

О Т З Ы В

официального оппонента Бетерова Ильи Игоревича на диссертацию Борисенко Александра Станиславовича "Спектроскопия оптических переходов в ионах иттербия для реализации квантовых вычислений", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 "Лазерная физика"

Диссертационная работа А.С. Борисенко посвящена исследованию методами лазерной спектроскопии оптических переходов в ионах иттербия, разработке методов реализации квантовых вычислений на основе ультрахолодных ионов и повышению точности отдельных квантовых операций с ионами. Актуальность выбранной темы обусловлена перспективностью использования ультрахолодных ионов для реализации квантовых вычислений, создания квантовых стандартов частоты и других задач прецизионной лазерной спектроскопии.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Первая глава посвящена общим принципам квантовых вычислений, методам кодирования квантовой информации в квантовых состояниях ионов иттербия, методам захвата, лазерного охлаждения и диагностики одиночных ионов. Описана экспериментальная установка, включая вакуумную камеру и лазерные системы. Приведены результаты измерений длин волн оптических переходов в ионах иттербия.

Во второй главе рассматриваются ионные кристаллы и возможность их использования для квантовых вычислений. Описаны колебательные моды цепочки ионов. Приведены результаты экспериментов по созданию эквидистантных ионных кристаллов в линейной квадрупольной ловушке Пауля. Кроме того, описана оригинальная конструкция ионной ловушки с электродами-лезвиями, оптимизированная для выполнения квантовых вычислений с ионами. Проведено численное моделирование удерживающего потенциала в такой ловушке.

Третья глава посвящена детектированию состояний отдельных ионных кубитов. Описана теоретическая модель регистрации состояний ионов с использованием метода квантовых скачков. Проведены моделирование динамики населенностей уровней ионов в процессе считывания и анализ статистики рассеяния фотонов. Проведен анализ

ограничений, возникающих при регистрации состояний ионов, и предложены способы повышения её достоверности.

В четвертой главе рассматриваются методы измерения температуры ионного кристалла. Проведен сравнительный анализ различных спектроскопических методов измерения температуры. Особое внимание уделено методу, основанному на дефазировке осцилляций Раби на узком оптическом переходе.

Диссертация содержит важные экспериментальные результаты, имеющие принципиальное значение для дальнейшего развития квантовых технологий на основе ультрахолодных ионов, включая реализацию квантовых вычислений и оптических стандартов частоты. Результаты работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, прошли апробацию на научных конференциях.

В то же время, имеются замечания:

1) В структуре кандидатской диссертации как правило значительная роль принадлежит обзору литературы, в котором подробно раскрывается состояние дел в области исследований. В данной диссертации обзор носит достаточно фрагментарный характер, несмотря на бурное развитие в данной области знаний в последние годы. Фактически, первая глава диссертации содержит описание общих принципов захвата и удержания ионов, спектроскопические характеристики ионов иттербия, и описание экспериментальной установки, которому вряд ли место в первой главе. При этом описание отдельных элементов экспериментальной установки встречается и в последующих главах.

2) В диссертации исследуется использование ионных кристаллов для реализации квантовых вычислений. В то же время, практически игнорируется вопрос о масштабируемости ионных систем, ответом на который и должны быть результаты такого исследования.

3) В работе сравниваются друг с другом различные методы измерения температуры в ионных кристаллах, но в эксперименте используется только один из них. Возникает вопрос о достоверности таких измерений, а также о возможном влиянии других процессов (помимо механического движения ионов) на дефазировку осцилляций Раби.

Указанные замечания никак не уменьшают ценности результатов, полученных в диссертации.

Научная ценность работы подтверждена публикациями в реферируемых журналах и трудах конференций.

Практическая значимость заключается в возможном использовании полученных результатов для повышения точности квантовых вычислений.

Заключение

Оценивая диссертационную работу Борисенко Александра Станиславовича в целом, можно сделать следующее заключение:

- тема диссертации актуальна, научные положения, выводы, заключения и рекомендации диссертации научно обоснованы;
- результаты диссертации обладают практической значимостью, научной новизной, прошли апробацию, в достаточной степени представлены в научных трудах автора;
- достоверность результатов подтверждается их воспроизводимостью и хорошим согласием теоретических выводов с экспериментальными данными.

Диссертация А.С. Борисенко является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на хорошем научном уровне, что подтверждает высокую квалификацию соискателя в своей области. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Борисенко Александр Станиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – "Лазерная физика".

Официальный оппонент:

к.ф.-м.н. Илья Игоревич Бетеров,

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 ИФП СО РАН),

Российская федерация, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13,
ФГБУН ИФП СО РАН

тел.: +7 (383)333-24-08

e-mail: beterov@isp.nsc.ru

/ Бетеров Илья Игоревич /

29.11.2020

Подпись Бетерова Ильи Игоревича заверяю:

Аржанникова София Андреевна

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук» (ФГБУН ИФП СО РАН), к.ф.-м.н.,

Российская федерация, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13,
ФГБУН ИФП СО РАН

тел.: +7(383)333-24-88

e-mail: science@isp.nsc.ru



/ Аржанникова София Андреевна /

Список основных публикаций оппонента кандидата физико-математических наук И. И. Бетерова по тематике диссертации А.С. Борисенко в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. И. И. Бетеров, Е. А. Якшина, Д. Б. Третьяков, В. М. Энтин, Н. В. Альянова, К. Ю. Митянин, А. М. Фарук, И. И. Рябцев, Реализация однокубитовых квантовых операций с индивидуальной адресацией двух атомов рубидия в двух оптических дипольных ловушках, *Квантовая электроника*, 51(6), 464–472 (2021);
2. И. И. Бетеров, Е. А. Якшина, Д. Б. Третьяков, В. М. Энтин, Н. В. Альянова, К. Ю. Митянин, И. И. Рябцев, Реализация однокубитовых квантовых операций на СВЧ-переходе в одиночном атоме рубидия в оптической дипольной ловушке, *ЖЭТФ*, 159(3), 409 (2021);
3. I. I. Beterov, D. V. Tretyakov, V. M. Entin, E. A. Yakshina, I. I. Ryabtsev, M. Saffman, S. Bergamini, Application of adiabatic passage in Rydberg atomic ensembles for quantum information processing, *Journal of Physics B*, 53(18), 182001 (2020);
4. Е. А. Якшина, Д. Б. Третьяков, В. М. Энтин, И. И. Бетеров, И. И. Рябцев, Наблюдение эффекта дипольной блокады при регистрации ридберговских атомов методом селективной ионизации электрическим полем, *ЖЭТФ*, 157(2), 206 (2020);
5. M. Saffman, I. I. Beterov, A. Dalal, E. J. Pérez, and B. C. Sanders, Symmetric Rydberg controlled-Z gates with adiabatic pulses, *Physical Review A*, 101(6), 062309 (2020);
6. I. I. Beterov, I. N. Ashkarin, E. A. Yakshina, D. V. Tretyakov, V. M. Entin, I. I. Ryabtsev, P. Cheinet, P. Pillet, and M. Saffman, Fast three-qubit Toffoli quantum gate based on three-body Förster resonances in Rydberg atoms, *Physical Review A*, 98(4), 042704 (2018).