

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Леонтьева Андрея Александровича
«Исследование статистических свойств
оптико – терагерцовых бифотонных полей»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.19. – Лазерная физика

Диссертационная работа А.А. Леонтьева посвящена исследованию квантовых корреляций оптических и терагерцовых фотонов, генерируемых при спонтанном параметрическом рассеянии света.

В настоящее время чрезвычайно важно развивать отечественные оптико-терагерцовые технологии с целью импортозамещения и конкуренции с мировыми производителями терагерцовой оптоэлектроники. Поэтому результаты диссертационной работы А.А. Леонтьева имеют определенное значение как в фундаментальном, так и в прикладном отношении. Полученные соискателем результаты могут быть использованы для разработки методов безэталонной калибровки квантовой эффективности, определения ампер-ваттной чувствительности и других параметров отклика терагерцовых детекторов, создания источников одиночных фотонов терагерцового диапазона, а также для развития методов построения изображений скрытых объектов в терагерцовых лучах.

Диссертационная работа изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 31 рисунок, 2 таблицы и состоит из Введения, четырех глав с выводами, Заключение и Списка литературы.

В первой главе диссертационной работы приводится обзор проведенных ранее исследований свойств оптико-терагерцовых бифотонных полей, генерируемых при спонтанном параметрическом рассеянии света в сильно частотно-невыврожденном режиме. Также проведено описание наиболее распространенных методов и устройств, разработанных к настоящему времени для генерации и детектирования излучения терагерцовых частот.

Во второй главе представлено теоретическое исследование корреляционных параметров оптико-терагерцовых бифотонов, генерируемых при спонтанном параметрическом рассеянии света. Приведен расчет матрицы рассеяния нелинейного кристалла, заполненного излучением сфокусированной лазерной накачки. Элементы матрицы описывают преобразование операторов входных полей плоских мод сигнальных

и холостых частот в кристалле в условиях многомодовой накачки с гауссовым профилем пространственного распределения амплитуды напряженности поля. Определение элементов необходимо для последующего применения обобщенного нелинейного закона Клышко – Кирхгофа, позволяющего определить вторые моменты выходных полей параметрического рассеяния в условиях, когда нельзя пренебречь поглощением кристалла и присутствием тепловых флуктуаций поля на терагерцовых частотах. Рассмотрен пример численного расчета угловых распределений интегральной спектральной плотности чисел сигнальных и холостых фотонов, сделанного на основании полученных выражений для случая параметрического рассеяния в кристалле ниобата лития.

В третьей главе изложены результаты исследований по генерации, регистрации и исследованию статистических свойств оптических и терагерцовых фотонов, генерируемых при спонтанном параметрическом рассеянии света. Показано, что переход на вторую гармонику лазерной накачки позволяет уменьшить величину коэффициента параметрического усиления без существенной потери в величине регистрируемых сигналов на терагерцовой частоте. Это создает предпосылки для наблюдения более высокого уровня оптико-терагерцовых корреляций в экспериментальной схеме со сверхпроводниковым терагерцовым болометром. Здесь же подробно описана экспериментальная установка, которая использовалась в работе для измерения корреляций. Проведен сравнительный анализ гистограмм распределений токовых показаний аналогового фотозлектронного умножителя и лавинного фотодиода. Автором показано, что использование однофотонного фотодиода для измерения корреляционной функции предпочтительнее не только в счетном, но и в аналоговом режиме регистрации, что объясняется возможностью более простой и однозначной дискриминации шумовых показаний аналогового детектора на основе счетного лавинного фотодиода.

Четвертая глава посвящена экспериментам по прямому измерению корреляционных функций оптико-терагерцовых бифотонных полей, которые определялись для частоты холостых фотонов в области 1 ТГц при различных значениях мощности накачки. Очень яркий результат этой главы состоит в том, что впервые проведены прямые измерения величины корреляционной функции второго порядка оптических и терагерцовых фотонов, генерируемых при параметрическом рассеянии света. Продемонстрировано согласие измеренных и теоретически предсказываемых зависимостей от мощности излучения накачки.

В Заключении диссертации представлены основные выводы диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе А.А. Леонтьева, не вызывает сомнений. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием разных методов измерения параметров исследуемых структур, теоретические расчёты и экспериментальные результаты согласуются между собой.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в диссертационной работе результаты создают основу для реализации квантово-оптических технологий в ТГц диапазоне частот электромагнитного излучения.

Научная новизна результатов работы.

Разработана теоретическая модель, впервые описывающая статистические моменты оптико-терагерцовых бифотонных полей с учетом многомодового характера детектируемого излучения, тепловых флуктуаций поля и поглощения волн на терагерцовых частотах. Разработана методика сбора и обработки статистических данных о флуктуациях токовых показаний детекторов оптического и терагерцового излучения в условиях регистрации сигнального и холостого излучения спонтанного параметрического рассеяния света, позволяющая определять числа дискретных фото-отсчетов детекторов в единицу времени. Впервые разработана и успешно реализована схема экспериментальной установки по генерации, детектированию и измерению корреляционной функции оптико-терагерцовых бифотонов. Впервые продемонстрирована возможность прямых измерений квантовых корреляций полей оптических и терагерцовых частот, генерируемых в процессе спонтанного параметрического рассеяния света в сильно частотно-невырожденном режиме.

По представленной диссертации имеются следующие замечания.

1) После ознакомления с рисунком 2.7 второй главы возникает естественный вопрос: как будут вести себя смещение и величина максимума квантовой добавки к корреляционной функции второго порядка по интенсивности, если изменять температуру? Следует отметить, что данный вопрос не возник бы, если соискатель привел несколько зависимостей на одном графике.

2) В четвертой главе не до конца доведены результаты, связанные с исследованием эффективного значения корреляционной функции. А именно, дана только формула для эффективного значения корреляционной функции, которая проанализирована не конца. В свою очередь, это не позволяет применить численный расчет и, тем самым, аппроксимировать экспериментальные графики для эффективного значения корреляционной функции.

Вышеуказанные замечания не снижают общий добротный уровень работы.

Диссертационная работа А.А. Леонтьева является законченным научным исследованием, в котором получены новые результаты, существенно расширяющие понимание процессов корреляции при излучении оптико-терагерцовых бифотонных полей. Работа имеет прикладное значение, полученные данные могут быть полезны в производстве высокочувствительных сверхпроводящих болометров.

Содержание автореферата А.А. Леонтьева соответствует содержанию диссертации.

Диссертация «Исследование статистических свойств оптико-терагерцовых бифотонных полей» отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19. – Лазерная физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным п.п. 2.1 – 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Работа оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Таким образом, соискатель Леонтьев Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

Официальный оппонент:
Доктор физ. – мат. наук,
профессор,
начальник отдела
НИЦ «Курчатовский институт»

С.В. Сазонов
20.11.2023

Сазонов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, начальник отдела Курчатовского ядерно-физического комплекса Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

тел.: +7(499)1967662

e-mail: sazonov_sv@nrcki.ru

Подпись С.В. Сафонова заверяю
Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»

К.Е. Борисов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.,
тел.: +7 (499) 196-95-39, факс.: + 7 (499) 196 17-04, e-mail: nrcki@nrcki.ru