

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 сентября 2022 г № 31

О присуждении Заливако Илье Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Лазерно-охлажденные ионы магния и иттербия для задач метрологии и квантовых вычислений» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 14 июня 2022 года, (протокол заседания № 25) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Заливако Илья Владимирович, 4 января 1994 года рождения, в 2017 году с отличием окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению «Прикладные математика и физика». С 2017 года обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2021 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2022 году. С 2015 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности

высококвалифицированного младшего научного сотрудника в Лаборатории оптики сложных квантовых систем Отделения оптики.

Диссертационная работа И. В. Заливако выполнена в Отделении оптики ФИАН.

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук Колачевский Николай Николаевич, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Кулик Сергей Павлович, доктор физико-математических наук, научный руководитель Центра квантовых технологий Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ);
2. Бетеров Илья Игоревич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории нелинейных резонансных процессов и лазерной диагностики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук» (ФГБУН ИПФ СО РАН) (г. Новосибирск)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном директором Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук, Кузнецовым Андреем Петровичем и утвержденном ректором НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук Шевченко Владимиром Игоревичем, указала, что диссертация является законченным научным исследованием, по тематике соответствует специальности 1.3.19 —

«Лазерная физика» и удовлетворяет требованиям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 4 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем И. В. Заливако работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Zalivako I., Borisenko A., Semerikov I., Sidorov P., Vishnyakov P., Khabarova K., Kolachevsky N. Nonselective Paul ion trap loading with a light-emitting diode // Appl. Phys. Lett. 2019. - Т. 115. - № 10. - С. 104102.
2. Заливако И.В., Семериков И.А., Борисенко А.С., Хабарова К.Ю., Сорокин В.Н., Колачевский Н.Н. Микроволновый стандарт частоты на ионах $^{25}\text{Mg}^+$: ожидаемые характеристики и перспективы // Квантовая электроника. 2017. - Т. 47. - № 5. - С. 426.
3. Заливако И.В., Семериков И.А., Борисенко А.С., Аксенов М.Д., Вишняков П.А., Сидоров П.Л., Семенин Н.В., Головизин А.А., Хабарова К.Ю., Колачевский Н.Н. Компактная высокостабильная лазерная система для спектроскопии квадрупольного перехода $^2\text{S}_{1/2} \rightarrow ^2\text{D}_{3/2}$ в ионе иттербия $^{171}\text{Yb}^+$ // Квантовая электроника. 2020. - Т. 50. - № 9. - С. 850–854.
4. Заливако И.В., Семериков И.А., Борисенко А.С., Аксенов М.Д., Хабарова К.Ю., Колачевский Н.Н., Экспериментальное исследование оптического кубита на квадрупольном переходе 435 нм в ионе $^{171}\text{Yb}^+$ // Письма в ЖЭТФ. 2021. - Т. 114. - № 2. - С. 53–29.

На автореферат диссертации поступил отзыв от доктора физико-математических наук Решетова Владимира Николаевича, ведущего научного сотрудника отдела «Исследования физико-механических свойств» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов». В отзыве Решетова В. Н. отмечается практическая направленность работы и актуальность задач создания многокубитных квантовых вычислителей и ионных реперов частоты, разработка которых ведется по многим лабораториях мира. В отзыве указано, что соискатель И. В. Заливако заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области лазерной физики, атомной спектроскопии и квантовых вычислений, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области спектроскопии и масс-спектрометрии ионов.

