

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Погосова Вальтера Валентиновича  
о диссертационной работе Балыбина Степана Николаевича  
«Динамика взаимодействия и перепутывание атомных систем с квантовыми  
электромагнитными полями», представленной на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертационная работа С. Н. Балыбина посвящена особенностям взаимодействия неклассического света с атомными степенями свободы. Исследование систем, "одетых" квантовыми полями, является актуальной темой в современной квантовой оптике. Несмотря на открытие интересных эффектов, динамика таких систем недостаточно исследована, что ограничивает развитие фундаментальной науки и практических приложений. В последние годы интерес к изучению таких систем растёт, поскольку стало возможным экспериментальное создание различных состояний квантового света. Анализ и теоретическое описание взаимодействия между атомными системами и неклассическими полями является крайне актуальной задачей, которая может привести к созданию новых измерительных устройств и платформ для квантовых операций. Поэтому настоящая диссертационная работа является крайне актуальной и может быть востребована ведущими мировыми научными группами.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объём диссертации составляет 177 страниц и включает в себя 52 рисунка и 1 таблицу. Список литературы содержит 201 библиографическую ссылку.

Во **введении** приведены общие сведения о диссертационной работе, такие как актуальность выбранной темы исследования, цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, выносимые на защиту положения, а также информация о публикациях соискателя и данные об апробации результатов работы.

**Первая глава** представляет собой обзор литературы по теме исследования, в котором обсуждаются работы по неклассическим полям, ионизации атомных систем, влиянию нелинейности и квантовым невозмущающим измерениям. В обзоре подробно рассматриваются методы генерации неклассических состояний поля, свойства волновых функций таких полей и эффекты в области взаимодействия квантового поля с атомными системами. Также обсуждаются методы кодирования и передачи квантовой информации, генерация негауссовских состояний в нелинейных средах и принцип работы схемы по квантовым невозмущающим измерениям.

**Вторая глава** посвящена исследованию взаимодействия атомных систем с квантовым электромагнитным полем в режиме возможной ионизации атома. Рассматривается взаимодействие между модельным ридберговским атомом и малофотонным квантовым электромагнитным полем в условиях перезаселения состояний атома рамановскими переходами. Разработан теоретический подход, основанный на решении нестационарного уравнения

Шредингера, учитывающего атомную и полевою подсистемы, а также взаимодействие между ними. Обнаружено формирование состояния, стабильного относительно процесса ионизации. Также разработаны методы когерентного контроля атомного квантового состояния в результате взаимодействия с неклассическим полем.

**Третья глава** посвящена изучению эффекта нелинейной фазовой самомодуляции и его влиянию на взаимодействие неклассических полей с атомными системами. В первой части главы рассматривается одномодовый свет и его эволюция в керровской среде. Для описания этого процесса используется гамильтониан, который учитывает нелинейность поля. В зависимости от величины нелинейности поля, эволюция поля может проходить в двух режимах: оптическом режиме малых нелинейностей и режиме сильных нелинейностей. В первом случае для эффективного использования нелинейности требуются интенсивные оптические поля, а во втором случае эволюция поля определяется фазовой самомодуляцией. В работе также анализируется поведение квантового ковra, который описывает распределение вероятностей квантового поля по его квадратуре в зависимости от времени. Результаты исследования могут быть полезными для квантовых алгоритмов и взаимодействия таких полей с атомными или полупроводниковыми системами.

**В четвертой главе** диссертации исследуется проблема генерации двумодовых сжатых состояний в открытой квантовой системе с помощью эффекта фазовой кросс-модуляции и квантовых невозмущающих измерений на их основе. Анализируется процесс генерации таких состояний и обобщаются предыдущие теоретические работы в этой области. Для генерации сжатых состояний используются высокочастотные микрорезонаторы с модами шепчущей галереи. Анализируется уравнение Ланжевена для одной моды поля внутри резонатора, и решение производится с помощью преобразования Фурье и стандартной процедуры линеаризации. Далее, анализируются уравнения для двух спутниковых мод резонатора, и рассчитываются степень сжатия и чистота сжатого состояния. Зависимость чистоты состояния от величины сжатия оказывается практически линейной. В результате исследований демонстрируется, что существующие сверхвысокочастотные кристаллические микрорезонаторы могут генерировать сжатый свет в реалистичных экспериментальных условиях. Данные оценки позволяют вернуться к идее квантового неразрушающего измерения числа фотонов через керровскую нелинейность.

**Заключение** содержит сведения об основных результатах работы, библиографический список опубликованных работ автора по теме диссертации и общий список цитируемой литературы.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, в достаточной степени апробирована публикациями в соответствующих исследовательской области научных журналах (в том числе высокорейтинговых) и докладами на конференциях различного уровня. В качестве основных досто-

**инств работы** можно выделить следующие:

- Новизна подхода. Исследование фокусируется на изучении динамики "одетой" неклассическим полем атомной системы, что является новым и мало исследованным направлением в квантовой оптике.
- Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы для разработки методов хранения, обработки и передачи квантовой информации, а также для создания квантовой памяти и квантовых логических элементов.
- Междисциплинарные связи. Работа имеет связи с другими областями физики, такими как квантовая информация, квантовые технологии и оптика, что может привести к развитию новых направлений исследований.
- Возможность экспериментальной проверки. Результаты исследования могут быть проверены экспериментально, что может привести к получению новых результатов и открытий в области физики квантовых систем.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

В то же время к работе имеется ряд замечаний:

- В литературном обзоре не хватает ссылок на ставшие уже классическими работы по взаимодействию неклассического света с веществом, опубликованные в 1980-е и 1990-е годы К. Гардинером. В этой связи, к недостаткам работы можно отнести отсутствие обсуждения новизны результатов, полученных автором, по сравнению с упомянутыми работами;
- В диссертации неоднократно встречается выражение «сильная связь». Стоило бы в самом начале пояснить, что имеется в виду, поскольку в квантовой оптике имеются различные понимания данного выражения.
- На странице 37 диссертации в формуле (2.5) фигурирует начальное состояние атома в виде определенной суперпозиции. Почему выбрано такое состояние и как его приготовить?
- На этой же 37 странице используется процедура адиабатического исключения континуума. Следовало бы более подробно описать эту процедуру или хотя бы пояснить, является ли она точной.
- Текст диссертации содержит довольно многочисленные стилистические неточности.

В указанных замечаниях автору предлагаются рекомендации для улучшения изложения материала, при этом не подвергаются сомнению научная ценность проведенных исследований. Автор получил новые интересные результаты, которые заметно расширили знания в соответствующей области, что оправдывает высокую оценку диссертации.

Общее впечатление о диссертационной работе С. Н. Балыбина положительное. Считаю, что диссертация «Динамика взаимодействия и перепутывание атомных систем с квантовыми электромагнитными полями» соответствует специальности 1.3.6. «Оптика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Балыбин Степан Николаевич — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
начальник лаборатории физики микро- и наноструктур  
Федерального государственного унитарного предприятия  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
автоматики имени Н.Л. Духова» (ВНИИА)

Погосов Вальтер Валентинович

«5» июня 2024 г.

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена докторская диссертация:  
01.04.02 — «Теоретическая физика»

Адрес места работы:  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им.  
Н.Л. Духова» (ВНИИА), 127055, Москва, ул. Сущевская, д. 22

Телефон: +7 (499) 978-78-03; e-mail: vniia@vniia.ru

«Подпись Погосова Вальтера Валентиновича ЗАВЕРЯЮ»:

Ученый секретарь НТС ФГУП ВНИИА,  
кандидат технических наук

Л.В. Феоктистова