

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор Белорусского
государственного университета



Д.М. Курлович

« 08 » июня 2023 г.

**ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
о диссертации Михалычева Александра Борисовича
«Квантовые измерения для метрологии и создания
неклассических состояний»,
представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика**

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта специальности

Диссертация посвящена теоретическому исследованию квантовых измерений, разработке методов создания и целенаправленного преобразования квантовых состояний оптических систем.

В соответствии с паспортом специальности, утвержденным Приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 23 апреля 2018 г. № 116, содержание, положения и выводы представленной диссертации полностью соответствуют специальности 01.04.02 – Теоретическая физика по физико-математическим наукам (пункту «Квантовая механика. Квантовая теория информации и квантовые вычисления»).

Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости

Научный вклад соискателя в развитие квантовой оптики и теорию квантовых измерений состоит в следующем:

Введен новый класс измерений («исключающих измерений»), позволяющий обеспечить эффективное управление квантово-оптическими состояниями и оптимизировать измерительную схему для создания целевых квантовых состояний. Разработан и развит ряд методов создания, анализа и управления квантовыми состояниями оптических систем, включая метод создания перепутанных состояний с использованием нелинейной модуляции фазы в керровской среде. Развитие в диссертации методы неунитарного управления квантовыми состояниями открытых систем обеспечивают более высокую устойчивость неклассических свойств генерируемых состояний по сравнению с традиционными методами унитарного управления.

Значимость научного вклада подтверждается публикацией результатов диссертационной работы в ведущих международных научных журналах и использованием разработанных методов при выполнении заданий по научным, в том числе, и международным, программам.

Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Впервые предсказана возможность создания субпуассоновских состояний и фотонных пар в «фотонной пушке» на основе нелинейных диссипативно связанных волноводов в результате впервые проведенного анализа нелинейного режима когерентной диффузионной фотоники.

Обнаружены новые эффекты для одноатомного лазера с некогерентной накачкой в фазовом пространстве: амплитудная и фазовая бистабильность, квантовые состояния с выраженными неклассическими свойствами, включая перепутанные состояния.

Представлено значительное развитие методов квантовой томографии паттернов данных: их оптимизация, расширение на смежные задачи и обобщение на нелинейный режим. Предложен адаптивный метод томографии квантового состояния, обеспечивающий эффективность получения информации о квантовой системы благодаря итеративному выбору наиболее информативных измерений. Разработан метод решения задачи, обратной к квантовой томографии, - воспроизведения результатов измерений для известного, но недоступного квантового состояния путем проведения измерений для доступных «классических» когерентных состояний. На основе нелинейной версии метода паттернов данных разработан новый подход к оптимизации состояния квантовой антенны для получения целевой пространственной структуры ее излучения. Высокая научная значимость представленных результатов определяется универсальностью разработанного подхода, задающего базис для дальнейших исследований в области создания, преобразования и томографии квантовых состояний.

Впервые выполнен подробный теоретико-информационный анализ многопараметрической задачи квантовой микроскопии: введено количественное определение оптического разрешения на основе информативности получаемых изображений; предложен итеративный алгоритм извлечения информации о протяженных объектах из измеряемых корреляционных изображений, обеспечивающий линейное масштабирование времени расчета с размером объекта; предсказано повышение разрешения в квантовой микроскопии за счет увеличения чувствительности перепутанного оптического состояния при детектировании одного из фотонов вне апертуры линз микроскопа. Эффективность разработанных методов обработки корреляционных изображений квантовой микроскопии подтверждена их применением к экспериментальным данным и демонстрацией преодоления классического дифракционного предела разрешения. Полученные результаты важны для развития теоретических основ квантовой микроскопии, поскольку задают математически обоснованный подход к количественной оценке и повышению оптического разрешения.

Указанные результаты являются принципиально новыми и в совокупности представляют значительное достижение в квантовой оптике и теории квантовых измерений, а также могут иметь важное практическое применение в квантовых информационных технологиях.

