

Ф 20



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**УДК 530.145+535.14+
539.186.22**

17-87-865

ФАМ ЛЕ КИЕН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ
И СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
В ИНТЕГРИРУЕМЫХ МОДЕЛЯХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ
С ПОЛЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Специальность: 01.04.02 – теоретическая
и математическая физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук**

Дубна 1987

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

Виктор Николаевич ПОПОВ

доктор физико-математических наук

Виталий Владимирович САМАРЦЕВ

доктор физико-математических наук
профессор

Яков Абрамович СМОРОДИНСКИЙ

Ведущая организация:

Физический институт им. П.Н.Левендева АН СССР, Москва

Автореферат разослан "___" _____ 1988 г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1988 г. на заседании специализированного Совета Д047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физ.-мат. наук

В.И.ЖУРАВЛЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В последнее время заметно возрос интерес к исследованию интегрируемых квантовых моделей взаимодействия атомов с электромагнитным излучением. Это обусловлено целым рядом причин, главные из которых сводятся к следующему.

Во-первых, изучение даже упрощенных, но точно решаемых моделей позволяет получить адекватное описание целого ряда физических процессов и предсказать ряд принципиально новых явлений. Исследование интегрируемых моделей позволяет также глубже понять свойства материальной среды и света и механизмы их взаимодействия. Число точно решаемых модельных задач весьма невелико, но именно такие задачи, как правило, оказывают определяющее воздействие на развитие теории.

Во-вторых, модели, обладающие сходной математической структурой, широко применяются в различных областях физики. Такие модели имеют известную универсальность, их математическая формулировка не учитывает их конкретной физической природы. Поэтому идеи, представления и методы, разрабатываемые в теории взаимодействия излучения с веществом, обладают определенной общностью и оказываются применимыми для исследования весьма широкого класса проблем, далеко выходящих за рамки электродинамики и оптики.

В-третьих, стремительное развитие техники на современном этапе привело к экспериментальной реализации условий, при которых применима даже простейшая модель квантовой электродинамики - модель Джайнса-Каммингса, а также ряд ее обобщений. Многие интересные предсказания в этой модели были проверены и подтверждены на опытах. Полученные результаты служат отправными пунктами для изучения других, более сложных и реалистических модельных систем.

С другой стороны, в точно решаемых модельных задачах взаимодействия излучения с веществом удается детально проанализировать механизмы генерации обнаруженных недавно новых квантовых эффектов (разгруппировка фотонов, сжатое состояние электромагнитного поля и т.д.), изменяющих традиционные представления о статистике фотонов и корреляционных свойствах излучения.

Сказанное выше убедительно обосновывает актуальность темы настоящей диссертации - исследования динамических и статистических свойств в интегрируемых моделях взаимодействия атомов с полем излучения, которая, помимо чисто теоретического значения, представляет, на наш взгляд, и практический интерес в экспериментальном изучении многих физических явлений.

Цель работы состоит в развитии последовательной квантовой теории динамики атома и статистики фотонов в интегрируемых моделях, исследовании флуктуационных, корреляционных, спектральных и кооперативных свойств излучения, а также в изучении ряда возможных квантовых нелинейных эффектов.

Научная новизна и практическая ценность работы

В диссертации впервые на основе единого квантового подхода и в рамках интегрируемых моделей построена последовательная строгая теория взаимодействия конечноуровневого атома с конечномодовым полем излучения.

Развит метод операторных уравнений и характеристического оператора для исследования динамических и статистических свойств широкого класса модельных систем.

Впервые доказана интегрируемость целого ряда модельных систем квантовой электродинамики.

Дано исчерпывающее описание общей картины динамики атома и статистики фотонов. Впервые получены квантовые выражения для частот двухмодовых многофотонных осцилляций Раби, установлены соотношения между статистическими характеристиками фотонов и населенностями уровней в трехуровневых системах.

