

Заключение диссертационного совета МГУ.013.4  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 7 декабря 2023 г. № 23.

О присуждении Леонтьеву Андрею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование статистических свойств оптико-терагерцовых бифотонных полей» по специальности 1.3.19. Лазерная физика (по физико-математическим наукам) принят к защите диссертационным советом «14» сентября 2023 г., протокол № 15.

Соискатель Леонтьев Андрей Александрович, 1994 года рождения, в 2018 году окончил магистратуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика» по программе «Квантовая электроника и квантовая оптика». В 2022 году соискатель окончил очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Лазерная физика».

Соискатель работает заведующим сектором прикладных оптических исследований в АО НТЦ «Реагент».

Диссертация выполнена на кафедре квантовой электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, доцент Китаева Галия Хасановна, профессор кафедры квантовой электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор Мишина Елена Дмитриевна, ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет", кафедра нанoeлектроники, заведующий лабораторией «Фемтосекундная оптика для нанотехнологий»
- доктор физико-математических наук, профессор Сазонов Сергей Владимирович, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Курчатовский ядерно-физический комплекс, отдел экспериментальных исследований конденсированного состояния, начальник отдела, ведущий научный сотрудник
- кандидат физико-математических наук Авосопянц Грант Владимирович, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Центр квантовых технологий Физического факультета, научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 24 опубликованные научные работы, в том числе 10 научных публикаций по теме диссертации, из них 5 статей (7,83 п.л.) в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по

специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки). Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

1) **Леонтьев А.А.**, Кузнецов К.А., Прудковский П.А., Сафроненков Д.А. Китаева Г.Х. Прямое измерение корреляционной функции оптико-терагерцовых бифотонов // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2021. — Т. 114, № 10. — С. 635–642. (Импакт-фактор РИНЦ: 1.142; 1,1 п.л.)

**Личный вклад автора:** юстировка установки для наблюдения корреляций, измерение экспериментальных данных, получение гистограмм токовых показаний оптического и ТГц детекторов, вычисление нормированной взаимокорреляционной функции 2го порядка по интенсивности из обработанных экспериментальных токовых показаний, вычисление эффективной корреляции в зависимости от порога токовых показаний оптического и ТГц детекторов, аппроксимация экспериментальной зависимости нормированной взаимокорреляционной функции 2-го порядка по интенсивности от величины накачки.

2) P.A. Prudkovskii, **A. A. Leontyev**, K. A. Kuznetsov, G. Kh. Kitaeva. Towards measuring terahertz photon statistics by a superconducting bolometer // Sensors. — 2021. — Vol. 21, no. 15. — P. 4964 (1–10). (WoS Impact factor: 3.847; 1,54 п.л.)

**Личный вклад автора:** юстировка установки для наблюдения токовых показаний ТГц детектора на базе сверхпроводникового болометра на горячих электронах, получение гистограмм токовых показаний ТГц детекторов, частичная аппроксимация экспериментальных гистограмм моделью, учитывающей гауссов характер токовых показаний при регистрации фото-отсчетов с пуассоновским распределением.

3) В. Д. Султанов, К. А. Кузнецов, **А. А. Леонтьев**, Г. Х. Китаева. Генерация оптико-терагерцовых бифотонов и особенности детектирования терагерцовой части излучения при частотно-невырожденном параметрическом рассеянии света // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2020. — Т. 112, № 5. — С. 297–302. (Импакт-фактор РИНЦ: 1.142; 0,79 п.л.)

**Личный вклад автора:** юстировка установки для наблюдения токовых показаний ТГц детектора, измерение экспериментальных данных, получение зависимости ТГц сигнала от величины лазерной накачки.

4) Kitaeva G. K., **Leontyev A. A.**, Prudkovskii P. A. Quantum correlation between optical and terahertz photons generated under multimode spontaneous parametric down-conversion // Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics. — 2020. — Vol. 101, no. 5. — P. 053810 (1–13). (WoS Impact factor: 3.14; 2,17 п.л.)

**Личный вклад автора:** вывод формулы для нормированной взаимокорреляционной функции второго порядка по интенсивности без учета конечного времени детектирования измерительного прибора, численный анализ зависимости оптического сигнала СПР и ТГц сигнала СПР от полярных и азимутальных углов при различных частотах, численный анализ

влияния тепловых флуктуаций и поглощения на ТГц частотах на величину нормированной взаимнокорреляционной функции 2-го порядка по интенсивности. Анализ относительного влияния квантового и теплового вкладов на величину ТГц части СПР излучения в зависимости от температуры и холостой частоты.

5) G. K. Kitaeva, V. V. Kornienko, **A. A. Leontyev**, A. V. Shepelev. Generation of optical signal and terahertz idler photons by spontaneous parametric down-conversion // *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*. — 2018. — Vol. 98, no. 6. — P. 063844 (1–12). (WoS Impact factor: 3.14; 2,23 п.л.)

