



Title	Measurement and control of polaritons in the Jaynes-Cummings-Hubbard model for a trapped ion chain
Author(s)	Muralidharan, Silpa
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92902
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、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

Abstract of Thesis

Name (Silpa Muralidharan Pulpra)	
Title	Measurement and control of polaritons in the Jaynes-Cummings-Hubbard model for a trapped ion chain (トラップされたイオン鎖に対するJaynes-Cummings-Hubbard模型におけるポラリトンの測定および制御)
Abstract of Thesis In this study, I investigated the potential of the Jaynes-Cummings-Hubbard (JCH) model in trapped ions for quantum information processing and quantum computation. The focus of the study was on polariton states in the JCH system and the scalability of the system in trapped ion quantum computation. A polariton state in the JCH system is a superposition of internal and motional excitations in the trapped ion system and can be controlled through individual addressing of the ions and the application of detuning. I explored the potential of polariton states for quantum information processing and quantum computation, including the phenomenon of polariton blockade. As an approach to investigate the JCH model and polaritonic systems, focusing especially on their measurability, controllability and scalability, studies have been performed from different aspects, which include the followings: an efficient method for acquiring comprehensive information on the system; an approach to realize a high controllability leading to precise studies on large systems; a concrete study on a system with a certain scale that is available. In view of exploring the measurability of the system under investigation, quantum phase crossovers of the JCH model with two trapped ions are investigated, where a new scheme on conditional measurement is introduced and demonstrated to efficiently evaluate the combined system with internal and motional degrees of freedom in trapped ions. In addition, individual control of ions with optical beams by changing their frequencies is explored to exert fine control over them. The method can be applied to investigate such aspects as the number-dependent behaviors of the system around quantum phase transitions. Finally, as a step toward exploring many-body effects in systems beyond classically simulable scales, JCH systems with four and ten ions are investigated. It is confirmed that the signatures of many-body effects appear in the measurement of collective-mode populations after adiabatic passages, which allow further studies. This study highlights the potential of the JCH system in trapped ions for future quantum information processing and quantum computation applications. The ability to achieve polariton blockade through individual addressing of the ions and the scalability of the system are promising developments that could pave the way for advances in quantum information processing and quantum computation.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Silpa Muralidharan Pulpra)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 豊田健二 (量子情報・量子生命研究センター)
	副 査	教 授 北川勝浩
	副 査	教 授 藤井啓祐
	副 査	教 授 山本俊
	副 査	教 授 向山敬 (東京工業大学 理学院 物理学系)

論文審査の結果の要旨

本研究は、トラップされたイオンにおけるジェインズ・カミングス・ハバード (Jaynes-Cummings-Hubbard, JCH) 模型の量子シミュレーション・量子計算への応用を念頭に置き、イオンを用いたJCH模型の状態観測、制御、拡張可能性に関して基礎的な研究 (主に実験的な研究) を行ったものである。近年の量子制御技術の高まりとともに、よく制御された量子系を用いて既存の量子系をシミュレートする、ないしは新規の量子系を構成しその性質を調べるという、量子シミュレーションに関する研究が広く行われている。真空中でトラップされ冷却されたイオンは、環境から隔離され統計的な乱雑さが少ないために、量子シミュレーションを行うにあたって理想的な性質を備える。イオン配列における内部状態と振動状態という異なる性質を備える自由度を組み合わせることにより、相互作用する多粒子系 (JCH模型) の量子シミュレーションが可能となる。これは固体中の強く相互作用する電子等と関連する性質を備えるとともに、固体中の微小光共振器アレイ、超伝導量子ビットが伝送線路で結合された回路量子電磁力学系などとの関わりを持つ。

申請者はこのイオンを用いたJCH模型において、重要な役割を果たす粒子 (準粒子) であるポラリトンの性質を正確に測定する新たな方法を実証した。ポラリトン は内部状態における励起と振動状態における励起が複合されたものであり、その性質を調べるためには内部状態と振動状態を同時に測定することが必要になるが、これまでイオンを用いた研究において採用されていた方法ではこれは困難であった。申請者は条件付き測定法と呼ばれる手法を導入することにより内部状態と振動状態を同時に測定することを可能にし、2個のイオン配列における量子相クロスオーバーについて、サイトごとのポラリトン数分散の変化を実験的に直接的に同定することに初めて成功した。

また、量子シミュレーション等において、局所的な操作を対象系に加えられることは、対象となる系の量子的な性質を解明するうえで重要となる。申請者は、イオン配列のサイトごとに異なる周波数を持つ光ビームを照射することにより、ポラリトンのイオンサイト間移動をほぼ完全に抑制する実験に初めて成功し、この系の局所的操作に道筋を示した。

量子系は系が大きくなった際に特有の複雑性を示し、JCH模型においても20サイトを超えると従来の計算機では解析が困難と考えられる。申請者はこれを念頭に置き、JCH模型を従来の2, 3イオンサイト程度の実験から、4イオンサイト及び10イオンサイトに拡張することを試みた。申請者は4サイト及び10サイトのイオン配列JCH模型を実験的にシミュレートすることを試み、それらのいずれの場合についても、量子相クロスオーバーにおける終状態の振動状態占有数が多体相互作用に起因する特有の分布を示すことを、初めて実験的に示した。

以上の成果は、イオンを用いて量子的に複雑な性質を示すと期待される大規模な系を構築し、それを制御し、測定するということにむけて、先駆的な研究を行ったものとして評価できるものである。本学位申請論文は、その研究成果をまとめたものである。以上のことより、本学位申請論文を、博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。