

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Мастюгина Михаила Сергеевича

«Когерентная динамика и перепутывание двух кубитов, взаимодействующих с квантованными полями в резонаторе»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Актуальность работы

Диссертация Мастюгина М.С. посвящена теоретическому исследованию особенностей возникновения и динамики атом-атомных и атом-полевых перепутанных состояний систем, состоящих из двух идентичных естественных или искусственных атомов, взаимодействующих с квантованными полями идеальных резонаторов.

В последние годы появилось большое число работ, в которых динамика перепутывания в низкоразмерных двухкубитных и многокубитных системах, взаимодействующих с квантовыми полями в резонаторах, изучена не только теоретически для разнообразных моделей лазерной физики и квантовой оптики, но и экспериментально для систем нейтральных атомов и ионов в резонаторах и ловушках, примесных спинов, сверхпроводящих кубитов и других систем. В диссертационной работе детально изучены особенности возникновения перепутывания между кубитами и квантованным полем, обусловленного взаимодействием кубитов с полем резонатора, для ряда двухкубитных моделей квантовой электродинамики резонаторов, которые реализованы в последнее время экспериментально. Изучение свойств перепутанных состояний в различных физических системах является одной из наиболее актуальных задач лазерной физики и квантовой информатики в связи с широкими возможными применениями таких состояний для создания квантовых сетей и квантовых телекоммуникаций, квантовой телепортации, для реализации физически стойких протоколов квантовой криптографии и квантовых вычислений. Одной из принципиальных проблем, которая возникает при использовании перепутанных состояний, является декогеренция или потеря квантовых корреляций между частями системы за счет взаимодействия с окружением. Поэтому изучение механизмов, которые позволяют предотвратить, минимизировать или использовать влияние шума на перепутывание относится к наиболее важным проблемам современной квантовой информатики. Поэтому проведенное в диссертации исследование возможности возникновения перепутывания кубитов за счет их взаимодействия с тепловыми полями является без со-

мнения актуальным и практически важным. Выполненный в диссертации анализ динамики перепутанных состояний в многокубитных системах также относится к числу приоритетных задач квантовой информатики и лазерной физики в связи с практическими потребностями создания квантовых сетей и устройств хранения и передачи информации.

Оценка содержания диссертации

Работа состоит из введения, пяти оригинальных глав, заключения, приложения и списка использованных источников из 191 наименований. Она изложена на 151 странице. Диссертация и автореферат написаны ясным, понятным языком. Представленная диссертация соответствует специальности 01.04.21 – лазерная физика.

В первой главе дан достаточно полный и обстоятельный обзор современного состояния теоретических и экспериментальных исследований по когерентной динамике кубитов в квантовой электродинамике резонаторов. При этом особое внимание уделено обсуждению результатов экспериментальных исследований перепутанных состояний для систем кубитов, взаимодействующих с микроволновыми электромагнитными, фоннными и плазмонными полями резонаторов и ловушек.

Во второй главе диссертации изучены особенности перепутывания кубитов, взаимодействующих с одномодовым тепловым полем в резонаторе без потерь, посредством одно- и двухфотонных переходов при наличии диполь-дипольного взаимодействия и начальной когерентности кубитов. Для каждой из рассмотренных двухкубитных моделей предсказана возможность генерации перепутывания кубитов за счет взаимодействия с тепловым полем. Исследовано также влияние интенсивности теплового поля, атомной когерентности и диполь-дипольного взаимодействия на степень перепутывания кубитов.

В третьей главе показана возможность перепутывания двух ридберговских атомов, последовательно пролетающих с различными скоростями сверхпроводящий резонатор одноатомного мазера с тепловым полем. Изучены особенности перепутывания для различных начальных состояний атомов и температур резонатора.

В четвертой главе для двухкубитной модели с двухфотонными переходами на основе точного решения уравнения эволюции изучено влияние динамического штарковского сдвига на атомное перепутывание.

В пятой главе в рамках двухатомной одно- и двухмодовой модели Тависса-Каммингса исследовано влияние диполь-дипольного взаимодействия на перепутывание атомов. Рассмотрение проведено для трех- и четырехчастичных перепутанных начальных состояний атомов и поля, используемых для передачи информации в квантовых сетях.

Научная новизна полученных результатов

Представленные в диссертационной работе результаты обладают существенной научной новизной. В частности, в работе

1. Предсказана возможность генерации перепутывания двух дипольно связанных кубитов, взаимодействующих с тепловым полем в резонаторе без потерь для трех типов разрешенных переходов в кубитах.

2. Найдено, что учет начальной атомной когерентности в случае, когда только один из кубитов взаимодействует с тепловым полем резонатора, приводит к увеличению степени атомного перепутывания. Для той же модели предсказана возможность перепутывания двух первоначально возбужденных кубитов.