**Личный вклад автора:** вычисление формального вида элементов матрицы рассеяния, численный анализ зависимости фактора потерь от частоты в общем случае и случаи точного фазового синхронизма, численный анализ угловой зависимости ТГц части СПР сигнала на различных ТГц частотах в случае точного фазового синхронизма.

На диссертацию и автореферат поступило 2 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они являются специалистами в области лазерной физики, а также взаимодействия излучения с веществом и имеют публикации по схожей тематике. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи, имеющей значение для развития лазерной физики и нелинейной оптики. Диссертационная работа посвящена изучению оптико-терагерцовых бифотонных полей, генерируемых при частотно-невырожденном спонтанном параметрическом рассеянии света. Целью диссертационной работы является изучение условий наблюдения и прямого измерения квантовых корреляций оптических и терагерцовых фотонов. Методология диссертационного исследования основана на широко распространенных и проверенных методах: применении матриц рассеяния и обобщенного нелинейного закона Клышко-Кирхгофа в теоретических расчетах, методов терагерцовой оптики и цифровой обработки сигналов детекторов излучения оптического и терагерцового диапазонов при измерении характеристик параметрического рассеяния света. В результате диссертации определены теоретические зависимости нормированной взаимнокорреляционной функции 2-го порядка многомодового бифотонного поля от температуры кристалла и частоты терагерцовых фотонов, разработана экспериментальная схема для измерения статистических параметров и впервые осуществлены прямые измерения нормированной взаимнокорреляционной функции 2-го порядка по интенсивности оптико-терагерцовых бифотонных полей.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов. Проведенные исследования расширяют потенциальные возможности использования корреляционных свойств оптико –

терагерцовых бифотонных полей для задач калибровки ТГц детекторов, квантового зондирования и квантовой фантомной визуализации.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Применение нелинейного обобщенного закона Клышко-Кирхгофа позволяет одновременно учесть влияние многомодового состава поля, поглощения излучения и равновесных тепловых флуктуаций на холостых частотах на величину нормированной взаимокорреляционной функций второго порядка по интенсивности бифотонов, генерируемых при частотно – невырожденном СПР света и предсказать наличие максимума зависимости при уменьшении частоты холостого излучения в терагерцовом диапазоне. Максимум возникает как результат встречных процессов роста за счет уменьшения коэффициента параметрического усиления и числа поперечных мод излучения, и одновременного падения величины нормированной взаимокорреляционной функции 2-го порядка по интенсивности, обусловленного усилением влияния тепловых флуктуаций поля на меньших частотах. Снижение коэффициента поглощения нелинейного кристалла при уменьшении частоты оказывает значительно меньшее влияние на спектральную зависимость нормированной взаимокорреляционной функции 2-го порядка по интенсивности.
2. Анализ гистограмм токовых показаний ФЭУ и сверхпроводникового ТГц болометра при регистрации спонтанного параметрического рассеяния, проведенный в предположении о Гауссовом распределении элементарных фототоков, возникающих на выходе детектора при регистрации дискретных фото-отсчетов, позволяет определить среднее число данных фото-отсчетов за время регистрации показаний и исследовать характер его зависимости от числа падающих фотонов.
3. Увеличение частоты излучения лазерной накачки при спонтанном параметрическом рассеянии света позволяет наблюдать более высокие предельные уровни оптико-терагерцовых корреляций в схемах с одинаковыми шумовыми характеристиками терагерцового детектора. Метод пороговой дискриминации показаний аналоговых детекторов терагерцового и оптического трактов открывает возможность детектировать наличие неклассических оптико-терагерцовых корреляций за счет включения корреляционных функций высших порядков.
4. Разработанная экспериментальная схема регистрации и обработки набора статистических данных единовременных токовых показаний сверхпроводникового ТГц болометра и однофотонного фотоприемника на основе ЛФД, регистрирующих терагерцовую и оптическую части излучения СПР в области частот холостых волн 1 ТГц, генерируемого в охлажденном до температуры 4.8К кристалле  $Mg:LiNbO_3$  под действием наносекундных импульсов лазерной накачки с длиной волны 523.35 нм,

позволяет проводить прямые измерения нормированной взаимнокорреляционной функции 2-го порядка по интенсивности оптико-терагерцового бифотонного поля.

На заседании 7 декабря 2023 диссертационный совет принял решение присудить Леонтьеву Андрею Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **18** человек, из них **7** докторов наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – **18**, «против» – **0**, недействительных голосов – **0**.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.4  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Андреев Анатолий Васильевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.4  
кандидат физико-математических наук

Коновко Андрей Андреевич

Дата оформления заключения: 7 декабря 2023 г.