

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 декабря 2022 г № 40

О присуждении Борисенко Александру Станиславовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Спектроскопия оптических переходов в ионах иттербия для реализации квантовых вычислений» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 17 октября 2022 года, (протокол заседания № 35) 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 Борисенко Александр Станиславович, 25 декабря 1994 года рождения, в 2018 году с отличием окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) по направлению «Прикладные математика и физика». С 2018 года обучался в аспирантуре МФТИ по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2022 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана МФТИ в 2022 году. С 2016 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности

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

Диссертационная работа А. С. Борисенко выполнена в Отделении оптики ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Хабарова Ксения Юрьевна, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник, и.о. заведующей лабораторией "Оптика сложных квантовых систем" Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Пальчиков Виталий Геннадьевич, доктор физико-математических наук, 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») (Московская область, г. Солнечногорск, рабочий поселок Менделеево);
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, составленном доктором физико-математических наук Борисюком Петром Викторовичем, доцентом отделения

лазерных и плазменных технологий офиса образовательных программ (М) НИЯУ МИФИ, подписанном доктором физико-математических наук Кузнецовым Андреем Петровичем, директором Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, и доктором физико-математических наук Кудряшовым Николаем Алексеевичем, председателем совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, и утвержденном доктором физико-математических наук Нагорновым Олегом Викторовичем, и.о. ректора НИЯУ МИФИ, 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, утвержденном 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 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 5 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем А. С. Борисенко работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Borisenko A., Zalivako I., Semerikov I., Aksenov M., Khabarova K., Kolachevsky N. Motional states of laser cooled Yb ions in an optimized radiofrequency trap // Laser Physics. – 2019. – Т. 29. – №. 9. – С. 095201.
2. Zalivako I., Semerikov I., Borisenko A., Smirnov V., Vishnyakov P., Aksenov M., Sidorov P., Kolachevsky N., Khabarova K. Improved Wavelength Measurement of $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ and $^2D_{3/2} \rightarrow ^3[3/2]_{1/2}$ Transitions in Yb⁺ // Journal of Russian Laser Research. – 2019. – Т. 40. – №. 4. – С. 375-381.

3. Семериков И. А., Заливако И. В., Борисенко А. С., Аксенов М. Д., Колачевский Н. Н., Хабарова К. Ю. Линейная ловушка Пауля для задач квантовой логики // Краткие сообщения по физике Физического института им. П. Н. Лебедева Российской Академии Наук. – 2020. – Т. 47. – №. 12. – С. 33-39.
4. Семенин Н. В., Борисенко А. С., Заливако И. В., Семериков И. А., Хабарова К. Ю., Колачевский Н. Н. Оптимизация достоверности считывания квантового состояния оптического кубита в ионе иттербия $^{171}\text{Yb}^+$ // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2021. – Т. 114. – №. 8. – С. 553-559.
5. Семенин Н. В., Борисенко А. С., Заливако И. В., Семериков И. А., Аксенов М. Д., Хабарова К. Ю., Колачевский Н. Н. Определение скорости нагрева и температуры ионных цепочек в линейной ловушке Пауля по дефазировке осцилляций Раби // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2022. – Т. 116. – №. 2. – С. 74-79.

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» (ФГБНУ ТИСНУМ) (г. Москва, г. Троицк). В отзыве Решетова В. Н. отмечается важность и практическая значимость решаемых в работе задач, направленных на создание квантовых вычислителей на ионах в ловушках Пауля. В отзыве указано, что соискатель А. С. Борисенко заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается высоким уровнем их квалификации и наличием достижений мирового уровня в области лазерной физики, атомной спектроскопии и квантовых вычислений, а ведущей

организации – её репутацией признанного научного центра в области ионной спектроскопии и масс-спектрометрии.

