

«УТВЕРЖДАЮ»

ВРИО Директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Физико-технологического института Российской академии наук

Член-корр. РАН, д. ф.-м. н.

Лукичев В. Ф.



« 11 » 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Шараповой Полины Родионовны «Квантовые корреляции и перепутывание в неклассических состояниях света и атомных системах, взаимодействующих с ними», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Диссертационная работа Шараповой П. Р. посвящена исследованию неклассических состояний света и взаимодействующих с ними атомов.

Целью работы является теоретическое исследование пространственных корреляционных свойств ярких «сжатых» состояний света, а также анализ динамики атомных систем и перепутанности между атомом и полем в процессе взаимодействия ридберговских атомов с неклассическим светом.

Актуальность темы диссертации обусловлена, тем, что яркие неклассические состояния света представляют большой интерес, как с точки зрения фундаментальных исследований, так и для различных практических приложений в задачах квантовой информатики и квантовой метрологии.

Научная новизна диссертационной работы Шараповой П. Р. заключается в том, что ею впервые разработана аналитическая теория для описания пространственных корреляционных свойств сжатых состояний света, генерируемых в процессе параметрического рассеяния света. На основе разработанной теории были впервые предсказаны и описаны следующие эффекты:

1. Резкое возрастание ширины пространственных корреляций фотонов и сужение углового распределения нелинейного параметрического сигнала при увеличении коэффициента параметрического усиления, возникающее за счет

- уменьшения количества мод Шмидта, формирующих генерируемое сжатое состояние;
2. Эффективное выделение одной пространственной моды Шмидта в схеме из двух симметрично расположенных кристаллов с варьируемым расстоянием между ними;
 3. Генерация одномодовых пучков-близнецов за счет гигантского усиления вдоль направления сноса.

Кроме того, впервые исследована динамика ионизации ридберговского атома при его взаимодействии со светом в фоковом состоянии и в состоянии сжатого вакуума, обнаружен эффект стабилизации, а также высокая степень перепутанности между атомом и полем.

Научная ценность и практическая значимость диссертационной работы состоит в возможном использовании полученных результатов для разработки новых теоретических подходов к проблеме корреляций и перепутывания в составных квантовых системах, выявления новых методов управления модовой структурой ярких «сжатых» состояний, а также обнаружения новых эффектов в процессе взаимодействия неклассического «сжатого» света с атомными системами. С практической точки зрения, полученные результаты могут быть использованы в задачах квантовой информатики (среди которых стоит выделить задачи реализации квантовой памяти и квантовых симуляторов) и в ряде задач квантовой метрологии.

Обоснованность и достоверность полученных результатов определяется совпадением найденных решений с известными асимптотическими пределами, а также хорошим согласием ряда полученных результатов с экспериментальными данными. Результаты работы многократно обсуждались на различных семинарах и докладывались на специализированных конференциях по проблемам, связанным с тематикой диссертационной работы. Основные результаты опубликованы в ведущих российских и международных журналах.

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, двух оригинальных глав и заключения. **Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, приведены основные защищаемые положения, отмечена новизна работы, научная и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе представлен литературный обзор, в котором рассматриваются различные теоретические подходы и методы описания пространственно-частотных корреляций сжатых состояний света, а также обсуждаются известные особенности взаимодействия сильных классических

полей с атомными системами, наблюдение которых в случае квантового поля представляет большой интерес.

Во второй главе исследуются пространственные свойства и корреляции яркого сжатого вакуума. Описывается оригинальный метод расчета модовой структуры яркого «сжатого» вакуума, генерируемого в процессе параметрического рассеяния света. Метод основан на разложении амплитуды бифотона по модам Шмидта и введении интегральных операторов рождения и уничтожения для этих мод. Это позволяет провести диагонализацию гамильтониана, описывающего процесс параметрического усиления. В результате можно получить аналитическое выражение для этих операторов на выходе из нелинейного кристалла. Обратный переход к плосковолновым модам позволяет рассчитать как угловой спектр параметрического излучения, так и его корреляционные характеристики.

На основе разработанного метода анализируются корреляционные характеристики параметрической свертлюминесценции в различных экспериментальных схемах, включая нелинейный интерферометр с двумя нелинейными кристаллами и использование методов пространственной фильтрации излучения. Проведенный анализ позволил разработать метод генерации яркого сжатого вакуума в одной пространственной моде, метод полной компенсации эффекта сноса и метод генерации двух одномодовых пучков-близнецов за счет нескомпенсированного эффекта сноса.