Предсказано и описано явление автоэха (затухание и возобновление осцилляций Раби) в трехуровневой системе.

Предложена модель двухмодового лазера, реализуемого на трехуровневых атомах с многофотонными переходами при наличии накачки всех трех уровней.

Изучены корреляционные свойства фотонов и временная эволюция дипольного момента трехуровневого атома. Предсказан ряд интересных квантовых эффектов, таких, как чередование быстропульсирующих и квазистационарных режимов эволюции, генерация субпуассоновской статистики фотонов, неклассическая корреляция между модами и когерентное пленение населенностей уровней в трехуровневой двухмодовой системе.

Впервые проведен всесторонний анализ поведения коллективного спонтанного излучения системы двух атомов в идеальном резонаторе, выполнено строгое исследование механизма генерации сжатого состояния света в одно- и двухатомных многофотонных моделях Джейнса-Каммингса, получены квантовоэлектродинамические выражения для зависящих от времени спектров флуоресценции. Вычислены корреляционные функции для поля. Предсказана возможность таких интересных квантовых эффектов, как ограниченное сверхизлучение, сверхизлучение, субизлучение, пленение излучения, генерация субпуассоновской статистики фотонов, сжатия света 2-го и 4-го порядка, вакуумные осцилляции Раби и расщепления спектра спонтанного излучения.

Совокупность полученных в диссертации результатов может рассматриваться как новое и перспективное направление в квантовой теории взаимодействия излучения с веществом, основанное на исследовании динамических и статистических свойств излучения и атомов в интегрируемых моделях.

Эти результаты могут быть использованы в квантовой оптике, атомной физике и физике конденсированного состояния, в частности, для совершенствования методов спектроскопии сверхвысокого разрешения, расчета процессов генерации неклассических состояний света, излучения ридберговских атомов, а также для исследования квантовых явлений в других областях физики на основе моделей, имеющих сходную математическую структуру.

ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВЫДВИГАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИИ:

1. Разлит метод операторных уравнений и характеристического оператора для исследования динамических и статистических свойств широкого класса конечноуровневых конечномодовых модельных систем. Построены замкнутые системы линейных дифференциальных операторных уравнений. Установлены соотношения между характеристическими операторами и операторами населенностей уровней. Доказана интегрируемость таких модельных систем. Указан простой путь для строгого расчета населенностей уровней атома и статистических характеристик фотонов.

2. Применение указанного метода к конкретным задачам квантовой электродинамики позволило впервые построить последовательную квантовую теорию трехуровневых двухмодовых систем с одно- и многофотонными переходами, изучить особенности поведения трехуровневой многофотонной системы, а также предсказать и исследовать ряд квантовых эффектов, возникающих в таких системах.

3. На основе указанного метода получены явные выражения для временной зависимости населенностей уровней, вероятностей атомных переходов, средних чисел и статистических моментов фотонов, функций взаимной корреляции мод и функции распределения фотонов.

4. Найдены квантовые выражения для двухмодовых частот Раби. Предсказано существование мягкой ветви этих частот, указывающей на наличие, помимо известных быстрых, также и медленных осцилляций, обусловленных корреляционными процессами в трехуровневом атоме. В случае двухуровневого атома подобная ветвь отсутствует.

5. Предсказано явление автоэха (затухание и возобновление осцилляций Раби) в трехуровневой двухмодовой системе ламбда-типа. Это явление заключается в чередовании квазистационарных и быстропульсирующих

щих режимов эволюции среднего числа фотонов в сигнальной моде, первоначально находящейся в вакуумном состоянии. Автоэхо инициируется когерентной модой при накачке девозбужденного атома. Особенностью автоэха является двойная периодичность чередования режимов эволюции. Найдены характерные времена затухания и возобновления осцилляций. Указаны проявления конкуренции между модами и возможность подавления одного перехода другим.

