

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт спектроскопии
Российской академии наук



профессор Задков Виктор Николаевич

Иванов 2016 г.

15 11/2016

Отзыв ведущей организации

на диссертацию Федорова Ильи Алексеевича «Нелокальное управление квантовым состоянием света», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Диссертационная работа посвящена исследованию нелокальных свойств распределённых состояний света и разработке на их основе методов управления соответствующими квантовыми состояниями.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Текст изложен на 107 страницах, содержит 47 рисунков, 204 формулы, 1 таблицу и 179 библиографических ссылок. Текст диссертации изложен на понятном и грамотном языке, его структура представляется логически последовательной и целостной.

Во введении представлен исторический контекст данной области исследований, очерчены основные направления её современного развития, представлен обзор литературы по тематике исследования. Адекватно обоснована актуальность и научная значимость темы работы, формулируется цель и задачи исследования, описана структура основного текста.

В первой главе теоретически предсказан и экспериментально подтверждён эффект действия на расстоянии, возникающий при уничтожении фотона в части распределённого, неклассического состояния света. В результате этого эффекта, фотон исчезает из всего распределённого состояния света, и не приводит к возмущению структуры оптической моды. Явление является общим для всех бозонных систем и представляет интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Вторая часть работы посвящена задаче усиления запутанности двухмодово-запутанного состояния света; её решение открывает возможность установления квантовой запутанности между сколь угодно удалёнными узлами, и может быть использовано для создания канала квантово-безопасной связи, проведению измерений повышенной точности, и др. Подход к решению этой задачи, предложенный в работе Федорова И.А., основан на явлении бесшумового усиления света, и представляет собой протокол выбора

сильно-запутанного под-ансамбля оптических состояний из слабо-запутанного ансамбля. С помощью этого метода, экспериментально продемонстрировано восстановление запутанности до исходного уровня после того, как одна из частей запутанной оптической системы претерпела потери различной величины.

В третьей части работы описывается метод характеристики многомодового квантово-оптического процесса; решение этой задачи необходимо для создания многокомпонентных квантовых устройств по обработке квантовой информации – квантовых вычислительных машин. Решение, предложенное Федоровым И.А., позволяет характеризовать неизвестный квантово-механический процесс – чёрный ящик – с помощью анализа его отклика на набор когерентных состояний света, не имея априорных знаний о его устройстве. Метод продемонстрирован на примере хорошо известного процесса светоделения, являющегося незаменимым элементом квантово-оптических схем.

В четвёртой главе изложена методическая часть работы, что способствует систематизации материала. Глава представляет собой тщательно проработанный методический фундамент, имеющий ценность для дальнейшего развития исследований в данном направлении.

В заключении перечислены основные результаты работы в форме защищаемых положений.

Актуальность темы обусловлена перспективностью света как физической платформы для квантовых информационных технологий. Концепция нелокального управления выгодно отличается от других подходов к управлению квантовым состоянием света простотой практической реализации, и широко применяется для синтеза и манипуляции квантовыми состояниями света. Расширение инструментария квантовых протоколов нелокального управления состоянием световых пучков необходимо для дальнейшего развития как квантово-оптических, так и квантово-информационных технологий в целом.

В качестве наиболее ярких новых научных результатов работы можно выделить следующие:

1. Теоретически предсказан оригинальный, нелокальный эффект операции уничтожения фотона в части светового пучка. Экспериментально продемонстрировано, что энергия в результате извлекается из всего пучка, так что его структура не возмущается. Эффект может быть использован как инструмент инженерии квантового состояния бозонных систем. В частности, эффект позволяет производить одну из важнейших операций, применяемых при создании и манипуляции квантовыми состояниями света – вычитание фотона – удалённо, либо не имея полной информации о структуре целевой моды света.
2. Разработана методика вероятностного повышения уровня квантовой запутанности слабо-запутанного двумодового состояния света Эйнштейна-Подольского-Розена.

- Впервые в эксперименте удалось восстановить уровень запутанности до исходного после того, как состояние испытало 20-ти кратное оптическое ослабление. Разработанная методика позволяет преодолеть одно из основных препятствий на пути развития практических квантово-оптических технологий – разрушение квантовой запутанности двухмодового состояния света вследствие оптических потерь. Преодоление детерминистического предела является важным шагом к созданию квантового повторителя – устройства, необходимого для установления запутанной связи между узлами, находящимися на большом удалении друг от друга.
3. Впервые выполнена экспериментальная характеристика процесса симметричного светоделения в фоковском базисе. В отличие от существующих методов, разработанная техника не требует наличия априорных знаний об устройстве процесса, не требует приготовления сложных пробных состояний, и позволяет масштабирование задачи до произвольного числа мод и произвольного размера изучаемой области оптического Гильбертова пространства. Разработанная методика характеристики позволяет реконструировать многомодовые квантово-оптические процессы, недоступные для реконструкции существующими методами – в частности, операции нелокального управления квантовыми состояниями. Созданный метод необходим для построения многокомпонентных квантовых машин и дальнейшего развития квантовых информационных технологий.