Все расчеты, проведенные в этой главе, согласуются с экспериментальными данными, полученными группой М. В. Чеховой (институт Макса Планка, г. Эрланген, Германия).

В третьей главе теоретически исследуется взаимодействие ридберговского атома с неклассическим светом, а именно, с полем в состоянии сжатого вакуума, с квантованным полем в когерентном состоянии с малым средним числом фотонов и с фоковскими состояниями света на примере однофотонного состояния. Анализируются условия возникновения интерференционной стабилизации атома и динамика перепутывания атома и поля. Задача решается для V- и Λ -схем в терминах квазиэнергетических волновых функций. В результате было показано, что при взаимодействии со сжатым вакуумом атом стабилизируется уже при невысоком среднем числе фотонов. При этом обнаружена высокая степень перепутанности между атомной и полевой подсистемами, сохраняющаяся даже на больших временах. При взаимодействии ридберговского атома с однофотонным состоянием показана возможность управления стабилизацией атома и создание стабильного состояния с высокой степенью перепутанности. Кроме того, в данной главе рассматривается динамика атома, приготовленного

изначально в смешанном состоянии, при его взаимодействии с классическим полем. Показано, что в таком процессе наводится когерентность и увеличивается степень «чистоты» атомного состояния, продемонстрирована возможность анализа исходного смешанного состояния посредством измерения вероятности ионизации или вероятности остаточной атомной заселенности по окончании взаимодействия.

В заключении подводятся итоги исследования, формулируются основные результаты и выводы.

Диссертация Шараповой П.Р. вносит существенный вклад в развитие методов исследования сложных перепутанных квантовых систем. В диссертации получен ряд важных результатов, среди которых можно выделить генерацию пространственно узких пучков-близнецов за счет гигантского усиления вдоль направления пространственного сноса. Стоит также отметить предложенные в диссертации методы создания сильно перепутанных атомно-полевых состояний.

Результаты диссертации могут быть использованы в университетах Москвы, Санкт–Петербурга, Новосибирска и Казани, а также в таких научных институтах как Физико-технологический институт РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН и Казанский Физико-технический институт им. Е. К. Завойского РАН.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В литературном обзоре следует более четко обосновать декларируемые автором преимущества использования ярких сжатых состояний света для средств квантовой криптографии по сравнению с бифотонными парами и привести соответствующие ссылки.
2. В разделе 2.4. исследуется зависимость свойств сжатого вакуума от расстояния между кристаллами. В эксперименте один из кристаллов перемещается на 18 см, что соизмеримо с длиной Рэлея для лазера накачки, которая составляет при указанных параметрах 35 см. Вместе с тем при расчете используется приближение постоянного диаметра накачки, что не совсем корректно.
3. В Главе 3 рассматривается взаимодействие ридберговского атома с неклассическим полем, рассматривается перепутанность такой системы и исследуется отдельно изменение состояния атома. При этом исследование состояния поля, например, изучение его квадратурных распределений, не было проведено, хотя это кажется логичным, учитывая акцент работы именно на неклассические состояния света.

4. На с. 80 вводится безразмерная полевая координата q , однако, каким именно образом она вводится не уточнено, хотя существует несколько различных способов введения обобщенных координат поля.

Однако все перечисленные замечания не носят принципиального характера и не снижают общий уровень работы. В целом, диссертация Шараповой П. Р. является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научном уровне и содержит интересные и важные результаты по фундаментальным и прикладным проблемам квантовой оптики, квантовой информатики и атомной физики.

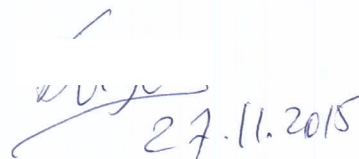
Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

Диссертация Шараповой Полины Родионовны «Квантовые корреляции и перепутывание в неклассических состояниях света и атомных системах, взаимодействующих с ними» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Шарапова П.Р., безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Диссертационная работа Шараповой П. Р. обсуждена и одобрена на научном семинаре «Квантовые компьютеры» в Физико-технологическом институте РАН 17 сентября 2015 года.

Отзыв составил

Доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией физики
квантовых компьютеров ФТИАН

 Ю.И. Богданов
27.11.2015

ФГБУН Физико-технологический институт РАН:
117218, Россия, Москва, Нахимовский проспект, 36/1.
Телефон: +7 (499) 129-00-46.