

В Диссертационный совет Д 003.005.01  
при Федеральном государственном  
бюджетном учреждении науки  
Институте автоматики и электрометрии  
Сибирского отделения Российской  
Академии наук

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию Томилина  
Владимира Александровича «Обратная связь с переключением  
фазы в системах квантовой оптики и конденсированных атомов»**  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.05 - «Оптика».

### **Актуальность темы диссертации.**

Диссертационная работа Томилина В.А. посвящена одной из актуальных тем развития современной науки – теории управления квантовыми системами. Актуальность данной работы весьма высока и вызвана непрерывно растущим интересом к управлению квантовыми объектами (состояниями электронов, атомов, молекул и ионов) во внешних полях, а также множеством фундаментальных и прикладных приложений в области эволюции квантовых систем и квантовой информации.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертация Томилина В.А. состоит из введения, трех Глав, Заключения и Списка литературы. Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач; характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация; сформулированы защищаемые положения. Кроме того, дается краткое изложение содержания диссертации.

В **Глава 1** описывается основной формализм, применяемый для исследования динамики открытых квантовых систем и приводится теоретический аппарат гибридных квантово-классических систем, состоящих из квантовой части (непосредственно квантовой системы, подлежащей

управлению) и классической части (измерительного прибора, задающего значение управляемого параметра). Представленные модели применены для решения задачи о спектре и статистике фотоиспусканий одиночных атомов во внешнем поле в присутствии обратной связи. Обратная связь задается скачкообразным изменением фазы светового поля в зависимости от детектирования спонтанно испущенного атомом фотона. Дополнительно рассматривается постановка данной задачи в режиме «мягкой» спектральной селекции, позволяющей различать фотоиспускания в различные спектральные компоненты триплета, изменяя фазу поля на  $\pm 2\pi/3$  при излучении в боковые компоненты триплета. Показана возможность существенной модификации типа статистики фотоиспусканий путем изменения отстройки и интенсивности внешнего поля. В разделе 1.4 проведено исследование резонансной флуоресценции пары двухуровневых атомов во внешнем поле в присутствии обратной связи. Считается, что атомы расположены на расстоянии много меньше длины волны друг от друга, что позволяет считать атомы тождественными. Продемонстрирована сильная антигруппировка фотонов, в то время как в отсутствие обратной связи статистика фотоотсчетов строго пуассоновская. В разделе 1.5 проведено исследование модификации когерентного пленения населенностей (КПН) в трехуровневой  $\Lambda$ -системе в присутствии обратной связи, задающейся путем управления фазой поля на одном из атомных переходов. Показано, что ширина полевого резонанса КПН сужается по отношению к ширине, наблюдаемой в отсутствие обратной связи.

**Глава 2** посвящена исследованию возможностей управления атомарным конденсатом Бозе-Эйнштейна в двухъямном оптическом потенциале. В данной постановке обратная связь реализуется путем интерферометрического зондирования атомов в одной из ям оптического потенциала и переключением конфигурации потенциала в зависимости от сигнала фотодетекторов. Результаты исследования показывают возможность эффективного управления заселенностей ям в условиях слабой декогерентизации, вызываемой зондирующим полем.

**Глава 3** посвящена исследованию применения обратной связи на основе переключения фазы к квантовым модам оптического излучения. Она состоит из трех разделов. В первом разделе рассматривается задача о моде монохроматического излучения в резонаторе конечной добротности, возбуждаемой полем внешнего монохроматического источника. Обратная связь реализуется путем переключения фазы внешнего источника на  $\pi$ ,

инициируемой детектированиями покинувших резонатор квантов. Второй раздел посвящен исследованию взаимодействия одиночного двухуровневого атома с квантованным полем, находящимся в суперпозиции когерентных состояний Юрке-Столера. В рамках рассматриваемой задачи получены выражения для спектральной плотности мощности спонтанных фотоиспусканий. Обнаружено, что спектр имеет вид одиночного пика, центрированного на частоте атомного резонанса. В заключительном третьем разделе рассмотрены статистические свойства спонтанных фотоиспусканий ансамбля невзаимодействующих двухуровневых атомов в поле Юрке-Столера. Найдено приближенное аналитическое решение для корреляционной функции второго порядка атомных фотоиспусканий в пределе большого числа атомов. Дано качественное объяснение наблюдаемых эффектов.

