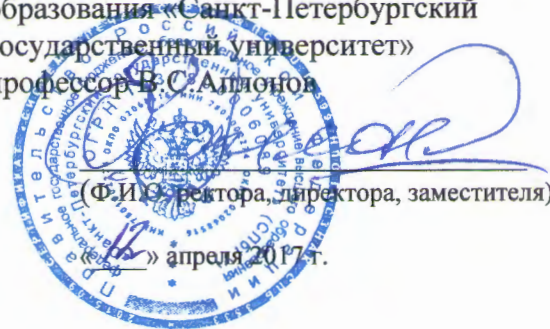


«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Санкт-Петербургский
государственный университет»
профессор В.С. Аллонов



(Ф.И.О. ректора, директора, заместителя)

«...» апреля 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертации
Боброва Ивана Борисовича
на тему «**Пространственные корреляции в бифотонных и классических полях**»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.21- лазерная физика

Актуальность темы диссертации:

Благодаря бурному развитию классических телекоммуникационных и квантовых информационных технологий, на протяжении последнего десятилетия возрос интерес к высокоразмерным оптическим системам как квантовой, так и классической природы. Увеличение размерности систем-переносчиков информации позволяет повысить скорость передачи данных, или, в случае обмена через протокол квантовой связи – увеличить дальность секретной связи. Современные протоколы передачи информации через одномодовые оптические волокна практически достигли теоретической пропускной способности при использовании поляризационно-фазового кодирования с последующим спектральным уплотнением сигнала. Одним из возможных путей для увеличения пропускной способности волоконных линий связи может служить применение пространственных поперечных мод, распространяющихся по многомодовым волокнам. В диссертационной работе Боброва И.Б. изучаются пространственные многомерные системы как квантовой, так и классической природы. Для генерации квантовых бифотонных полей использован процесс спонтанного параметрического рассеяния (СПР). Несмотря на то, что частотно-угловой спектр спонтанного параметрического рассеяния всесторонне исследован как в экспериментальных, так и в теоретических работах особый интерес представляет изучение разложения Шмидта для углового спектра бифотонного поля СПР. Интерес вызван главным образом тем, что при работе в шмидтовском базисе возможно получение чистых многомерных квантовых состояний, при этом эффективность генерации данных состояний сравнима с полной эффективностью генерации бифотонных пар процесса спонтанного параметрического рассеяния. Пространственные корреляции в бифотонных и классических полях актуальны не только в задачах связи. В настоящее время они также находят широкое применение при построении биологических квантовых сенсоров, в задачах метрологии и квантовой литографии.

Структура и содержание диссертации

Кандидатская работа содержит 97 страниц текста, включает в себя 57 рисунков и состоит из Введения, 4 глав, Заключение и Списка литературы, включающего 93 наименования. Обзор литературы распределен по главам.

Во введении раскрыта актуальность тематики диссертационного исследования, сформулирована основная цель, подчеркнута новизна полученных результатов, а также изложена их теоретическая и практическая значимость. Приведены положения, выносимые на защиту, подчеркнута достоверность результатов и проиллюстрирована их апробация.

Глава1 посвящена экспериментальному исследованию пространственных корреляций, возникающих в угловом спектре бифотонного поля. Генерация бифотонного поля осуществляется в процессе спонтанного параметрического рассеяния (СПР). В отличие от широко изученных корреляций, присущих частотно-угловому спектру процесса СПР, в первой главе анализируются межмодовые корреляции в базисе пространственных мод Шмидта. При этом частотная мода исследуемого поля является фиксированной. Показано, что в исследуемом случае собственными модами исследуемого источника являются поперечные пространственные моды Эрмита-Гаусса. Проекционные измерения в выбранном базисе реализуются с использованием метода управляемых фазовых голограмм. В первой главе демонстрируется, что при определенных параметрах экспериментальной установки пространственные моды Шмидта генерируемого бифотонного поля близки к классическим пространственным поперечным модам Эрмита-Гаусса для электромагнитного поля свободном пространстве. Производится анализ спектра пространственных мод бифотонного поля с применением методов самокалибрующей томографии, что дает возможность восстановить собственные значения исследуемого разложения Шмидта, а также одновременно оценить экспериментальные погрешности выполняемых проекционных измерений.

Глава2 посвящена изучению пространственных корреляций в поле квазитеплового источника. Теория, предсказывающая соответствующие межмодовые корреляции, предложена еще на заре квантовой оптики, однако экспериментальное исследование спектра пространственных корреляций выполнено впервые в представленной диссертационной работе. В диссертации проводится аналитический расчет корреляционной функции второго порядка по интенсивности с учетом передаточных функций оптических элементов, используемых в экспериментальной установке, производится подробный анализ экспериментальных ошибок. В заключение второй главы сделан вывод о качественном согласии между разложением корреляционной функции первого порядка по пространственным модам для квазитеплового источника и разложением коррелятора второго порядка по пространственным модам Шмидта для случая бифотонного поля, исследуемого в первой главе.