3. Показано, что учет динамического штарковского сдвига энергетических уровней для модели двух кубитов с вырожденными двухфотонными переходами ведет к увеличению степени атомного перепутывания для начальных когерентных сепарабельных состояний кубитов и стабилизации перепутывания для начальных атом-атомных и атом-полевых перепутанных состояний системы.

4. Выяснено влияние диполь-дипольного взаимодействия на особенности динамического поведения перепутывания двух кубитов с одно- и двухфотонными вырожденными и невырожденными переходами для различных начальных трех- и четырехчастичных атом-полевых перепутанных состояний системы “кубиты+поле”. Показана возможность исчезновения эффекта “мгновенной смерти” перепутывания при включении диполь-дипольного взаимодействия.

Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций диссертации

Все результаты диссертации получены с использованием фундаментальных уравнений квантовой механики и квантовой оптики. Достоверность полученных результатов определяется также применением теоретических моделей, адекватных описываемой ситуации, строгостью используемых математических методов, сведением результатов к уже известным, полученным в других работах для частных случаев. При этом одни результаты диссертации хорошо согласуются с экспериментальными данными, а другие носят предсказательный характер.

Новизна и практическая значимость результатов диссертации

Полученные в диссертации результаты по когерентной динамике двухкубитных систем, взаимодействующих с квантованными полями, могут быть использованы при планировании новых экспериментов по перепутыванию в одноатомных лазерах, системах джозефсоновских кубитов в микроволновых копланарных резонаторах и др. Проведенные оценки влияния различных факторов на степень перепутывания кубитов могут быть использованы при реализации устройств для передачи перепутанных состояний из атомной подсистемы в фотонную и создании квантовых сетей, а также выбора подходящих механизмов управления и контроля степени перепутывания кубитов и кубитов и поля.

Замечания по диссертационной работе

По диссертации М.С. Мастюгина имеются следующие замечания.

1. При анализе в первой главе диссертации известных экспериментальных работ по перепутыванию кубитов в электродинамике резонаторов автором не сделан полный анализ нерешенных в настоящее время проблем, возникающих при использовании перепутанных состояний. Кроме того, в работе отсутствует описание экспериментальных методов измерения количественной меры перепутывания кубитов в указанных экспериментах. Указанные недочеты затрудняют осмысление полученных результатов.
2. Для рассмотренных моделей автором не учитывалась расстройка частоты резонаторной моды и частот переходов в кубитах, хотя для различных экспериментальных реализаций моделей, рассмотренных автором, известны значения указанного параметра. Такое приближение не позволило автору, в частности, получить в разделе 5.1 хорошее количественное согласие предсказываемого временного поведения средней населенности кубитов и среднего числа фотонов в резонаторе с экспериментом.
3. В разделах 2.1 и 2.2 использован подход, позволяющий найти матрицу плотности атом-полевой системы с использованием "одетых" состояний полного гамильтониана. Однако матрица плотности может быть найдена и другими способами, например с использованием оператора эволюции. В диссертации следовало бы сопоставить различные подходы нахождения точного решения квантового уравнения Лиувилля для матрицы плотности и более

детально обосновать преимущества использованного автором представления.

4. В работе проведено численное моделирование параметров перепутывания, средних населенностей и среднего числа фотонов для ряда моделей лазерной физики, однако нигде не описаны методы, с помощью которых проводились численные расчеты.

Заключение

Отмеченные выше замечания не являются принципиальными и не изменяют общей положительной оценки диссертации Матюгина М.С. и значимости полученных в ней результатов и выводов. Работа развивает современные направления в лазерной физике применительно к изучению закономерностей динамики систем естественных и искусственных атомов, взаимодействующих с квантованными полями, и содержит ряд новых интересных результатов.

Работа представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится решение задач, имеющих существенное значение для современной лазерной физики. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в университетах, ведущих подготовку студентов по направлению лазерная физика, а также в научных лабораториях ФИАН им. П.Н. Лебедева, Института спектроскопии РАН, Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, НИЦ "Курчатовский институт", Российского квантового центра, занимающихся исследованиями в области лазерной физики и квантовой оптики.

Результаты диссертации достаточно полно представлены публикациями в отечественных и зарубежных научных журналах, а также в трудах конференций. Автором опубликовано в 28 печатных работ, в том числе 15 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Материалы диссертации докладывались на представительных международных и всероссийских научных конференциях по проблемам лазерной физики и квантовой оптики.


Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что представленная диссертационная работа Матюгина Михаила Сергеевича «Когерентная динамика и перепутывание двух кубитов, взаимодействующих с квантовыми полями в резонаторе» удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п.

9-14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор данной работы заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор,
профессор кафедры «Математика и
моделирование» ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

 О.М. Паршков

Рабочий адрес: 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77;
Телефон: 8(452) 99 87 24; e-mail: oparshkov@mail.ru

Подпись Паршкова Олега Михайловича заверяю:

Ученый секретарь Ученого Совета
ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», доктор технических
наук, профессор





П.Ю. Бочкарёв

» декабря 2015 г.