В **Заключении** приведены основные результаты работы, их обсуждение и дальнейшие перспективы рассмотренной в работе темы.

### **Новизна исследования и результаты**

Диссертационная работа Томилина В.А. затрагивает ряд актуальных задач, посвященных эволюции открытых квантовых систем в присутствии обратной связи. Автором предложен единый теоретический подход, основанный на решении модифицированных квантовых кинетических уравнений. Показано, что эволюция квантовой системы в присутствии обратной связи существенно изменяется, что приводит к необычным и ранее не наблюдавшимся эффектам. В частности, были получены следующие наиболее важные результаты:

- 1) Показано, что спектр флуоресценции двухуровневого атома, в присутствии обратной связи, задающейся контролируемым переключением фазы светового поля при регистрации спонтанных фотонов, состоит из трех ассиметричных пиков, устойчивых к изменению интенсивности светового поля.
- 2) Показано, что в присутствии обратной связи статистика фотоотчетов в боковых компонентах триплета Моллоу является супер-пуассоновской, в отличие от отсутствия обратной связи.
- 3) Продемонстрирована возможность эффективного управления состоянием атомарного конденсата Бозе-Эйнштейна, локализованного в двухъямном оптическом потенциале, подвергаемого интерферометрическому зондированию.

4) Впервые построена модель, позволяющая рассматривать стационарный режим взаимодействия неклассических полей с атомными ансамблями. Продемонстрирован ряд особенности при взаимодействии атомов с экзотическими квантовыми состояниями оптического поля Юрке-Столера: кардинальное модифицирование спектра резонансной флуоресценции и статистики фотоиспусканий.

Полученные результаты имеют высокую научную ценность и опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

**В качестве замечаний можно отметить следующие:**

1) Развитые в диссертации теоретические подходы сильно идеализированы. В частности, предполагается 100% эффективность детектирования спонтанно испущенных фотонов и нулевая задержка в цепи обратной связи. С одной стороны, это представляет автору возможность выделить основные эффекты, но с другой стороны за рамками рассматриваемой задачи остаются вопрос их наблюдаемости и экспериментальной проверки.

2) Представление базовых уравнений и постулатов в некоторых случаях является слишком лаконичным. В частности, в разделе о резонансной флуоресценции пары атомов также рассматривается слишком идеализированная задача в предположении нулевого расстояния между атомами, а атомы считаются невзаимодействующими. В этом предположении определяется пространство векторов квазиспина с указанием, что ассиметричное состояние не взаимодействует с полем. Данное утверждение может быть не совсем очевидным и не совсем точным, если ввести ненулевое расстояние между атомами. Это, в частности, могло бы быть полезным для оценки наблюдаемости предсказываемых эффектов для их экспериментальной проверки. Возможно, было бы уместным приводить более детальный вывод подобных утверждений в тексте работы, либо выносить их в приложение.

**Общее заключение по диссертационной работе**

Указанные замечания не снижают научной значимости диссертационной работы. Защищаемые положения обладают научной новизной. Таким

образом, диссертационная работа Томилина В.А. «Обратная связь с переключением фазы в системах квантовой оптики и конденсированных атомов» является завершенной научно-исследовательской работой, соответствующей специальности 01.04.05 «Оптика», полностью отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика».

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Институт лазерной физики

Сибирского отделения Российской академии наук,

доктор физико-математических наук



Олег Николаевич Прудников

Почтовый адрес:

Россия, 630090, г. Новосибирск,

Пр. Академика Лаврентьева, д. 15Б.

Тел. +7-905-935 2095

e-mail: [prudnikov@laser.nsc.ru](mailto:prudnikov@laser.nsc.ru)

Специальность ВАК 01.04.21 – Лазерная физика

23.11.2018

*Олег Николаевич Прудников*  
*УДОБСТВЕРЯЮ*  
*Ученый секретарь ИЛФ СО РАН*

*Асс. / П. В. Покасов /*

*23.11.2018 г.*