6. Изучены корреляционные свойства фотонов в трехуровневой двухмодовой системе лямбда-типа. Получены формулы для нормально упорядоченных вариаций чисел фотонов и корреляционных функций. Исследована временная эволюция этих величин. Предсказана возможность чередования быстропульсирующих и квазистационарных режимов эволюции статистических характеристик фотонов. Определены условия для генерации субпуассоновской статистики фотонов, антикорреляции и неклассической корреляции между модами.

7. Исследована временная эволюция дипольного момента трехуровневого атома, взаимодействующего с двумя первоначально когерентными модами поля излучения. Показано, что при когерентном начальном состоянии моды накачки и вакуумном начальном состоянии сигнальной моды поведение огибающих дипольного момента имеет характер чередования быстропульсирующих и квазистационарных режимов эволюции. Найдены оценки для характерных времен затухания и возобновления осцилляций этих огибающих.

Показана возможность когерентного пленения населенностей уровней трехуровневого атома с многофотонными переходами лямбда-типа. Найдены выражения для волновых функций состояний когерентного пленения. Установлено, что такие состояния не существуют в системах с конфигурациями типа \vee и типа каскада.

Вычислены дипольные корреляционные функции. Показано дублетное расщепление линий в спектре спонтанного излучения трехуровневого атома в резонаторе.

8. Предложена модель двухмодового лазера, реализуемого на трехуровневых атомах с многофотонными переходами при наличии накачки всех трех уровней. Для такого лазера построено квантовое кинетическое уравнение для функции распределения фотонов. Получены замкнутые системы уравнений для средних чисел фотонов и уравнение типа Фоккера-Планка для функции распределения интенсивностей мод. Найдены стационарные решения для некоторых предельных случаев. На основе этих решений предсказаны многие интересные статистические свойства фотонов в лазере. Показаны проявления конкуренции мод.

9. Исследовано взаимодействие атомов с полем излучения в рамках одно- и двухатомных многофотонных моделей Джейнса-Каммингса. Проведен всесторонний анализ поведения коллективного спонтанного излучения системы из двух атомов в резонаторе. Показана возможность таких интересных квантовых эффектов, как самоиндуцированные осцилляции Раби, пленение излучения, ограниченное сверхизлучение, сверхизлучение, субизлучение и генерация субпуассоновской статистики фотонов. Установлено, что кооперирование атомов в процессе излучения и многофотонность переходов приводят к уменьшению характерных времен процесса, возможности генерации и максимальной степени субпуассоновской статистики.

10. Проведено детальное и строгое исследование механизма генерации сжатия света в одно- и двухатомных многофотонных системах типа Джейнса-Каммингса. Получены формулы для зависящих от времени факторов сжатия. Показано, что в случае, когда атомы первоначально находились в основном состоянии, а поле в когерентном, эффект сжатия света сразу появляется на начальном этапе эволюции системы. Предсказана возможность сжатия света при спонтанном излучении. Анализ временного поведения факторов сжатия доведен до численных оценок максимальной степени сжатия. Выяснено влияние кооперирования атомов при взаимодействии с полем излучения, а также влияние механизма многофотонных переходов на формирование сжатого состояния света. Определены оптимальные условия для получения максимальной степени сжатия.

11. Исследована флуоресценция систем из одного и двух двухуровневых атомов, находящихся в идеальном резонаторе при многофотонном резонансе. Получены строгие квантовоэлектродинамические выражения для двухвременных дипольных корреляционных функций и зависящих от времени спектров флуоресценции. Изучены структуры стационарных спектров при фокковском начальном состоянии резонаторного поля. Показано, что в пределах узкой частотной полосы детектирования спектр спонтанного излучения атомов в резонаторе имеет дублетное расщепление в случае системы из одного атома и шестиплетное расщепление в случае системы из двух атомов. Предсказано существование пиков на высших гармониках в коллективном многофотонном спектре. Показано, что интенсивности таких пиков стремятся к нулю как $1/n^2$ при увеличении начального числа фотонов n в резонаторной моде.

