

## **Отзыв официального оппонента Ненашева Алексея Владимировича**

на диссертационную работу Чуйкина Олега Александровича  
«Квантовая оптика искусственных атомов в гибридных твердотельных  
наноструктурах», представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика»

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертация Чуйкина О. А. посвящена исследованию квантовой оптики твердотельных мезоскопических наноструктур. В настоящее время разработка различных видов искусственных атомов на базе сверхпроводниковых и полупроводниковых микро- и нанотехнологий имеет большое фундаментальное и прикладное значение. Подобного рода структуры широко используются для создания и проектирования различных квантово-информационных технологий, таких как квантовые компьютеры, системы квантовой криптографии и коммуникации, квантовые сенсоры и т. д. Более того, искусственные атомы позволяют изучать физические эффекты, недоступные естественным атомам за счет крайне гибких возможностей управления их параметрами и характеристиками. Таким образом, теоретическое изучение различных квантово-оптических эффектов, появляющихся в данных наноструктурах, имеет не только перспективы практического применения в квантовых технологиях передачи и обработки информации, но и может углубить наше понимание фундаментальных принципов квантовой физики взаимодействия излучения с веществом. Следовательно, актуальность темы диссертации Чуйкина О. А. не вызывает сомнений.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертационная работа включает введение, три главы, заключение, два приложения и библиографический список. Ее общий объем составляет 144 страницы, содержащие 33 иллюстрации и одну таблицу. Библиография насчитывает 139 наименований.

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертации, формулируются цель исследования, научная новизна и выносимые на защиту положения. Также показана теоретическая и практическая значимость работы, представлены сведения об апробации полученных результатов и об опубликованных по теме работах.

Первая глава посвящена задаче о спонтанном распаде системы двух искусственных атомов, помещённых в одномерный волновод. Было получено аналитическое решение для спектральных и динамических характеристик указанной системы. На основе этих результатов теоретически обоснованы эффекты ускоренного и замедленного распада (сверх- и суб-излучение), существование которых известно из экспериментальных работ. Кроме того, предложен способ реконструкции неизвестного запутанного состояния в подобной двухатомной системе.

Во второй главе рассматривается динамическая теория рассеяния фотонного импульса на цепочке двухуровневых систем, расположенной в копланарном открытом

волноводе. Расчёты спектров прошедшего и отражённого излучения выполнены без применения широко используемого приближения, предполагающего продление частоты в отрицательную область. Показано, что полученные результаты имеют два существенных отличия от других известных моделей: во-первых, возникает дополнительный частотный сдвиг; во-вторых, наблюдается зависимость спектральных характеристик от начального положения падающего импульса.

Третья глава посвящена рассеянию фотонного импульса на одиночном возбуждённом искусственном атоме. Показано, что по сравнению со случаем рассеяния на невозбуждённом атоме вероятность отражения фотона существенно снижается, из чего делается предположение о возможном использовании этого эффекта для определения состояния атома. Также в данной задаче обнаружены явные признаки вынужденного излучения, а также выявлен эффект пространственной группировки испущенных фотонов.

В заключении подводятся основные итоги полученных в ходе исследования результатов.

#### **Практическая и научная значимость**

Из основных результатов диссертационной работы можно выделить следующие:

- Получено аналитическое выражение для спектра спонтанного излучения системы из двух искусственных атомов в волноводе, теоретически описывающее известное из экспериментальных работ возникновение сверх- и суб-излучения.

- Разработана методика расчета фотонного транспорта, позволяющая обойти приближение с продлением частоты в отрицательную область, и проведено сравнение результатов с известными приближенными моделями.

- Обнаружен эффект пространственной группировки фотонов, возникающий при падении однофотонного импульса на возбужденный искусственный атом.

Исследованные в диссертации квантовые эффекты и методы описания фотонного транспорта могут применяться в области квантовых информационных технологий, таких как квантовая криптография и коммуникация, а также для реализации квантовых вычислений на базе сверхпроводниковых и твердотельных структур.