Глава3 посвящена экспериментальному анализу отклика детектора пространственных мод. В главе рассматриваются детекторы, работающие на принципе управляемых фазовых голограмм, исследуются основные типы голограмм, анализируются их достоинства и недостатки. Предложен оригинальный подход для калибровки детектора пространственных мод. Особенностью подхода является представление детектора в качестве абстрактного неидеального проектора, внутренняя структура которого неизвестна. Кроме того, предлагаемый подход позволяет восстановить отклик детектора пространственных мод на заданную входную пространственную моду (в главе рассматриваются только моды Эрмита-Гаусса) без необходимости приготовления данной входной моды. Вместо приготовления входных мод Эрмита-Гаусса высокого порядка предлагается использовать на входе детектора смещенные гауссовы распределения интенсивности, по отклику на которые можно восстановить матрицу исследуемого детектора.

Глава4 посвящена экспериментальному изучению двухфотонной интерференции от двух источников в схеме Юнга при использовании различных бифотонных состояний на входе интерферометра Юнга. Особенностью реализованной в диссертации экспериментальной установки является возможность плавной перестройки квантового состояния от состояния $(|2,0\rangle + |0,2\rangle)$ до состояния $|1,1\rangle$, где обозначение $|m,n\rangle$ соответствует тому, что m фотонов направляются на пер-

вый источник схемы Юнга, а n – на второй. В главе продемонстрировано явление сверхразрешения – двукратное уменьшение периода интерференционной картины по сравнению с классической интерференционной зависимостью при фиксированных параметрах установки. Также продемонстрирована устойчивость квантового интерференционного распределения при внесении дополнительной фазы в один из источников схемы Юнга, при использовании входного состояния $|1,1\rangle$ на входе схемы.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Все результаты, полученные в диссертации, являются новыми. Достоверность и обоснованность результатов подтверждается высоким уровнем проведенных экспериментов, а также публикациями результатов в ведущих физических журналах. Основное содержание диссертации опубликовано в 5-ти статьях в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

В диссертации присутствует множество оригинальных экспериментальных результатов, в качестве основных можно отметить следующие:

Впервые исследованы пространственные корреляционные свойства углового спектра бифотонного поля в базисе мод Эрмита-Гаусса с применением методов самокалибрующейся томографии.

Впервые изучены пространственные корреляционные зависимости в базисе мод Эрмита-Гаусса для квазитеплого источника излучения.

Разработан и опробован оригинальный метод калибровки детектора пространственных мод, использующий базис смещенных входных гауссовых состояний, при восстановлении отклика детектора в несмещенном базисе.

Впервые продемонстрирована устойчивость квантовой интерференционной картины для входного состояния $|1,1\rangle$ при внесении дополнительной фазовой задержки в один из источников интерферометра Юнга.

Замечания и недостатки в диссертации и автореферате

1) Обсуждая проблему сверхразрешения оптических изображений (например, на стр. 9 и на стр. 80), следовало бы упомянуть работы, лежащие в основе данного направления, в частности, статью M.Kolobov, C.Fabre, Phys. Rev. Lett. 85, 3789 (2000).

2) Не смотря на то, что в работе исследуются исключительно пространственные корреляции полей, следовало бы указать явно временные параметры исследуемых сигналов, поскольку соотношение этих параметров влияет на применимость используемых предположений.

3) В качестве рекомендации к дальнейшему исследованию, было бы интересно сравнить пространственную структуру собственных мод бифотонных полей, исследованную в работе, с их временной модовой структурой (также представимой набором функций Эрмита-Гаусса), а также модифицировать модовое разложение с учетом распространения света в схеме с ограниченной апертурой.

Значимость результатов для науки и производства

Результаты диссертационного исследования могут найти практическое применение при построении высокоскоростных телекоммуникационных систем, использующих кодирование на пространственных поперечных модах светового поля, также использованы в системах квантовой криптографии. Полученные результаты по исследованию корреляций в пространственном спектре тепловых источников и квантовых корреляций в схеме Юнга могут быть применены для построения «скрытых» объектов различной природы в задачах метрологии и спектроскопии.

Заключение по работе

Диссертационная работа Боброва Ивана Борисовича «Пространственные корреляции в бифотонных и классических полях», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является завершенной научно-квалификационной работой.

Автореферат соответствует тексту рукописи и в полной мере отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в открытой печати и доложены в выступлениях на российских и международных конференциях.

На основании вышеизложенного считаем, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Результаты исследования доложены диссертантом на научном семинаре Лаборатории квантовой оптики кафедры Общей физики-1 Санкт-Петербургского государственного университета 07 апреля 2017 года.

Отзыв подготовлен профессором кафедры Общей физики-1 СПбГУ, доктором физико-математических наук Голубевой Татьяной Юрьевной.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры Общей физики-1 Санкт-Петербургского государственного университета (протокол № 3 от 11 апреля 2017 года).

Отзыв составила
профессор кафедры Общей физики-1

Голубева Татьяна Юрьевна

подпись Т. Ю. Голубевой заверяю

Личную подпись заверяю
начальник отдела кадров
Н. И. Маштека

Заведующий кафедрой Общей физики-1,
д.ф.-м.н., профессор

Машек Игорь Чеславович

подпись И. Ч. Машека заверяю

Личную подпись заверяю
начальник отдела кадров
Н. И. Маштека

Сведения о ведущей организации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»
Университетская наб., 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034
тел.: +7 (812) 328-20-00, <http://spbu.ru>
e-mail: spbu@spbu.ru