12. Вычислены корреляционные функции для поля в многофотонной когерентной модели Джейнса-Каммингса. Получены оценки для характерных времен затухания и возобновления. Установлены закономерности зависимости этих времен от интенсивности начального когерентного поля и мультипликативности переходов. Показана возможность генерации субпуассоновской статистики, сжатия света 2-го и 4-го порядка на начальном

этапе взаимодействия первоначально невозбужденного атома с первоначально когерентным полем.

Апробация работы

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены:

- на II Международном симпозиуме по избранным проблемам статистической механики (Дубна, СССР, 1981 г.);
- на III Международном симпозиуме по избранным проблемам статистической механики (Дубна, СССР, 1984 г.);
- на IV Международном симпозиуме по избранным проблемам статистической механики (Дубна, СССР, 1987 г.);
- на II Советско-итальянском симпозиуме по математическим методам в статистической механике (Львов, 1985 г.);
- на рабочих семинарах по проблемам квантовой оптики (Дубна, 1986 г. и 1987 г.);
- на Всесоюзной школе-семинаре "Математические проблемы статистической механики и квантовой теории поля (Куйбышев, 1987 г.);
- на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, кафедры квантовой статистики и теории поля Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института общей физики АН СССР, Московского инженерно-физического института, Ленинградского государственного университета;
- на XI конференции по теоретической физике (Самсон, Вьетнам, 1986 г.);
- на XII конференции по теоретической физике (Досон, Вьетнам, 1987 г.).

Публикации. Основные результаты опубликованы в 23 работах (см. список в конце настоящего реферата).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 219 наименований. Работа изложена на 254 страницах машинописного текста и содержит 21 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение посвящено краткому историческому обзору исследований по теории взаимодействия вещества с электромагнитным излучением. Обоснована актуальность темы диссертации. Приведены цели исследований, кратко изложен материал диссертации, перечислены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе развит метод операторных уравнений и характеристического оператора, на основе которого исследуются динамические статистические свойства трехуровневой двухмодовой системы с конфигурацией λ -типа. Глава состоит из семи параграфов.

В § I дано модельное описание взаимодействия трехуровневого атома с конфигурацией λ -типа и двухмодового поля излучения в дипольном приближении и приближении вращающейся волны. В § 2 показано, что такая модель точно интегрируема. С использованием алгебраических свойств атомных операторов и законов сохранения чисел возбуждения удалось получить замкнутую систему линейных дифференциальных операторных уравнений, не содержащих фотонные операторы явно. Решение такой системы уравнений дает явные выражения для операторов населенностей уровней атома в представлении Гейзенберга. Найдены квантовые выражения для операторов частот двухмодовых осцилляций Раби. Предсказано существование мягкой ветви этих частот, указывающей на наличие, помимо известных быстрых, также и медленных осцилляций, обусловленных корреляционными процессами в трехуровневом атоме. В случае двухуровневого атома подобная ветвь отсутствует.

В §§ 3,4 исследуется динамика системы на основе полученного операторного решения. В § 3 рассмотрен случай начального состояния с определенными числами заполнения. Найдены выражения для вероятностей различных переходов атома. В § 4 рассмотрен случай произвольного начального состояния поля. Предсказана возможность явления автозвуха (затухание и возобновление осцилляций Раби) в трехуровневой двухмодовой системе λ -типа. Это явление заключается в чередовании квазистационарных и быстропульсирующих режимов эволюции среднего числа фотонов в сигнальной моде, первоначально находящейся в вакуумном состоянии. Автозвух инициируется когерентной модой при накачке девозбужденного атома. Особенностью автозвуха является двойная периодичность чередования режимов эволюции. Найдены характерные времена затухания и возобновления осцилляций. Указаны проявления конкуренции между модами и возможность подавления одного перехода другим.

