

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Авосопянца Гранта Владимировича «Квантово-оптические эффекты и устройства с использованием тепловых состояний света», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Г. В. Авосопянца посвящена исследованию преобразования тепловых состояний света линейно-оптическими многоканальными интерферометрами и операторами отщепления фотонов.

В настоящее время перспективной и всё более популярной платформой для квантовых вычислений становятся линейно-оптические интегральные схемы – универсальные вычислители, способные работать как в классическом, так и в квантовом режимах». Создание таких оптических программируемых элементов, является актуальной задачей. Кроме того, важной теоретической задачей становится умение найти то математическое преобразование, которое выполняет чип. В общем случае преобразование определяется комплексной передаточной матрицей, поиск параметров которой становится важной задачей.

Интегральные схемы являются, в частности, идеальным квантовым симулятором, выполняющим задачу «сэмплинга бозонов» (boson sampling). Для полноценного использования данной платформы необходимо с высокой точностью определять параметры квантового чипа с учетом неидеальностей экспериментального оборудования. Проведённые исследования позволили применить ряд свойств тепловых полей для разработки нового метода высокоточной характеристики передаточной матрицы линейно-оптической интегральной схемы посредством корреляционных измерений. С другой стороны, процесс отщепления фотона от теплового состояния является довольно интересным, в частности, среднее число фотонов в тепловом состоянии с отщеплением одного фотона увеличивается вдвое. Это позволяет использовать такие состояния для задач квантовой метрологии, так как итоговые состояния имеют большее значение отношения сигнал-шум, что в свою очередь позволяет увеличить чувствительность тепловой интерферометрии. Более того, возникает задача восстановления параметров теплового состояния с отщеплением заданного числа фотонов с высокой точностью. В рамках диссертационной работы была представлена методика отщепления 10 фотонов от теплового состояния с использованием одного однофотонного детектора на основе лавинного фотодиода и представлена новая модель распределения по числу фотонов для подсистемы многомодового теплового состояния с отщеплением фотонов. Проведенные исследования, безусловно, определяют **актуальность** диссертационной работы, как с научной, так и с практической точки зрения.

Диссертация Г. В. Авосопянца состоит из введения, четырёх глав и заключения.

Во введении обосновывается выбор темы диссертационной работы и её актуальность, формулируются цели работы, приводятся выносимые на защиту положения, даны данные по апробации вошедших в диссертацию результатов, описывается структура диссертации.

В первой главе приводится подробный обзор литературных источников, связанных с экспериментальной реализацией операторов рождения и уничтожения фотонов, методах

восстановления оптических квантовых состояний, а также применения тепловых состояний и тепловых состояний с отщеплением фотонов. Рассматриваются конкретные схемы на основе светоделителя с малым коэффициентом отражения и эффекте спонтанного параметрического рассеяния света. Показаны теоретические и экспериментальные методы измерения и восстановления оптических квантовых состояний. Обсуждается способ анализа распределения вероятностей по числу фотонов с использованием аппарата производящих функций. Представлены эффекты на тепловых состояниях света с отщеплением фотонов, а также оригинальный эффект квантового вампира. Подробно рассмотрены характеристики квантовых процессов на чипе и возможные линейно-оптические квантовые вычисления. Отдельно рассматриваются линейно-оптические интегральные схемы, модели линейно-оптических квантовых вычислений и современные способы характеристики передаточной матрицы квантового чипа.

Вторая глава посвящена приготовлению, измерению и восстановлению тепловых состояний с отщеплением 10 фотонов с использованием единственного однофотонного детектора на основе лавинного фотодиода. Изучено влияние линейных потерь на процесс гауссификации тепловых состояний света с отщеплением фотонов. Экспериментально и теоретически показана возможность реализации эффекта квантового вампира на тепловых состояниях света. Предложенная математическая модель позволила с высокой точностью восстановить приготовленные состояния света. Показано, что описание диссипации среды может быть проведено с использованием модели компаунд-распределения Пуассона, применимой также для исследования гауссификации тепловых состояний света с отщеплением фотонов под действием линейных потерь в оптической системе. Экспериментально продемонстрирован эффект «квантового вампира» в двухмодовом и многомодовом режимах на классических тепловых состояниях света, при этом было показано, что этого не требуются квантовые состояния на входе, а достаточно использовать состояния, имеющие корреляции по числу фотонов.

В третьей главе представлено новое распределение по числу фотонов для подсистемы многомодового теплового состояния с отщеплением заданного числа фотонов. Восстановление параметров экспериментально приготовленного состояния выполнялось с использованием метода Байеса ввиду мультиколлинеарности параметров распределения.