**Научная новизна** заключается в получении аналитических решений для ряда задач, связанных с взаимодействием искусственных атомов с фотонами в одномерном волноводе; в предложенном методе реконструкции состояния двухкубитной системы с помощью измерения спектральных характеристик излучения; в создании новой теоретической модели рассеяния фотона на цепочке кубитов; в выявлении эффектов, связанных с вынужденным излучением искусственного атома.

**Достоверность полученных результатов и обоснованность научных положений и выводов** обусловлена использованием адекватных моделей исследуемых физических явлений, применением надёжных методов теоретического анализа и согласием с представленными в научной литературе данными.

#### **По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:**

1) В главе 1 предлагается методика реконструкции начального состояния системы двух кубитов по спектральным характеристикам их излучения. Однако в работе не

приводится оценок, сколько раз нужно повторить приготовление исследуемого состояния, чтобы получить приемлемую точность измерения спектральной мощности излучения на нужных частотах. Кроме того, не обсуждается, как вообще можно измерять спектральные характеристики излучения в гигагерцовом диапазоне в режиме счета отдельных фотонов.

2) В главе 2 рассматривается задача о взаимодействии однофотонного импульса гауссовой формы с системой кубитов, причем в качестве начального условия взят импульс, расположенный настолько близко к кубитам, что гауссово распределение координаты фотона простирается по обе стороны от кубитов. Не обсуждается, однако, как может быть приготовлено такое начальное состояние фотона – ведь прежде, чем попасть в такое состояние, фотон уже провзаимодействует с кубитом, что исказит его первоначальную форму импульса.

3) В работе декларируется, что развитые автором методы можно применять к случаю произвольного числа возбуждений (фотонов и возбужденных состояний искусственных атомов). Однако все результаты, показанные на рисунках, не выходят за рамки подпространства с одним и двумя возбуждениями. Не ясно, почему автор не сделал попытку выйти за пределы случаев одного и двух возбуждений.

4) В работе применяется термин «искусственные атомы», однако по факту все исследования проводились для сверхпроводниковых структур в микроволновых линиях передачи. Несомненно, так называемые сверхпроводящие кубиты являются наиболее известным видом искусственных атомов, однако существуют и другие аналогичные структуры, реализованные, например, на базе полупроводниковых квантовых точек. Можно ли использовать полученные результаты в отношении подобного рода структур? Какие сходства и различия в результатах можно ожидать для квантовых точек?

5) Во всех используемых в диссертации теоретических моделях отсутствует нерадикационное затухание, связанное с релаксацией энергии искусственных атомов или потерей фотонов в волноводе. Насколько оправдано исключение этого вида потерь? Возможно ли его учесть в предлагаемых моделях?

б) Текст диссертации также содержит небольшое количество опечаток, особо не влияющих на понимание смысла проводимых рассуждений.

Эти замечания не снижают общей высокой положительной оценки работы и являются основанием для сомнения в достоверности результатов диссертации и сделанных на их основе выводов.

### **Заключение**

Положения диссертации Чуйкина О. А., выносимые на защиту, обладают несомненной научной новизной. Работа выполнена на высоком научно-исследовательском уровне и является существенным вкладом в развитие квантовой оптики искусственных структур. Основные результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК, и тезисах международных и всероссийских конференций. Автореферат диссертации точно отражает ее содержание и выводы.

Диссертационная работа «Квантовая оптика искусственных атомов в гибридных твердотельных наноструктурах» полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Чуйкин Олег Александрович,

заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

**Официальный оппонент:**

к. ф.-м. н., доцент  
Ненашев Алексей Владимирович,  
старший научный сотрудник лаборатории  
Неравновесных полупроводниковых систем  
ИФП СО РАН

 А. В. Ненашев

Дата 29 мая 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук  
Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13  
Телефон: +7(383)330-90-55  
Почта ИФП СО РАН: [ifp@isp.nsc.ru](mailto:ifp@isp.nsc.ru)  
Официальный сайт: [isp.nsc.ru](http://isp.nsc.ru)

Подпись Ненашева Алексея Владимировича удостоверяю,

ученый секретарь ИФП СО РАН

к. ф.-м. н.



 С. А. Аржанникова

Дата 29 мая 2026 г.