

ОТЗЫВ

официального оппонента Пальчикова Виталия Геннадьевича на диссертацию Семерикова Ильи Александровича «Лазерное охлаждение ионов Mg^{+} и Yb^{+} в квадрупольной ловушке Пауля для квантовой логики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Актуальность диссертационного исследования Семерикова И.А. предопределяется, прежде всего, тем, что в настоящее время во многих лабораториях мира ведутся разработки отдельных элементов квантовых вычислителей на основе ионов, захваченных в ловушку. Ключевыми направлениями их развития являются не только увеличение количества используемых кубитов, но и улучшение их характеристик (достоверность логических операций, время когерентности и т.д.). Хотя, в принципе, любая двухуровневая квантовая система может образовать кубит, применительно к ионам, существует лишь два способа формирования кубита при использовании для этой цели электронных состояний иона: два сверхтонких уровня основного состояния («сверхтонкие кубиты») и уровень основного состояния и возбужденный уровень («оптические кубиты»). Для успешного выполнения исследований в рамках данного направления, требуется разработка универсальной линейной ловушки Пауля, с целью реализации захвата ионов, их глубокого лазерного охлаждения и оптической регистрации. Именно решению этих задач и посвящена диссертация Семерикова И.А. Научная новизна и практическая значимость диссертации заключается в детальном исследовании цепочек лазерно охлажденных ионов Mg^{+} в линейной квадрупольной ловушке Пауля с анализом колебательного спектра ионов. Для ионов Yb^{+} автором впервые показано, что применение метода двойной индуцированной электромагнитной прозрачности позволяет решить задачу глубокого лазерного охлаждения ионов Yb^{+} , используемых при масштабировании квантовых вычислителей. Хотя результаты диссертации для иона Yb^{+} сводятся лишь к теоретическим оценкам параметров эксперимента для их охлаждения, тем не менее, они имеют реальную перспективу практического применения при реализации элементов квантовой логики на ионах Yb^{+} .

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 114 страниц машинописного текста. Список литературы содержит 103 наименований.

Во введении обсуждается актуальность темы диссертации, формулируется цель и задачи работы, ее научная и практическая значимость. Там же приводится обзор литературы, в котором анализируются подходы к реализации элементов квантовой логики, основанных на использовании ионной цепочки в качестве отправного пункта исследований.

В первой главе диссертации приводится описание теории, описывающей захват и лазерное охлаждение ионов в квадрупольной ловушке Пауля. Представлены и

проанализированы основные уравнения движения иона в квадрупольном потенциале ловушки с учетом взаимодействия с оптическим полем. Рассмотрены предельные случаи, позволяющие представить решения рассматриваемых уравнений в замкнутом аналитическом виде. Главными результатами первой Главы диссертации, на мой взгляд, являются следующие: предлагаемый автором метод определения температуры лазерно-охлажденных ионов и расчеты квантовой динамики ионов, взаимодействующих с лазерным излучением.

Вторая глава диссертации посвящена описанию экспериментальной установки для исследования свойств ионных кристаллов. Рассмотрена конструкция вакуумной камеры, сформулированы общие принципы для проектирования линейных ловушек Пауля с детальным описанием созданной автором конструкции. Во второй Главе диссертации приводятся результаты численного моделирования распределения электрических полей в пространстве ловушки, а также данные для изменения потенциала вдоль оси z . Предстает значительный интерес информация автора, относящаяся к возможностям модернизации лазерной системы используемой установки для реализации квантово-логических операций с широким набором ионов.

В третьей главе диссертации представлены основные результаты экспериментальных исследований ионных цепочек для описанной в предыдущей Главе 2 конструкции линейной ловушки Пауля. Основными и наиболее важными результатами этой Главы являются следующие:

- описание результатов тестирования системы ионизации электронным ударом и системы генерации атомного пучка магния;
- оценки потерь ионов из ловушки, обусловленных отсутствием охлаждения ионов, а также кулоновским «расталкиванием» ионов. Кроме того, произведены оценки дополнительных потерь ионов за счет обменных процессов с нейтральными атомами буферного газа;
- оценки температуры лазерно-охлажденного иона магния по профилю линии охлаждающего перехода;
- результаты измерений спектра колебаний для одиночного иона и кристалла из двух ионов.

Наконец, в четвертой Главе диссертации проведен теоретический анализ возможности глубокого лазерного охлаждения ионов иттербия при использовании метода двойной индуцированной электромагнитной прозрачности. Теоретические расчеты стационарного распределения населенностей энергетических уровней иона иттербия, выполненные с учетом трех оптических полей, позволили автору произвести оценки населенностей верхнего уровня иона как функций отстройки линейно поляризованного излучения для заданного набора

параметров лазерного излучения, Там же приведены расчеты для стационарного среднего колебательного числа, представляющие экспериментальный интерес.