Четвертая глава посвящена разработке и экспериментальной апробации метода характеристики передаточной матрицы линейно-оптической интегральной схемы посредством корреляционных измерений тепловых полей.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

К наиболее **важным и значимым результатам**, определяющими научную новизну и оригинальность диссертационной работы Г. В. Авосопянца, на мой взгляд, можно отнести следующие результаты.

1. Представлен способ приготовления тепловых состояний света с отщеплением заданного количества фотонов с использованием единственного однофотонного детектора. Предложенная модель на основе компаунд-распределения Пуассона позволила выполнить высокоточную томографию квантового состояния за счёт

оценки двух параметров распределения, вместо восстановления всех элементов матрицы плотности.

2. Эффект квантового вампира не требует перепутанности и может быть реализован на классических тепловых состояниях за счёт корреляций. Этот факт был показан в работе теоретически и проверен в двух экспериментах: в двухмодовом и многомодовом режимах.

3. Представлено новое распределение по числу фотонов на основе свертки компаунд-распределения Пуассона и распределения Пойа для подсистемы многомодового теплового состояния с отщеплением заданного количества фотонов.

4. Разработан метод характеристики передаточной матрицы многоканального интерферометра посредством корреляционных измерений тепловых полей. Отдельно стоит заметить, что изначальная вариация метода не оправдала себя в реальном эксперименте и потребовала доработки.

Практическая значимость экспериментальных и численных результатов, полученных в ходе исследования преобразования тепловых состояний света линейно-оптическими многоканальными интерферометрами и операторами отщепления фотонов, заключается в возможности более точного приготовления, измерения и восстановления оптических квантовых состояний, а также в возможности высокоточного контроля параметров квантового чипа с учётом неидеальностей экспериментального оборудования.

Следует отметить комплексный подход к проведенным автором исследованиям. Авосопянц Г.В. принимал участие в постановке задач исследования, в проведении теоретических расчетов по задачам диссертации, проведении оригинальных экспериментальных работы с использованием уникальных установок и современного оборудования. Использование широкого спектра методов исследований позволило решить несколько принципиальных задач в области фундаментальной и прикладной квантовой оптики.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В работе не обсуждается оценка предельной яркости источника, неизвестно где находится верхний предел яркости источника, для которого экспериментальная одноканальная схема еще работает, поскольку если в **bin-time** попадает много фотонов, то мы ничего не можем сказать о количестве пришедших фотонов, а соответственно и автокорреляционная функция не восстанавливается.

2. Несколько не ясна общая постановка эксперимента. А именно, ключевую роль в процедуре «отщепления фотонов» играет делительная пластина. В диссертации практически не обсуждается ее роль. Каковы экспериментальные параметры схемы, а именно что из себя представляет делительная пластинка (это просветлённая, не просветленная), мешают ли интерференционные эффекты, возникающие на такой тонкой пластинке.

3. Одним из интересных результатов диссертации является экспериментальная реализация эффекта квантового вампира на тепловых состояниях света в многомодовом режиме. Было бы полезно обсудить более подробно, каким образом меняется статистика фотонов при работе в многомодовом режиме.

4. Текст диссертации изобилует специфическими терминами и определениями, которые требуют более подробного описания.

Указанные замечания и недостатки не затрагивают основных выводов работы и положений, выносимых на защиту, не снижают общей положительной оценки диссертации. Научные положения, выносимые на защиту Г. В. Авосопянцем, а также выводы, сформулированные в диссертации, являются обоснованными, достоверными и новыми. Достоверность полученных результатов и научных положений определяется, как высоким уровнем владения экспериментальных методов, так и использованием необходимых теоретических моделей, согласием экспериментальных данных с аналитическими и численными расчётами.

Результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых международных научных журналах (Physical Review A, Optics Letters, Optica, Laser Physics Letters), а также представлены на многочисленных российских и международных конференциях. В целом, представленная к защите диссертация выполнена на высоком научном уровне.

Таким образом, диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам) и критериям, определенным пп. 2.1- 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание. Таким образом, соискатель Авосопянец Грант Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Официальный оппонент,

Наумов Андрей Витальевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика, профессор РАН, заведующий отделом спектроскопии конденсированных сред, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН).

Тел.: +7 (495) 851-02-36

E-mail: naumov@isan.troitsk.ru

 А. В. Наумов

« 7 » декабря 2021 г.

142190, г. Москва, г.Троицк, ул. Физическая, 5, Институт спектроскопии РАН

Тел.: +7 (495) 851-02-36

E-mail: naumov@isan.troitsk.ru

Подпись д.ф.-м.н., профессора РАН А. В. Наумова заверяю

 Ученой секретарь 