Таким образом, диссертация Михалычева Александра Борисовича представляет собой завершённую научную работу, отвечающую требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика за:

- разработку метода управления квантово-оптическими состояниями на основе «исключающих» измерений, обеспечивающего возможность генерации фоковских состояний и их суперпозиций, а также перепутанных квантово-оптических состояний;

- разработку методов создания субпуассоновских и бифотонных состояний в системе нелинейных диссипативно связанных волноводов;

- определение условий генерации одноатомным лазером с некогерентной накачкой состояний, обладающих выраженными неклассическими свойствами; предсказание эффектов фазовой и амплитудной бистабильности в динамике одноатомного лазера с некогерентной накачкой для начального когерентного возбуждения поля;

- обобщение подхода квантовой томографии паттернов данных и разработку на его основе методов адаптивной томографии квантовых состояний, классической эмуляции квантовых экспериментов и управления пространственной локализацией и корреляционными свойствами поля, излучаемого квантовой антенной;

- разработку методов повышения оптического разрешения в квантовой микроскопии на основе использования корреляционных функций высших порядков и построение информационного подхода к количественной оценке достижимого оптического разрешения;

- разработку методов повышения точности измерений рентгеновской дифрактометрии и масс-спектрометрии на основе использования информации Фишера, байесовской оценки вероятностей моделей и операторного описания рентгеновских оптических элементов.

Замечания по диссертации

Крайне малое число замечаний имеет стилистический характер и несущественно с точки зрения общей оценки представленной диссертации.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Все выше сказанное позволяет сделать вывод, что научная квалификация Михалычева А.Б. соответствует ученой степени доктора физико-математических наук.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Высокая практическая значимость диссертации состоит в разработке методов получения, преобразования и измерения неклассических квантово-оптических состояний, необходимых для реализации квантовой передачи и обработки информации, а также создания квантовых сенсоров и микроскопов. Неклассические состояния (фоковские, субпуассоновские, бифотонные) могут использоваться для реализации схем квантовой криптографии, квантового голосования, оптических квантовых вычислений, проведения прецизионных измерений. Разработанные ме-

тоды квантовой томографии важны для количественной оценки качества работы источников малофотонных состояний, проверки и оптимизации работы структурных элементов квантовых компьютеров, а также калибровки квантово-оптических детекторов. Методы квантовой микроскопии, развиваемые в диссертации, обладают значительной ценностью для развития биотехнологий, поскольку могут обеспечить более высокую детализацию изображений биологических образцов, подверженных фотодеструкции. Эффективность подходов, представленных в главе 6 диссертации, для обработки данных масс-спектрометрии и рентгеновской дифрактометрии указывает на перспективы их обобщения на другие области физики. Разработанные соискателем методики использованы при его руководстве научной работой студентов, магистрантов и аспирантов. Учитывая ценность полученных результатов для развития квантовой оптики и квантовых методов получения и обработки информации, рекомендуется продолжить их внедрение в образовательный процесс высших учебных заведений.

Согласно приказу ректора № 290-ОД от 11.05.2023 отзыв заслушан и утвержден на расширенном научном семинаре кафедры теоретической физики и астрофизики, кафедры лазерной физики и спектроскопии и кафедры физической оптики и прикладной информатики «05» июня 2023 г., протокол № 01, на котором соискатель А.Б. Михалычев выступил с научным докладом и дал полные, исчерпывающие ответы на заданные вопросы. На заседании присутствовали 7 докторов наук и 6 кандидатов наук.

Результаты открытого голосования: «за» 13 , «против» 0 , «воздержались» – 0.

Председатель научного собрания -
зав. кафедрой ТФА
доктор физ.-мат. наук профессор

А.Н. Фурс

Эксперт -
профессор кафедры ТФА
доктор физ.-мат. наук доцент

В.Н. Кушнир

Ученый секретарь на заседании -
доцент кафедры ТФА
кандидат физ.-мат. наук доцент

С.О. Комаров