В заключении суммируются основные выводы и итоги работы, а также приведён перечень основных результатов.

Замечания по содержанию диссертационной работы:

1. Цель диссертационной работы, формулировки которой приведены в автореферате диссертации (стр.6) и в тексте диссертации (стр.7), отличаются друг от друга;

2. Во введении диссертации были бы уместными ссылки на работы МИФИ по созданию линейных ловушек Пауля для селекции ионов тория (от однократной ионизации до трехкратной), получаемых методом лазерной абляции;

3. В тексте четвертой главы слишком фрагментарно изложены возможности практического использования представленных в ней теоретических результатов для формирования элементов квантовой логики на основе применения ионов иттербия. Следовало бы указать, как минимум, этапность такого формирования.

Сделанные замечания носят, скорее, рекомендательный характер и не затрагивают основные положения диссертационной работы, а также общую положительную оценку диссертации.

Переходя к общей оценке диссертационной работы Семерикова И.А. , следует отметить целостность подхода автора к решению поставленных задач. В работе уделено достаточное внимание дальнейшему развитию подхода автора для всех совокупности научных исследований, представленных в диссертации. Все научные положения и основные результаты автора докладывались на представительных конференциях и семинарах, своевременно опубликованы в печати. Полученные в работе результаты, основные положения и выводы являются обоснованными. Изложенное в диссертации основное содержание работы позволяет оценить полноту и достоинства выполненных автором исследований. К достоинствам диссертационной работы можно отнести грамотное и корректное изложение полученных результатов, а также глубину проведенного автором научного анализа

Заключение

Оценивая диссертационную работу Семерикова Ильи Александровича в целом, можно сделать следующее заключение:

- тема диссертации актуальна, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение важной задачи в области экспериментальных и теоретических исследований захвата и лазерного охлаждения ионов Yb и Mg с целью формирования элементов квантовой логики на этих ионах;

- результаты диссертации обладают научной новизной, практической значимостью, прошли апробацию, в достаточной степени представлены в научных трудах автора;

- диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.13 г, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Семериков Илья Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент:

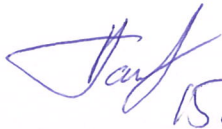
д.ф.-м.н. Пальчиков Виталий Геннадьевич,

главный научный сотрудник Главного метрологического центра Государственной службы времени и частоты (ГМЦ ГСВЧ (НИО-7)) Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Российская Федерация, 141570, Московская область, город Солнечногорск, рабочий поселок Менделеево, промзона ФГУП «ВНИИФТРИ», корпус 28.

тел.: 8-495-660-57-24

e-mail: vitpal@mail.ru


15.09.20

/Пальчиков Виталий Геннадьевич/

Подпись Пальчикова Виталия Геннадьевича удостоверяю:

Бойко Ирина Валентиновна,

Врио начальника отдела кадров Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»),

Российская Федерация, 141570, Московская область, город Солнечногорск, рабочий поселок Менделеево, промзона ФГУП «ВНИИФТРИ», корпус 11.

тел.: 8-495-546-30-21



/Бойко Ирина Валентиновна /

Список основных работ оппонента доктора физико-математических наук В.Г. Пальчикова по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. М. Н. Скворцов, С. М. Игнатович, В. И. Вишняков, Н. Л. Квашнин, И. С. Месензова, Д. В. Бражников, В. А. Васильев, А. В. Тайченачев, В. И. Юдина, С. Н. Багаев, И. Ю. Блинов, В. Г. Пальчиков, Ю. С. Самохвалов, Д. А. Парёхин, Миниатюрный квантовый стандарт частоты на основе явления когерентного пленения населённости в парах атомов ^{87}Rb , Квантовая электроника, т. 50(6), 576–580 (2020).
2. В. Д. Овсянников, С. И. Мармо, С. Н. Мохненко, В. Г. Пальчиков, Операционная компенсация неопределенностей высших порядков в стандартах частоты на атомах магния и кальция в оптических решетках, Квантовая электроника, т. 48(5), 419-424 (2018)
3. В. Д. Овсянников, С. И. Мармо, С. Н. Мохненко, В. Г. Пальчиков, Нелинейно-оптические эффекты высшего порядка в оптических решеточных часах, Квантовая электроника, т. 47(5), 412–420 (2017)
4. V.N.Baryshev, D.S. Kupalov, A.V. Novoselov, M.S. Aleinikov, A.I. Boiko, V.G. Pal'chikov, I.Y. Blinov, Compact Quantum Frequency Standard Using a Rubidium Vapor Cell With Pulsed Optical Pumping and Microwave Excitation Using the Ramsey Scheme. Measurement Techniques. v. 59(12):1286-90 (2017)
5. V.D. Ovsiannikov, S.I. Marmo, V.G. Palchikov, H. Katori, Higher-order effects on the precision of clocks of neutral atoms in optical lattices. Physical Review A, v. 93(4):043420 (2016)