

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 16 сентября 2024 г № 71

О присуждении Сидорову Павлу Леонидовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Масштабирование квантового вычислителя на ионах иттербия-171 с использованием кудитов и быстрых квантовых вентиляей» по специальности 1.3.19 — Лазерная физика принята к защите 16 мая 2024 года, (протокол заседания № 68) 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. Дата защиты была перенесена на 16 сентября 2024 решением диссертационного совета от 28 июня 2024 г (протокол заседания № 70).

Соискатель Сидоров Павел Леонидович, 12 сентября 1996 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика». В 2024 году окончил аспирантуру МФТИ по направлению «Физика и астрономия». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана МФТИ в 2024 г. С 2018 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности

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

Научный руководитель – Колачевский Николай Николаевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, специалист в области прецизионной лазерной спектроскопии, рентгеновской, нелинейной и квантовой оптики, лазерного охлаждения, работает в должности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук.

Официальные оппоненты:

1. Рябцев Игорь Ильич – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории нелинейных резонансных процессов и лазерной диагностики Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук;
2. Саакян Сергей Арамович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории лазерного охлаждения и ультрахолодной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ), город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук Куликом Сергеем Павловичем, научным руководителем Центра квантовых технологий МГУ, и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем, проректором, начальником Управления научной политики МГУ, 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 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 3 работы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем П. Л. Сидоровым работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. M. A. Aksenov, I. V. Zalivako, I. A. Semerikov, A. S. Borisenko, N. V. Semenin, P. L. Sidorov, A. K. Fedorov, K. Yu. Khabarova, and N. N. Kolachevsky Realizing quantum gates with optically addressable $^{171}\text{Yb}^+$ ion qubits //Physical Review A. – 2023. – Т. 107. – №. 5. – С. 052612.
2. Sidorov P., Aksenov M., Zalivako I., Borisenko A., Semerikov I., Khabarova K., & Kolachevsky N. Coherent effects of pulsed fast gate in 1D-and 2D ion quantum computer architectures //Physics Letters A. – 2022. – Т. 450. – С. 128370.
3. P. L. Sidorov, I. V. Zalivako, A. S. Borisenko, I. A. Semerikov, K. Y. Khabarova Optimization of Raman Cooling of $^{25}\text{Mg}^+$ Ion to Ground Vibrational State in Linear Paul Trap //Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2019. – Т. 46. – С. 138-142.

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 квантовой информатики.

Диссертационная работа Сидорова П.Л. посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию методов масштабирования ионного

квантового вычислителя. Актуальность исследования определяется перспективами создания ионных квантовых процессоров промежуточного масштаба, востребованных для симуляции поведения сложных квантовых систем, а также при решении практических задач оптимизации, квантовой химии, фармацевтики, криптографии.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Оптимизирована стратегия лазерного охлаждения иона магния-25 до основного колебательного состояния, и с помощью численной симуляции показана возможность охлаждения за 120 циклов с температуры 1 мК до 2.5 мкК.
2. Создан универсальный квантовый процессор на двух кубитах на ионах иттербия. Продемонстрированы операции на одном кубите с достоверностью выше 82% и операция запутывания кубитов с достоверностью 65%. Проведено численное моделирование, показавшее, что фазовые шумы лазерного источника вносят определяющий вклад в ошибку двухкубитной операции.
3. Показано значительное влияние когерентных эффектов на достоверность неадиабатической двухкубитной операции с ультракороткими лазерными импульсами.
4. Была произведена численная симуляция неадиабатической двухкубитной операции для систем с несколькими ионами, находящимися в отдельных ловушках в 1D и 2D конфигурациях. Оптимизация периода повторений лазерных импульсов позволила уменьшить ошибку квантовой операции до 5% для системы из двух ионов и до 7 % для семи ионов.
5. Исследовано воздействие колебаний интенсивности лазерного излучения на достоверность неадиабатической операции запутывания. Установлено, что флуктуации на уровне 1% приводят к достоверности ниже 90%. Данный результат важен при проектировании системы стабилизации интенсивности лазерного источника.

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

- Разработан новый метод оптимизации параметров лазерных импульсов для осуществления лазерного охлаждения ионов до основного колебательного состояния

- Впервые создан универсальный кудитный квантовый процессор, основанный на ионах $^{171}\text{Yb}^+$

- Предложен новый метод оценки достоверности неадиабатической операции запутывания ионов с использованием ультракоротких лазерных импульсов с учётом когерентных эффектов

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенный в работе метод оптимизации процесса глубокого лазерного охлаждения ионов позволит достигать более низких температур ионных кристаллов и, в свою очередь, более низких ошибок квантовых операций. Разработанный кудитный квантовый процессор на основе ионов иттербия создаёт перспективы для дальнейшего масштабирования ионного квантового вычислителя, что позволит решать прикладные задачи в таких областях, как оптимизация, моделирование квантовых систем и машинное обучение. Предложенный метод оценки ошибки неадиабатической операции запутывания ионных кубитов может использоваться для предварительного подбора параметров для проведения эксперимента по запутыванию ионных кубитов, а также при проектировании оптической архитектуры квантового процессора. Полученные результаты могут быть применены в таких организациях как Российский квантовый центр, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Институт лазерной физики Сибирского Отделения Российской академии наук.

Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертации, обеспечена проведением экспериментальных измерений на современном научном оборудовании с высокой точностью и

воспроизводимостью результатов; достоверность полученных теоретических расчётов обеспечивается использованием адекватных теоретических моделей.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Сидорова П. Л., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор активно участвовал в создании экспериментальной установки для демонстрации работы кудитного квантового процессора: лично автором была разработана система контроля магнитного поля и сконструирован резонансный трансформатор для питания электродов ловушки Пауля, а также создана система стабилизации оптической частоты лазера. При его непосредственном участии была собрана система считывания и адресации ионов. П.Л. Сидоров самостоятельно выполнил численное моделирование глубокого лазерного охлаждения ионов и предложил новый метод оптимизации параметров лазерных импульсов. Лично автором были исследованы быстрые квантовые операции и доказана важность учета когерентных эффектов при проведении неадиабатической двухкубитной операции с ультракороткими лазерными импульсами. Также им была разработана модель двумерного массива ловушек и проведено численное моделирование неадиабатического запутывания ионов с учетом флуктуаций интенсивности лазерных импульсов. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Сидоров П.Л. аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 16 сентября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить П.Л. Сидорову учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по масштабированию ионного квантового вычислителя.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 26 человек, из них 5 докторов наук по специальности

рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 20,

против присуждения учёной степени 0,

недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя диссертационного совета

д.ф.-м.н., профессор

Ионин Андрей Алексеевич

Учёный секретарь диссертационного совета

д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

16 сентября 2024 г.