В § 5 установлены и строго исследованы соотношения между характеристическими операторами и операторами населенностей уровней, позволяющие определять статистические моменты, функции взаимной корреляции, характеристические функции и функции распределения фотонов. С помощью этих соотношений удалось получить статистические характеристики поля для широкого класса начальных состояний.

В § 6 найдены явные выражения для операторов переходов и фотонных амплитуд. Строго исследована динамика системы при учете расстройки мод в случае двухфотонного резонанса. Показано, что расстройка мод

приводит к расщеплению мягкой ветви частот осцилляций Раби на две новые ветви.

В § 7 метод операторных уравнений и характеристического оператора обобщается на случай конечноуровневой конечномодовой системы с общим верхним для всех переходов уровнем. Построена замкнутая система линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами для операторов динамических величин.

Во второй главе на основе указанного метода исследуется трехуровневая двухмодовая система типа каскада с расстройкой мод. Глава состоит из шести параграфов.

В § 1 дано описание модельного гамильтониана системы в дипольном приближении и приближении вращающейся волны.

В § 2 построена замкнутая система линейных дифференциальных уравнений для операторов динамических величин. Найден явный выражения для операторов населенностей уровней и чисел фотонов в представлении Гейзенберга. Получены квантовые выражения для частот двухмодовых осцилляций Раби в системе типа каскада. Показано, что расстройка мод приводит к расщеплению мягкой ветви этих частот.

В § 3 исследуется динамика системы в случае начального состояния с определенными числами заполнения.

В § 4 изучена временная эволюция населенностей уровней и чисел фотонов при произвольных начальных состояниях поля. Для случаев первоначально когерентных и хаотических полей показана возможность затухания и возобновления осцилляций динамических величин.

В § 5 исследуется проблема статистики фотонов. Найден характеристические функции, функции распределения фотонов, статистические моменты, а также функции корреляции между модами для широкого класса начальных условий.

В § 6 рассматривается конечноуровневая конечномодовая система типа каскада. Построена замкнутая система линейных дифференциальных операторных уравнений и установлены соотношения между характеристическим оператором и операторами населенностей уровней.

Третья глава посвящена исследованию многофотонных двухмодовых трехуровневых систем. Глава состоит из шести параграфов.

В § 1 описывается трехуровневая двухмодовая система с многофотонными переходами. В § 2 исследуется динамика системы. Получены явные выражения для операторов динамических величин, оператора эволюции и характеристического оператора. Найден квантовое выражения для частот многофотонных двухмодовых осцилляций Раби. В § 3 исследуется проблема статистики фотонов. В § 4 найдены выражения для собственных состояний системы, а также выражения для вероятностей различных переходов.

В § 5 предложена и исследована модель двухмодового лазера, работающего на трехуровневых атомах с многофотонными переходами при наличии накачки всех уровней. Для такого лазера построено квантовое кинетическое уравнение для функции распределения фотонов. Получены замкнутые системы уравнений для средних чисел фотонов и уравнение типа Фоккера-Планка для функции распределения интенсивностей мод. Найден стационарные решения для некоторых предельных случаев. На основе этих решений предсказаны многие интересные статистические свойства фотонов в лазере. Показано, что в стационарном режиме лазера возможна ситуация, когда одна мода находится в состоянии, близком к когерентному, а другая мода в хаотическом состоянии.

В § 6 построена замкнутая система линейных дифференциальных операторных уравнений и установлены соотношения между характеристическим оператором и операторами населенностей уровней для обобщенной N -уровневой $(N-1)$ -модовой многофотонной системы со смешанной конфигурацией переходов.

Глава IV посвящена исследованию квантовых нелинейных эффектов в трехуровневых двухмодовых системах. На основе полученных в предыдущих главах результатов рассматриваются некоторые динамические статистические характеристики взаимодействия двухмодового поля излучения с трехуровневым атомом. Глава состоит из пяти параграфов.

