

## Отзыв научного руководителя

д.ф.-м.н. Хабаровой Ксении Юрьевны

о работе Борисенко Александра Станиславовича по кандидатской диссертации  
«Спектроскопия оптических переходов в ионах иттербия  
для реализации квантовых вычислений»,  
представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Борисенко Александр Станиславович с отличием окончил Московский физико-технический институт (государственный университет) в 2018 году, защитив магистерскую диссертацию на тему «Исследование параметрических резонансов в вигнеровских кристаллах ионов  $^{24}\text{Mg}^+$ », и в том же году поступил в аспирантуру МФТИ, продолжив исследования с целью создания оптических стандартов частоты и квантовых вычислителей на ультрахолодных ионах в ловушках. С 2016 года по настоящее время является сотрудником Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук. Подготовка материала для диссертации выполнялась в Отделе спектроскопии Отделения оптики ФИАН.

Диссертационная работа А. С. Борисенко «Спектроскопия оптических переходов в ионах иттербия для реализации квантовых вычислений» посвящена исследованию оптических переходов в ионах иттербия методами лазерной спектроскопии для реализации и повышения достоверности квантовых операций. В ходе работы была создана экспериментальная установка для проведения экспериментов с ультрахолодными ионами иттербия, которая включает в себя лазерную систему охлаждения и адресации ионов, ионную ловушку Пауля и систему детектирования состояний ионов. Были измерены с повышенной точностью длины волн охлаждающих переходов в изотопах ионов иттербия. Полученные значения могут быть использованы для расчётов поляризуемости уровней иттербия, а также в экспериментальной деятельности для автоматизации лазерного охлаждения и подготовки начального состояния ионов перед квантовыми операциями. В работе выполнено численное моделирование частотных и пространственных характеристик линейных ионных кристаллов, а также расчёт и экспериментальная реализация удерживающего потенциала для создания эквидистантного ионного кристалла из семи ионов иттербия. Эквидистантный ионный кристалл удобен в задачах индивидуальной адресации и индивидуального считывания состояний ионов в квантовых вычислениях. В работе разработана аналитическая модель процесса считывания состояния оптического кубита на квадрупольном переходе в ионе иттербия-171 с учётом спонтанного распада, нерезонансных и переходных переходов, а также остаточной засветки фотодетектора. Предложенная модель позволяет достигать максимальной достоверности считывания состояния ионов методом квантовых скачков при неидеальных экспериментальных условиях. В диссертации предложен новый метод определения температуры и скорости нагрева ионов в многочастичном линейном ионном кристалле по анализу дефазировки осцилляций Раби на узком электронном переходе. Использование метода позволило измерить температуру захваченного ультрахолодного ионного кристалла из пяти ионов иттербия-171, которая составила 1.7 мК, а также измерить темп нагрева ионов в изготовленной линейной ловушке Пауля, составивший 8 фононов/мс. Показано, что

достигнутых характеристик ионной ловушки достаточно для реализации квантовых логических операций на цепочке ионов.

В ходе работы А. С. Борисенко проявил себя как состоявшийся исследователь-физик, умеющий работать как в коллективе, так и самостоятельно. Имеет отличный уровень экспериментальной и теоретической подготовки, аккуратен и трудолюбив. Продемонстрировал хорошие знания квантовой физики и оптики, навыки в моделировании и проектировании экспериментальной установки, на высоком уровне выполняет работы с оптической и вакуумной техникой. Борисенко А. С. является соавтором 20 статей в рецензируемых научных изданиях (из них 5 статей лежат в основе диссертации) и четырёх патентов на полезную модель, а также выступал докладчиком на ряде международных и всероссийских научных конференций.

Считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а А.С. Борисенко заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Руководитель лаборатории "Оптика сложных квантовых систем" Физического института им. П. Н. Лебедева РАН  
д.ф.-м.н. Хабарова Ксения Юрьевна  
ФИАН, 119991 Москва, Ленинский проспект, 53  
тел. +7 (499) 132-61-85  
e-mail: [habarovaky@lebedev.ru](mailto:habarovaky@lebedev.ru)



3 октября 2022 г.

Подпись Хабаровой Ксении Юрьевны заверяю



  
Савинов С.Ю.