートできることなどから、量子シミュレータを含む量子計算機への応用が期待される。

申請者は上記の目的に向けて、特に(1)イオン配列中のフォノンを用いた量子シミュレータの結果解析のために必要となるフォノン観測法を確立し、(2)フォノンの制御性を確保するうえで重要となる光パルス誘起エネルギーシフトによるフォノン移動の制御を行った。そして、それらの技術に基づき、(3)イオン配列中フォノンによる量子シミュレータの基礎的特性が反映された現象としてポラリトンブロッケードを観測し、光パルス照射時のフォノン間（ポラリトン間）の微視的相互作用を初めて示した。

これらの課題は、いずれもフォノンを用いた量子シミュレータ実証のために欠くことのできない要素であり、申請者は今回これらを明確に実験結果により示した。ここで行われたことは、今後この系を多粒子・多サイトに拡張し、複雑な相互作用を導入するための有効なステップと考えられ、これをさらに発展させていくことにより、計算機シミュレーションが困難な多数の相互作用する粒子系の量子シミュレーションなどに発展させられると考えられる。本研究の成果は、そのような研究に向けての基礎を固めるものとして評価できるものである。よって、本論文を博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。