Диссертация Заливако И. В. посвящена разработке перспективных методов загрузки ионов в ловушки Пауля, теоретическому исследованию характеристик нового микроволнового репера частоты на основе ионов магния-25, а также экспериментальному изучению оригинального метода кодирования квантовой информации в оптическом квадрупольном переходе на длине волны 435.5 нм в ионе иттербия-171. Актуальность темы диссертации подтверждается широким использованием ионов в ловушках Пауля как в фундаментальных исследованиях, таких как высокочувствительные эксперименты по проверке выводов теории относительности и квантовой электродинамики, так и в прикладных задачах, например создании высокоточных стандартов частоты и квантовых вычислителей.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Разработан и изучен новый метод загрузки ионной ловушки Пауля, основанный на фотоэффекте. Данный способ был экспериментально продемонстрирован на примере загрузки ионов магния-24 в линейную ловушку Пауля. Была исследована зависимость эффективности загрузки ионов от различных параметров эксперимента.
2. Предложена схема оригинального микроволнового репера частоты на базе лазерно-охлажденных ионов магния-25. Получены теоретические оценки основных метрологических характеристик такого репера, а именно относительная нестабильность и неточность частоты, составившие $1.3 \times 10^{-13} \tau^{-1/2}$ и 3.6×10^{-14} , соответственно.
3. Предложен и экспериментально исследован оптический кубит в ионе $^{171}\text{Yb}^+$, закодированный в электрическом квадрупольном переходе $^2S_{1/2} (F = 0, m_F = 0) \rightarrow ^2D_{3/2} (F = 2, m_F = 0)$ на длине волны 435.5 нм. Были измерены значения достоверности процедуры считывания квантового состояния кубита, и однокубитной операции типа Паули-X и Паули-Y, которые составили 98 % и 94 %, соответственно.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Продemonстрированный в работе метод загрузки ионных ловушек путем электронной фотоэмиссии с электродов ловушки, покрытых веществом с низкой работой выхода, был предложен и исследован впервые;
- Впервые предложен микроволновый репер частоты на основе лазерно-охлажденных ионов магния-25 на частоте 1.789 ГГц, а также впервые оценены его характеристики;
- Впервые предложен и реализован оптический кубит на квадрупольном переходе в ионе иттербия-171, а также экспериментально исследованы его основные характеристики.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенный метод загрузки ионов в ловушку благодаря своей простоте, эффективности и надежности может найти широкое применение в компактных транспортируемых устройствах на основе захваченных ионов, таких как стандарты частоты, в том числе и космического базирования. Разработанная в рамках диссертационной работы компактная высокостабильная лазерная система имеет перспективы применения в транспортируемых оптических часах и квантовых вычислителях, а предложенный метод кодирования квантовой информации является многообещающим шагом на пути к решению проблемы масштабирования ионных квантовых вычислителей. Полученные результаты могут быть применены в таких организациях как НИЯУ МИФИ, ФИАН, МГУ, АО «Российские космические системы», ООО «Российский квантовый центр», АО «Время-Ч», ФГУП ВНИИФТРИ и других.

Достоверность результатов работы подтверждается согласием данных, полученных в ходе различных экспериментов, их воспроизводимостью, а также согласием полученных экспериментальных данных с выводами теоретических моделей. Справедливость ряда представленных в диссертации результатов подтверждается их согласием с данными, полученными другими авторами.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Заливако И. В., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. В частности, автором лично были предложены новый метод загрузки частиц, оригинальный микроволновый репер частоты на ионах магния, а также идея кодирования квантовой информации в квадрупольном переходе в ионах иттербия, описанные в диссертации. Также Заливако И. В. лично осуществил все представленные в работе расчеты, провел описанные эксперименты и обработал полученные данные. Помимо этого, автор внес существенный вклад в создание экспериментальных установок, задействованных в работе, в особенности в разработку лазерной системы для управления состоянием

оптического кубита и системы автоматизации проведения экспериментов. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Заливако И. В. аргументировано ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 19 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить И. В. Заливако учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по разработке перспективных методов подготовки, считывания и управления квантовыми состояниями ионов и создание новых технических решений в области спектроскопии ионов, стандартов частоты и квантовых вычислений.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 19,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 1.

Заместитель председателя диссертационного совета
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Пудалов Владимир Моисеевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

19 сентября 2022 г.