

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Сафроненкова Даниила Алексеевича на тему: «Безэталонная калибровка отклика аналоговых детекторов в поле параметрического рассеяния света» по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертация Сафроненкова Даниила Алексеевича посвящена разработке методов безэталонной калибровки квантовой эффективности аналоговых детекторов в условиях параметрического рассеяния света. Актуальность работы обусловлена быстрым развитием квантовых технологий. В частности, большое значение имеет использование аналоговых детекторов, так как они позволяют расширить диапазон частот, в котором можно измерять чувствительность и эффективность детекторов. Методы безэталонной калибровки упрощают процесс измерений, делая его более доступным для большого числа различных детекторов таких как фотоэлектронные умножители (ФЭУ), многопиксельные камеры и т. д.

Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения и списка литературы.

В первой главе диссертации рассматриваются теоретические аспекты детектирования корреляционных параметров поля параметрического рассеяния света. Важной частью главы является обсуждение методов безэталонной калибровки квантовой эффективности детекторов. Рассмотрены различные подходы, которые основаны на измерении бифотонной корреляционной функции второго порядка и факторе подавления шума. Всё это закладывает основу для последующих экспериментальных исследований.

Вторая глава посвящена экспериментальным аспектам измерения корреляционной функции второго порядка и чувствительности аналоговых детекторов. Здесь подробно описываются методы проведения измерений, а также приводятся результаты, полученные в ходе экспериментов. Для отработки методики измерения корреляционной функции использовались счетные фотонные детекторы, а затем полученные результаты

корреляционной функции и квантовой эффективности сравнивались в счетном и аналоговом режимах. После чего, используя аналоговые детекторы в аналоговом режиме удастся измерить корреляционную функцию, которая с учетом ошибки измерения совпадает с полученной ранее в счетном режиме с помощью счетных детекторов. Была измерена чувствительность аналогового фотоэлектронного умножителя безэталонным методом. Эта часть работы демонстрирует практическое применение подходов, рассмотренных в первой главе, и позволяет оценить эффективность используемых методов. Данная часть исследований показывает возможность измерения корреляционной функции второго порядка в чисто аналоговой схеме, где детекторы не могут работать в режиме счета фотонов.

В третьей главе анализируются показания аналоговых детекторов, полученные при различных мощностях лазерной накачки. Сначала используется непрерывная накачка для генерации параметрического рассеяния света. С помощью распределения Гаусса и экспоненциального распределения описываются экспериментальные данные. В третьей и четвертой частях этой главы используется уже импульсная накачка для генерации параметрического рассеяния. Описывается сравнение двух подходов к аппроксимации экспериментальных данных. Основное внимание уделяется выбору адекватной модели для аппроксимации статистических распределений показаний детекторов с помощью функции подавления шума. Это необходимо для точного определения характеристик элементарных фотоотсчетов и для возможности дальнейшей калибровки эффективности аналоговых детекторов в различных условиях. Такие методы аппроксимации позволяют более точно описывать статистику фототока детекторов на основе ФЭУ и открывают горизонты к описанию других типов аналоговых детекторов, например таких как болометры.

Четвертая глава посвящена измерению эффективности аналоговых детекторов с использованием различных модификаций метода Клышко. В ней исследуются подходы к безэталонной калибровке эффективности аналоговых

детекторов. Подробно рассматриваются подходы к безэталонному измерению эффективности ФЭУ, что имеет практическое значение для калибровки детекторов в различных условиях.

Заключение содержит основные выводы диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе Сафроненкова Д.А., не вызывает сомнений. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием различных методов измерения параметров исследуемых структур, приводящих к идентичным результатам. Теоретические расчёты и экспериментальные результаты также согласуются между собой.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в диссертационной работе результаты создают основу для дальнейших работ в области квантовых разработок таких как, квантовая визуализация, квантовое зондирование.

Научная новизна результатов работы:

Разработана новая экспериментальная методика для выявления кросс-корреляционных свойств бифотонных полей в процессе параметрического рассеяния, Созданы основы инновационного безэталонного метода измерения спектральной ампер-ваттной чувствительности аналоговых детекторов в условиях параметрического рассеяния. Предложен оригинальный подход, анализирующий влияние фактора подавления шума на разностный фототок при параметрическом рассеянии и использующий математическое моделирование статистических данных, полученных от аналоговых детекторов. Этот подход позволяет определить среднее число фотоотсчётов, их среднее значение и дисперсию вкладов в показания детектора на основе ФЭУ. Также разработаны, экспериментально апробированы и верифицированы методы безэталонной калибровки эффективности аналоговых детекторов в поле параметрического рассеяния.

В целом работа выполнена на высоком уровне. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Вопросы и замечания по представленной диссертации:

1. Актуальность работы в значительной степени обусловлена возможностью использования разработанных в ней методик в терагерцовом диапазоне, где отсутствуют однофотонные детекторы. В какой степени разработанные в диссертации методы могут быть распространены на терагерцовый диапазон с учетом, в частности, возможного различия сигнальной и холостой частот на несколько порядков или того, что для ТГц диапазона нельзя уже пренебрегать температурой окружающей среды?

2. Стр.14: "Часто используется коэффициент параметрического усиления β для определения, в каком режиме происходит работа, который может быть рассчитан по формуле (1.2)" - Не для всех входящих в формулу (1.1) величин даны определения. Неясно, как из (1.2) следует (1.1). Хорошо бы дать физическое определение и для самой величины β . Ниже формулы (1.5) появляется коэффициент параметрического усиления G , как он связан с β ?

3. Стр.31, строчная формула для $\langle N_j \rangle$: эта формула следует из (1.6) только при $N_j \ll 1$.

4. Стр.32: "В режиме высокого усиления..." - в этом контексте можно было бы упомянуть успешное использование сжатого света в гравитационно-волновых детекторах.

5. На рис.2.2 наблюдается характерная точка излома всех трех графиков вблизи 5 мВт. Есть для нее какое-то объяснение?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Сафроненков Даниил Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
руководитель научной группы квантовой оптомеханики
ООО "Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий"
(Российский квантовый центр)

Халили Фарит Явдатович

05.06.2025

Контактные данные:

тел.: +7(495)280-1291, e-mail: f.khalili@rqc.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.04.03 – Радиофизика

Адрес места работы:

121205, г. Москва, территория Инновационного Центра Сколково, Большой б-р, д. 30, стр. 1

ООО "Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий"
(Российский квантовый центр), научная группа квантовой оптомеханики.

Тел.: +7(495)280-1291; e-mail: mail@rqc.ru

Подпись сотрудника ООО "Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий" (Российский квантовый центр)

Халили Фарита Явдатовича удостоверяю: *Н.Я. Менеджер*