

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.136.01 (Д002.100.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО
ТЕЛА ИМЕНИ Ю.А. ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 26.03.2024 № 2

О присуждении Астафьеву Олегу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Квантовая оптика на искусственных квантовых системах» по специальности 1.3.8 — «Физика конденсированного состояния» принята к защите 19.12.2023 г. (протокол заседания № 16) диссертационным советом 24.1.136.01 (Д 002.100.02), созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), 142432, г. Черноголовка, Московская область, ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки от 17.10.2019 г. № 965/нк.

Соискатель Астафьев Олег Владимирович, 30 января 1963 года рождения, в 1986 году окончил «Московский физико-технический институт», диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Исследование электрически- и рекомбинационно-активных дефектов в кремнии и сплавах кремний-германий картирующим методом малоуглового рассеяния света» защитил в 1997 году в диссертационном совете К 003.49.02, созданном на базе Института общей физики Российской академии наук. Работает в должности профессора в Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий».

Диссертация выполнена в лаборатории Сверхпроводниковых квантовых технологий Автономной некоммерческой образовательной организации

высшего образования «Сколковский институт науки и технологий».

Научного консультанта нет.

Официальные оппоненты:

Тагиров Ленар Рафгатович – доктор физико-математических наук, профессор, Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ведущий научный сотрудник лаборатории нелинейной оптики;

Кулик Сергей Павлович, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры квантовой электроники, научный руководитель Центра квантовых технологий физического факультета;

Панкратов Андрей Леонидович, доктор физико-математических наук, Институт физики микроструктур РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», ведущий научный сотрудник отдела терагерцовой спектроскопии.

На диссертацию поступили только положительные отзывы. Официальные оппоненты высказали ряд замечаний и пожеланий, в основном касающихся терминологии, а также уточняющих вопросов по экспериментам. При этом оппоненты подчеркивают, что замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки работы. Все оппоненты заключают, что диссертация Астафьева Олега Владимировича полностью соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8.—физика конденсированного состояния.

Ведущая организация – Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка в своём положительном заключении, подписанном Аксеновым Виктором Лазаревичем – доктор физ.-мат. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Лаборатории нейтронной физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, и Шукриновым Юрием Маджуновичем – доктором физ.-мат. наук, ведущим научным сотрудником Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, **указала**, что «В целом диссертация выполнена и изложена на самом высоком уровне, она является цельным и законченным исследованием», «Новизна и достоверность результатов не вызывают сомнений», «Диссертация вносит существенный вклад в экспериментальные исследования», «Практическая значимость работы связана с развитием теоретических моделей и подходов, предсказанием новых свойств гибридных структур, имеющих перспективу использования в качестве элементов криоэлектроники». «По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов диссертационная работа «Квантовая оптика на искусственных квантовых системах», соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор – Астафьев Олег Владимирович – достоин присуждения искомой степени по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.»

Соискатель имеет более 100 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликована 81 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликована 81 работа. Большая часть работ опубликована в высокорейтинговых научных журналах, среди них: 7 в журналах Nature и Science, 4 – Nature Physics и Nature Communications, 11 – Physical Review Letters. Выборочный список наиболее значимых работ:

1. S. Komiyama, O. Astafiev, V. Antonov, T. Kutsuwa, H. Hirai. A single-photon detector in the far-infrared range. *Nature* 403, pp. 405-407 (2000).
2. Y. A. Pashkin, T. Yamamoto, O. Astafiev, Y. Nakamura, D. V. Averin, J. S. Tsai. Quantum oscillations in two coupled charge qubits. *Nature* 421 (6925): pp. 823-826 (2003).
3. T. Yamamoto, Y. A. Pashkin, O. Astafiev, Y. Nakamura, J. S. Tsai. Demonstration of conditional gate operation using superconducting charge qubits. *Nature* 425 (6961), pp. 941-944 (2003).
4. O. Astafiev, Yu. A. Pashkin, T. Yamamoto, Y. Nakamura, and J. S. Tsai, Quantum Noise in the Josephson Charge Qubit, *Phys. Rev. Lett.* 93, 267007 (2004).
5. O. Astafiev, K. Inomata, A. O. Niskannen, T. Yamamoto, Yu. A. Pashkin, Y. Nakamura, and J. S. Tsai. "Single artificial-atom Lasing". *Nature* 449, 588–590 (2007).
6. O. Astafiev, A. M. Zagoskin, A.A. Abdumalikov, Yu.A. Pashkin, T. Yamamoto, K. Inomata, Y. Nakamura, and J.S. Tsai. Resonance fluorescence of a single artificial atom. *Science*. 327 (2010).
7. O. Astafiev, A.A. Abdumalikov, A. M. Zagoskin, Yu.A. Pashkin, T. Yamamoto, K. Inomata, Y. Nakamura, and J.S. Tsai. Ultimate on-chip quantum amplifier. *Phys. Rev. Lett* 104, 183603 (2010).
8. O. V. Astafiev, L. B. Ioffe, S. Kafanov, Yu. A. Pashkin, K. Yu. Arutyunov, D. Shahar, O. Cohen, J. S. Tsai. Coherent quantum phase slip. *Nature* 484, 355–358 (2012).
9. Z. H. Peng, S. E. de Graaf, J. S. Tsai, O.V. Astafiev. Tuneable on-demand single-photon source in the microwave range. *Nature Communications* 7, 12588 (2016).
10. S. E. de Graaf, S. T. Skacel, T. Hoenigl-Decrinis, R. Shaikhaidarov, H. Rotzinger, S. Linzen, M. Ziegler, U. Hübner, H.-G. Meyer, V. Antonov, E. Il'ichev, A. V. Ustinov, A. Ya. Tzalenchuk and O. V. Astafiev. Charge

quantum interference device. *Nature Physics* 14, 590–594 (2018).

11. Aleksey N. Bolgar, Julia I. Zotova, Daniil D. Kirichenko, Ilya S. Besedin, Aleksander V. Semenov, Rais S. Shaikhaidarov, and Oleg V. Astafiev. Quantum regime of a two-dimensional phonon cavity. *Phys. Rev. Lett.* 120, 223603 (2018).

12. Rais S. Shaikhaidarov, Kyung Ho Kim, Jacob W. Dunstan, Ilya V. Antonov, Sven Linzen, Mario Ziegler, Dmitry S. Golubev, Vladimir N. Antonov, Evgeni V. Il'ichev, Oleg V. Astafiev. Quantized current steps due to the a.c. coherent quantum phase-slip effect. *Nature* 608, 45–49 (2022).

На автореферат поступило три положительных отзыва, в которых отмечается, что диссертация является крупным достижением, и по совокупности работ создано новое научное направление. По новизне, значимости и актуальности диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Минобрнауки России к докторским диссертациям.

Отзывы на автореферат дали:

Мельников Александр Сергеевич (доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Международного центра теоретической физики имени А.А. Абрикосова, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»). Отзыв на автореферат положительный, замечаний нет.

Махлин Юрий Генрихович (доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН, заведующий Международной лабораторией физики конденсированного состояния Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»). Отзыв на автореферат положительный, имеются два незначительных, как отмечает рецензент, замечания. Первое замечание: отсутствие данных по точности измерения квантовых состояний кубитов в описании Главы 2 в автореферате. Второе замечание о неточности

терминологии, используемой для обозначения сверхпроводниковой ловушки. Килин Сергей Яковлевич (доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий Центром «Квантовая оптика и квантовая информатика» Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, иностранный член РАН). Отзыв на автореферат положительный, имеются два замечания. Первое касается использования прямого перевода терминов с английского. Второе – пожелание уточнить утверждение об открытии нового фундаментального эффекта квантовой оптики – квантового волнового смещения, в свете опубликованных ранее теоретических работ на эту тему.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются ведущими специалистами в областях физики по теме диссертации: сверхпроводимости и джозефсоновским системам (Тагиров Л.Р., Панкратов А.Л.), а также квантовой оптики (Кулик С.П.). Ведущая организация имеет огромный опыт и долгую историю работы в области сверхпроводимости. Все оппоненты имеют значительное число опубликованных работ в областях, общих по тематике с диссертацией.