Диссертация Борисенко А. С. посвящена исследованию методами прецизионной лазерной спектроскопии оптических переходов в ионе иттербия для реализации и повышения достоверности квантовых операций. Актуальность темы диссертации подтверждается широким использованием ультрахолодных захваченных в ловушку Пауля ионов для создания реперов частоты на основе квантовой логики и квантовых вычислителей.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Получены уточненные значения длин волн переходов $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ и $^2D_{3/2} \rightarrow ^3[3/2]_{1/2}$ в ионах изотопов иттербия, используемых для лазерного охлаждения. Погрешность измерений уменьшена в три раза по сравнению с ранее известными экспериментальными данными.
2. Смоделирована, изготовлена и экспериментально охарактеризована линейная квадрупольная ловушка Пауля с электродами-лезвиями для задач квантовых вычислений.
3. Предложена аналитическая модель для анализа достоверности считывания состояния оптического кубита на квадрупольном переходе в ионе иттербия-171 методом квантовых скачков в зависимости от экспериментальных параметров. Показано, что предел достоверности данного метода считывания составляет 99.4%.
4. Предложен и экспериментально реализован метод определения температуры и скорости нагрева ионов в многочастичном линейном ионном кристалле в режиме Лэмба-Дике по анализу затухания осцилляций Раби на узком оптическом переходе. Измерена температура кристалла из пяти ионов иттербия-171, которая после доплеровского охлаждения составила 1.69 ± 0.08 мК. Измерена скорость нагрева

ультрахолодного одиночного иона иттербия-171 вдоль оси созданной ловушки Пауля, которая составила 8 ± 2 фононов/с.

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

- Создана первая отечественная экспериментальная установка для исследования новых методов прецизионной спектроскопии и квантовых вычислений в ультрахолодных ионах иттербия. Смоделирована и изготовлена линейная ловушка Пауля с большим оптическим доступом и секулярными частотами 1 – 3 МГц, достаточными для реализации охлаждения ионов до основного колебательного состояния по аксиальному направлению.
- Измерены длины волн переходов $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ и $^2D_{3/2} \rightarrow ^3[3/2]_{1/2}$ в ионах изотопов иттербия-170, 171, 172, 174, 176 с точностью в три раза превосходящей ранее опубликованные данные.
- Впервые показано, что процедура считывания состояния оптического кубита в ионе иттербия-171 методом квантовых скачков системой лазерного охлаждения имеет ограничение достоверности в 99.4%. Впервые проведена численная оптимизация параметров процедуры считывания в зависимости от экспериментальных условий.
- Предложен и экспериментально продемонстрирован новый метод определения температуры и скорости нагрева многочастичного ионного кристалла по анализу затухания осцилляций Раби на узком оптическом переходе.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенный метод определения температуры и скорости нагрева многочастичного ионного кристалла по наблюдению затухания осцилляций Раби позволяет расширить диапазон поддающихся измерению температур ионных кристаллов. Проведённый в

рамках диссертационной работы анализ достоверности считывания квантового состояния оптического кубита в ионе иттербия может применяться для оптимизации экспериментов с оптическими кубитами и кудитами на основе квадрупольного перехода с длиной волны 435.5 нм.

Достоверность результатов работы подтверждается согласованностью расчётов и моделирования с результатами экспериментов, а также воспроизводимостью и согласованностью полученных экспериментально данных. Справедливость ряда представленных в работе результатов подтверждается их согласием с ранее известными данными.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Борисенко А. С., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. В частности, автором лично создана система для захвата ионов иттербия на основе линейной квадрупольной ловушки Пауля, собрана лазерная система для охлаждения, подготовки и считывания квантового состояния ионов иттербия, проведена спектроскопия охлаждающих переходов в ионах изотопов иттербия, лично предложены и экспериментально апробированы модель для расчёта достоверности считывания состояния оптического кубита в ионе иттербия-171 и новый метод для определения температуры и скорости нагрева ультрахолодных линейных ионных кристаллов. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

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

На заседании 19 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение присудить А. С. Борисенко учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по оптимизации охлаждения и считывания квантового состояния ионов иттербия, важной для развития квантовых вычислений на ультрахолодных ионах, и разработку новых технических решений в области спектроскопии ионов.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 19 человек, из них 5 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 - 0.

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

Пудалов Владимир Моисеевич

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

Золотко Александр Степанович

19 декабря 2022 г.