

## **О Т З Ы В**

официального оппонента на диссертацию Томилина В.А.  
«Обратная связь с переключением фазы в системах квантовой оптики и  
конденсированных атомов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.05 – оптика

### **1. Актуальность темы диссертации**

В последнее время достигнут большой прогресс в создании неклассических состояний оптического поля, таких как сжатые состояния, суперпозиционные и перепутанные состояния и др. Экспериментальное создание подобных состояний позволило за последние десятилетия на практике изучать те существенно квантовые явления, которые ранее рассматривались лишь теоретически: нелокальность квантовой теории, перепутывание состояний нескольких квантовых систем, декогеренцию, а также некоторые новые явления, такие как квантовая телепортация. Данные исследования имеют большое значение для таких современных проблем, выходящих за рамки оптики, как создание квантовых компьютеров и квантовых каналов связи.

Важным элементом при создании и работе с неклассическими состояниями поля является процесс измерения оптического поля. Измерение в данном случае часто является не завершающим, а промежуточным этапом эксперимента, так как результат измерения может влиять на процесс генерации поля и на преобразования, проводимые над ним. Таким образом, между фотодетектором и источником поля может существовать обратная связь через ток детектора. Теория квантовых измерений в оптике в настоящее время хорошо развита для случая, когда источники поля не зависят от показаний фотодетекторов, т.е. в отсутствие обратной связи. Диссертация Томилина В. А. посвящена кинетике квантовых систем, подвергающихся непрерывным измерениям в цепи обратной связи, что является актуальной темой исследований.

Рассмотрение квантовой системы в цепи обратной связи в диссертации проводится в приближении, пренебрегающем временем задержки в цепи обратной связи. Данное приближение широко используется в литературе и позволяет описывать квантовую кинетику как марковский случайный процесс. Однако, следует заметить, что в реальном эксперименте время обхода цепи обратной связи может составлять наносекунды и десятки наносекунд, что часто бывает сравнимо с характерным временем изменения состояния квантовой системы, например, временем жизни возбужденного состояния атома. Таким образом, область применимости результатов марковской теории ограничена кругом сравнительно медленно меняющихся квантовых систем. Этот факт несколько не умаляет актуальности темы диссертации и важности полученных результатов. К преимуществам марковского формализма относятся сравнительная простота математического аппарата и физической интерпретации полученных результатов.

### **2. Степень новизны результатов, научных положений, которые выносятся на защиту, их научная, практическая значимость.**

Введение диссертации включает обзор работ по теории обратной связи, опосредованной измерением и когерентной обратной связи. В нем обозначены

нерешенные проблемы и сформулированы задачи диссертационного исследования. К сожалению, в обзоре практически не упомянуты экспериментальные работы в данной области, такие как работы группы И. Ямамото (Y. Yamamoto), Стэнфордский университет, и группы А. В. Масалова, Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН. Хотя данные работы не имеют прямого отношения к задачам диссертации, их упоминание необходимо в обзоре работ по квантовой теории обратной связи. Данный недочет частично исправлен в автореферате.

В Главе 1 рассмотрено взаимодействие одиночного излучателя с внешним когерентным полем в присутствии обратной связи, состоящей в переключении фазы поля при фиксации спонтанно испущенного излучателем фотона. В марковском приближении получены кинетические уравнения линдбладовского типа для матрицы плотности атома и численно найдены их решения, на основе которых проанализированы спектры флуоресценции и статистика испущенных излучателем фотонов. Данное исследование является новым.

В Главе 2 рассмотрено взаимодействие атомарного конденсата Бозе-Эйнштейна в двухъямном оптическом потенциале с оптическим пучком и рассмотрена возможность управления состоянием конденсата на основе обратной связи при фазово-контрастном интерферометрическом зондировании. Данное исследование также является новым.

В Главе 3 рассмотрено взаимодействие одиночного атома, а также нескольких атомов, с внешним полем, находящемся в состоянии Юрке-Столера, в присутствии обратной связи, состоящей в переключении фазы поля при фиксации спонтанно испущенного атомом фотона. Получено кинетическое уравнение для Р-функции поля и численно найдено его решение, на основе которого проанализированы спектры флуоресценции и статистика испущенных фотонов. Феномен подавления боковых компонент триплета спектра резонансной флуоресценции при возбуждении атома светом в состоянии Юрке-Столера известен из литературы. Данное исследование впервые анализирует статистические свойства флуоресценции в цепи обратной связи подобного типа, что является результатом высокой научной значимости.

### **3. Обоснованность и достоверность результатов проведенных исследований**

Результаты диссертации представляются вполне обоснованными и достоверными, поскольку они получены с использованием хорошо зарекомендовавших себя моделей, таких как кинетические уравнения линдбладовского типа.

### **4. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 10 статей в научных журналах, среди которых такие известные издания, как ЖЭТФ и Physical Review A. Публикации полностью отражают результаты диссертации и положения, выносимые на защиту.

**5. Оценка оформления работы.** Диссертация написана хорошим научным языком. В работе четко сформулированы цель и задачи исследования, дан хороший обзор теоретических работ по теме диссертации. Защищаемые положения сформулированы четко и ясно, они соответствуют результатам диссертационного исследования. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК.

**6. Соответствие специальности.** Диссертация посвящена квантовой теории кинетики атомарных квантовых систем, взаимодействующих со светом при наличии обратной связи, и полностью соответствует специальности 01.04.05 – оптика.

**7. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени.**

Научная квалификация автора диссертации соответствует ученой степени кандидата физико-математических наук.

**8. Выводы**

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием соискателя и содержит новые научно обоснованные теоретические результаты, совокупность которых имеет существенное значение для развития направления квантовой оптики, связанного с использованием обратной связи при работе с неклассическими состояниями поля и спектроскопии одиночных квантовых объектов. Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автору, Томилину В.А., может быть присуждена степень кандидата физико-математических наук за

- построение математической модели резонансной флуоресценции одиночного атома, находящегося в когерентном внешнем оптическом поле, фаза которого переключается через цепь обратной связи при фиксации спонтанно испущенного атомом фотона, и установление трехпиковой структуры спектра флуоресценции;
- построение математической модели резонансной флуоресценции одиночного атома, находящегося во внешнем оптическом поле представляющем собой суперпозиционное состояние Юрке-Столера, фаза которого переключается через цепь обратной связи при фиксации спонтанно испущенного атомом фотона, и установление однопиковой структуры спектра флуоресценции;
- разработку метода управления шириной и формой резонанса когерентного пленения населенностей в спектроскопии пробного поля;
- разработку метода управления состоянием атомарного конденсата Бозе-Эйнштейна, локализованного в двухъямном оптическом потенциале и подвергаемого интерферометрическому зондированию.

Официальный оппонент,  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
Института физики НАН Беларуси



Д. Б. Хорошко

Подпись Д.Б. Хорошко удостоверяю

Ученый секретарь  
Института физики НАН Беларуси



И. С. Никончук

16. 11. 2018