

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Астафьева Олега Владимировича
“Квантовая оптика на искусственных квантовых системах”,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

В последние 20 лет в физике конденсированного состояния образовалось и быстро развивается новое направление, включающее в себя исследование таких объектов как искусственно созданные сверхпроводящие кубиты (так называемые "искусственные атомы"), использующие уникальные свойства одноэлектронных транзисторов и джозефсоновских туннельных переходов и квантование заряда или магнитного потока. Сверхпроводящие кубиты являются в настоящее время общепризнанной и наиболее перспективной элементной базой для построения квантового компьютера, а также для проведения исследования в области квантовых технологий, квантовой оптики и электроники. Также возможность управления одиночными квантами важна для высокочувствительного приема электромагнитного излучения и метрологии. В связи с вышесказанным, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается как подробным описанием методик измерений, так и большим числом публикаций в ведущих изданиях, включая 6 статей в Nature, одну в Science и множество в Phys. Rev. Lett. Также результаты прошли апробацию на ведущих международных конференциях.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка 81 публикации автора и списка цитированной литературы, состоящего из 399 ссылок. Она изложена на 432 страницах, включая 126 рисунков.

Во Введении дается общая постановка проблемы, обосновывается актуальность проведенных исследований, описываются цели и задачи, а также научная новизна, практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена разработке, созданию и исследованию однофотонных детекторов дальнего инфракрасного и терагерцового диапазонов частот. Однофотонные детекторы созданы на основе гетероструктур GaAs/Al_xGa_{1-x}As в режиме квантовой точки и одноэлектронного транзистора, исследованы их свойства и основные характеристики. Показано, что квантовая эффективность достигает 2% и ограничена приемной антенной системой, а не свойствами детектора.

Во второй главе приведены результаты исследования сверхпроводниковых квантовых устройств на чипе - квантовых битов. В качестве наиболее ярких результатов, следует отметить первую в мире демонстрацию когерентного контроля двух взаимодействующих кубитов, демонстрацию вентиля CNOT, а также первую реализацию метода быстрого одноимпульсного считывания зарядового кубита, при этом достигнута высокая эффективность считывания, составляющая 87% для возбужденного состояния и 93% для основного состояния. Также в данной главе проведены исследование фундаментальных механизмов декогеренции, а также разработка новых кубитов, при этом проведён систематический анализ различных режимов потоковых кубитов. Еще одним важным

результатом данной главы является наблюдение квантового шума зарядовых кубитов. При этом показано, что на высоких частотах мощность шума пропорциональна частоте, в то время как на низких частотах наблюдается фликкер-шум, что объяснено в рамках модели двухуровневых флуктуаторов - дефектов в подложках и туннельных барьерах кубитов.

Третья глава диссертации является наиболее объемной, она содержит 46 рисунков. Данная глава является основной в качестве обоснования названия диссертации, в ней описан ряд экспериментов в области квантовой оптики на "искусственных атомах" - квантовых битах, используя аналогии квантовой оптики на естественных атомах. В отличие от обычной квантовой оптики, на квантовых битах возможна реализация режима сильной связи. На "искусственных атомах" продемонстрированы следующие явления: резонансная флюоресценция, спонтанная эмиссия, электромагнитно-индуцированная прозрачность, квантовый усилитель, и т.д. Также на основе кубитов реализован эффективный перестраиваемый источник одиночных микроволновых фотонов по требованию.

В четвертой главе диссертации исследуется новое направление - взаимодействие квантовых систем с акустическими волнами. Одним из недостатков сверхпроводящих кубитов является их достаточно большой размер, ограниченный размером резонаторов, что усложняет масштабирование систем кубитов. Использование поверхностных акустических волн позволяет уменьшить размеры резонаторов на порядки и таким образом решает проблему миниатюризации сверхпроводниковых квантовых битов. При этом, реализован режим сильной связи между кубитом и резонатором на поверхностных акустических волнах, а также продемонстрированы квантово-оптические эффекты на акустических системах.

В пятой главе решается очень важная проблема современной метрологии - выполнен цикл работ с целью создания эталона тока, и, таким образом, замыкания метрологического треугольника. В то время как эталон напряжения на основе ступеней Шапиро в джозефсоновских контактах давно используется в метрологии, дуальный ему эталон тока пока не создан. Этот эталон предложено создать на основе квантового эффекта проскальзывания фазы в нанопроволоках. При этом продемонстрированы интерференция двух амплитуд проскальзывания фазы, т.н. эффект Ааронова-Кашера, а также нестационарный эффект проскальзывания фазы, т.е. проведено наблюдение перевёрнутых ступеней Шапиро в ток-фазовых характеристиках.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Следует отметить, что все результаты, полученные в диссертации, являются новыми, а значительная часть результатов и вообще является пионерской. Например, впервые в мире проведена демонстрация когерентного взаимодействия двух связанных сверхпроводниковых кубитов, а также реализован двухкубитный вентиль.

Полученные результаты имеют не только фундаментально-научное, но и прикладное значение. Эти результаты могут быть использованы в МГУ, СПбГУ, МИСиС, ННГУ, НГТУ, ИФТТ РАН, ИФМ РАН, ИРЭ РАН и в других организациях, занимающихся исследованием сверхпроводников и квантовой оптики на чипе, а также при чтении специальных курсов лекций для студентов соответствующих специальностей.

По работе имеются замечания, связанные с использованием жаргонизмов и не совсем корректного перевода на русский. Например, в 1 главе используется термин "скорость переключения в темноте", хотя более корректно говорить о скорости темнового счета


однофотонного детектора. Вместо "эквивалентной шумовой мощности" более корректно говорить о мощности, эквивалентной шуму и т.д.

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации, положения выносимые на защиту и выводы.

В заключение следует отметить, что диссертация Астафьева Олега Владимировича «Квантовая оптика на искусственных квантовых системах» выполнена на высочайшем научном уровне, является цельным и законченным исследованием, посвященном разработке нового научного направления - квантовой оптике искусственных квантовых систем, полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, соответствует паспорту специальности «Физика конденсированного состояния» (1.3.8) и отвечает требованиям «Положения о присвоении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор - Астафьев Олег Владимирович, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 - «Физика конденсированного состояния».

Я, Панкратов Андрей Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.136.01 (Д 002.100.02), и их дальнейшую обработку.

Ведущий научный сотрудник
отдела терагерцовой спектроскопии
Института физики микроструктур – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук" (ИФМ РАН),

доктор физико-математических наук,  Андрей Леонидович Панкратов

«06» марта 2024 г.

Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	01.04.03 - радиофизика; 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах
--	--

Адрес: ул. Академическая, д.7, д. Афонино, 603087, Нижегородская обл., Кстовский район, Россия

Телефон (моб.): +7 905 191-32-23

Адрес электронной почты: alp@ipmras.ru

Подпись Панкратова Андрея Леонидовича заверяю

Ученый секретарь ИФМ РАН

к.ф.-м.н.



Д.М. Гапонова