Диссертационный совет отмечает, что работы, представленные в диссертации, заложили фундамент нового направления физики – квантовой оптики на искусственных квантовых системах. На основании выполненных соискателем исследований получен ряд принципиально новых результатов:

Исследованы одиночные и двойные квантовые точки на двумерном электронном газе в гетероструктурах в режиме кулоновской блокады. На их основе, используя свойства одноэлектронного транзистора, как сверхчувствительного электрометра, впервые разработаны детекторы одиночных фотонов в терагерцовом диапазоне.

Разработан и реализован ряд сверхпроводниковых квантовых устройств, впервые показаны ранее нереализованные режимы их работы, в том числе для квантовых вычислительных устройств. Исследована релаксация и декогеренция

таких систем. Используя двухуровневую систему, в качестве квантового спектрометра, впервые охарактеризован квантовый шум её окружения.

Впервые экспериментально реализован большой набор фундаментальных эффектов квантовой оптики на одиночном искусственном атоме в СВЧ диапазоне, среди них: лазерный эффект, физически сильная связь одиночной квантовой системы с одномерным открытым пространством (линией прохождения), резонансная флюоресценция, спонтанная эмиссия, квантовый усилитель, электро-магнитно-индуцированная прозрачность на трех-уровневом искусственном атоме, реализован высоко-эффективный перестраиваемый источник фотонов по требованию в СВЧ диапазоне, продемонстрирован новый эффект квантовой оптики – квантовое волновое смещение.

Впервые реализована сильная связь искусственного атома с акустическим резонатором на поверхностных волнах в квантовом режиме.

В сверхпроводящих нано-проволочках, впервые продемонстрирован эффект квантового проскальзывания фазы, экспериментально продемонстрирован эффект нестационарного когерентного квантового проскальзывания фаз.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: было продемонстрировано много различных эффектов, предсказанных ранее теоретически. Для экспериментов были разработаны теоретические модели, которые описывают и объясняют полученные результаты. Ряд работ имеет глубокую теоретическую проработку. Например, разработана теория резонатора с одиночной квантовой системой с диссипацией и декогеренцией; разработана теория для описания результатов по квантовому смещению на языке вторичного квантования.

Явление когерентного квантового проскальзывания фаз, а также нестационарный эффект когерентного квантового проскальзывания фаз были ранее предсказаны теоретически и нашли подтверждение в экспериментах, представленных в диссертации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для

практики подтверждается тем, что эксперименты непосредственно демонстрируют возможность создания новых типов приборов квантовой электроники на чипе. Это квантовые процессоры, приборы квантовой электроники, квантовые сенсоры, метрологические приборы. Уже сейчас сверхпроводниковые квантовые устройства используются для разработки квантовых процессоров и симуляторов. Такие устройства, как перестраиваемые источники фотонов на чипе, могут также использоваться для квантовых вычислений и квантовых коммуникаций. Детекторы фотонов в терагерцовом диапазоне применимы для спектроскопии и космических экспериментов. Ряд продемонстрированных эффектов может быть полезен для квантовых сенсоров. Результаты по квантовой акустике могут быть использованы для уменьшения элементов квантовой электроники.

Продemonстрированный эффект когерентного квантового проскальзывания фазы важен для разработки квантового стандарта тока.

Достоверность полученных результатов обеспечивается соответствием экспериментальных результатов теоретическим моделям и воспроизводимостью результатов. Результаты части экспериментов были подтверждены независимыми исследованиями. Все результаты опубликованы в международных научных журналах, в том числе в высокорейтинговых, и прошли апробацию на различных международных конференциях.

Личный вклад соискателя в работу определяющий. Идеи подавляющего большинства экспериментов были сформулированы соискателем, большинство экспериментальных работ также выполнено соискателем, включая расчет, изготовление устройств, измерение, обработку данных, написание статей. Часть последних работ выполнена под научным руководством соискателя.

Диссертационный совет заключает, что диссертация Астафьева О.В. является самостоятельной завершенной научной работой, совокупность результатов которой можно квалифицировать как значительное научное

достижение. Работа Астафьева О.В. полностью отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании 26 марта 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Астафьеву О.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 21 доктор наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 21, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного
совета чл.-корр. РАН



Левченко Александр Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета доктор
физико-математических наук

Гаврилов Сергей Сергеевич

27 марта 2024г.