Достоверность результатов, представленных в работе, не вызывает сомнений. Все результаты, представленные в диссертации, сопровождаются результатами детального теоретического моделирования, находящегося в согласии с экспериментальными данными.

По тексту диссертации можно сделать ряд замечаний:

1. Пояснению принципа нелокальности в квантовой механике посвящена в тексте диссертации одна неполная страница. Учитывая разнообразие взглядов на это понятие, следовало бы более подробно изложить вводную часть главы о нелокальности с привлечением примеров из научной литературы.
2. Демонстрация действия на расстоянии в эффекте «Квантового вампира» является косвенной, так как анализируется лишь результат рекомбинации мод, удалённое взаимодействие между которыми имело место. В качестве прямой демонстрации действия на расстоянии можно предложить проведение томографической реконструкции состояния моды Боба, которое может подтвердить ожидаемое изменение среднего числа фотонов в ней.
3. В главе, посвящённой дистилляции квантовой запутанности, не хватает обсуждения возможностей применения разработанного метода к практическим задачам квантовой криптографии и метрологии. Данный вопрос, однако, выходит за рамки темы диссертации, и может являться предметом дальнейших исследований.

Перечисленные замечания носят рекомендательный характер, и не снижают общей высокой оценки работы Федорова И.А.. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. В работе

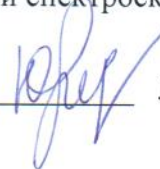
применялось передовое научное оборудование, использовались специально разработанные экспериментальные техники, были применены оригинальные методы автоматизированной обработки данных. При том, что работа является экспериментальной, её теоретическое описание отличается широтой, что вкуче со значительным объёмом цитируемой литературы указывает на высокую компетентность автора.

Каждая из трёх основных частей диссертации является оригинальным исследованием и представляет значительный научный интерес, отражённый в 3 публикациях в высокорейтинговых международных журналах (все включены в библиографическую базу цитирования Web of Science), а также в 8 докладах на 7 всероссийских и международных конференциях. Несмотря самостоятельность полученных результатов, все три находятся в рамках темы, отражённой в названии работы. Первые две части находятся на её «острие», тогда как последняя носит несколько вспомогательный характер, не уменьшающий, однако, её научного значения. Автореферат и имеющиеся публикации достаточно полно отражают содержание, основные результаты и выводы диссертации.

По характеру исследования и полученным результатам диссертационная работа Федорова И. А. соответствует специальности 01.04.05 – «Оптика», и полностью отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении учёных степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Диссертационная работа Федорова И.А. заслушана и одобрена на заседании лаборатории спектроскопии наноструктур Института спектроскопии РАН «15» июня 2016г.

Отзыв подготовил к.ф.-м.н., зав. лабораторией спектроскопии наноструктур ИСАН, профессор МФТИ


Лозовик Юрий Ефремович

Федеральное государственное учреждение науки Институт спектроскопии Российской Академии Наук (ИСАН)

г. Москва, г. Троицк, 142190, ул. Физическая, д. 5.

Тел. (495) 851-02-21, факс (495) 851-08-86, эл. почта: isan@isan.troitsk.ru

Подпись Ю.Е. Лозовика заверяю:

Ученый секретарь ИСАН

к. ф.-м. н.




Е.Б.Перминов

«15» июня 2016 г.

Список

публикаций ведущей организации, опубликованных за последние годы по теме диссертации Федорова Ильи Алексеевича «Нелокальное управление квантовым состоянием света», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»:

1. N.S. Voronova, A.A. Elistarov, Yu.E. Lozovik, Detuning-controlled internal oscillations in an exciton-polariton condensate, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 186402 (2015).
2. Yu.E. Lozovik, A.A. Sokolik, A.D. Zabolotskiy, Quantum capacitance and compressibility of graphene: The role of Coulomb interactions, *Phys. Rev. B* **91** 075416 (2015).
3. D.S. Shapiro, A.A. Zhukov, W.V. Pogosov, Yu.E. Lozovik, Dynamical Lamb Effect in a Tunable Superconducting Qubit-Cavity System, *Phys. Rev. A* **91** 063814 (2015).
4. N.S. Voronova, Yu. E. Lozovik, Internal Josephson phenomena in a coupled two-component Bose condensate, *Superlattices and Microstructures* **87** 12-18 (2015).
5. A.K. Fedorov, I.L. Kurbakov, Yu.E. Lozovik, Roton-maxon spectrum and instability for weakly interacting dipolar excitons in a semiconductor layer, *Phys. Rev. B* **90**, 165430 (2014).
6. A.K. Fedorov, I.L. Kurbakov, Y.E. Shchadiliva, Yu.E. Lozovik, Two-dimensional Bose gas of tilted dipoles: Roton instability and condensate depletion, *Phys. Rev. A* **90**, 043616 (2014).
7. Lozovik Y.E., Nechepurenko I.A., Dorofeenko A.V., Andrianov E.S., Pukhov A.A., Highly sensitive spectroscopy based on a surface plasmon polariton quantum generator, *Laser Physics Letters* **11**(12) 125701 (2014).

К.ф.-м.н., зав. лабораторией спектроскопии
наноструктур ИСАН, профессор МФТИ



Лозовик Юрий Ефремович