В § 1 вычислены нормально упорядоченные вариации чисел фотонов в модах и исследовано временное поведение этих величин. Предсказана возможность чередования быстропульсирующих и квазистационарных режимов эволюции статистических характеристик фотонов. Получены аналитические аппроксимирующие выражения для временной зависимости и квазистационарных значений вариаций, а также для характерных времен затухания и возобновления. Показана возможность и определены условия для генерации субпуассоновской статистики фотонов.

В § 2 вычислены корреляционные функции мод. Показано, что в рассматриваемой простейшей модели двух мод, взаимодействующих с трехуровневым атомом, возможна генерация антикорреляции и неклассической корреляции между модами.

В § 3 получены явные выражения для временной зависимости дипольного момента трехуровневого атома, взаимодействующего с двумя когерентными модами резонансного поля излучения. Показано, что при начальном когерентном состоянии моды накачки и начальном вакуумном состоянии сигнальной моды поведение огибающих дипольного момента имеет характер чередования быстропульсирующих и квазистационарных режимов эволюции. Найден оценки для различных характерных времен.

В § 4 получены собственные состояния и собственные энергии многофотонной трехуровневой двухмодовой системы типа ламбда с расстройкой мод. Найдены выражения для вероятностей переходов атома. Показана возможность когерентного пленения населенностей уровней в многофотонной системе типа ламбда. Найдены выражения для волновых функций состояний когерентного пленения. Установлено, что такие состояния не существуют в системах типа V или типа каскада.

В § 5 вычислены дипольные корреляционные функции и исследован спектр спонтанного излучения трехуровневого атома в резонаторе. Показано, что каждая линия спектра этой системы имеет дублетную структуру. Такое расщепление является результатом взаимодействия атома с резонаторными модами поля и представляет собой не что иное, как проявление вакуумных (самоиндуцированных) осцилляций Раби.

В пятой главе в рамках одно- и двухатомных многофотонных моделей Джейнса-Каммингса исследуется коллективное излучение атомов в резонаторе, генерация сжатого состояния света, спектр резонансной флуоресценции и различные корреляционные функции для поля. Глава состоит из пяти параграфов.

В § I строго и детально исследовано коллективное спонтанное излучение двух двухуровневых атомов с многофотонными переходами, находящимися в идеальном резонаторе. Вычислены характеристики динамики и статистики фотонов. Показана возможность таких интересных квантовых эффектов, как самоиндуцированные осцилляции Раби, пленение излучения, ограниченное сверхизлучение, сверхизлучение, субизлучение и генерация субпуассоновской статистики фотонов. Установлено, что кооперирование атомов в процессе излучения и многофотонность переходов приводит к уменьшению характерных времен процесса, возможности генерации и максимальной степени субпуассоновской статистики. Замечено, что асимметрия кривой скорости излучения относительно времени достижения пика есть одна из особенностей коллективного поведения системы двух первоначально возбужденных атомов.

В § 2,3 исследована генерация сжатого состояния света из начального когерентного и вакуумного состояния. Получены формулы для зависящих от времени факторов сжатия. Показано, что в случае, когда атом первоначально находился в основном состоянии, а поле в когерентном, сжатие света имеет место на начальном этапе эволюции. Потом эффект исчезает и может вновь появляться. Сжатие света также может иметь место при спонтанном излучении, если атом первоначально приготовлен в специальном суперпозиционном состоянии и мультипликативность m равна 1 или 2. Выяснена роль механизма многофотонных переходов и кооперативности атомов в генерации сжатия. В случае первоначально не-

возбужденного атома и когерентного поля самая большая степень сжатия на начальном этапе эволюции получена в системе с $m=3$. А при спонтанном излучении наибольший эффект имеет место для системы с $m=2$. Найдены оптимальные для сжатия параметры начального состояния системы.

В § 4 исследована флуоресценция систем из одного и двух двухуровневых атомов, находящихся в идеальном резонаторе при многофотонном резонансе. Получены строгие выражения для двухвременных дипольных корреляционных функций и зависящих от времени спектров флуоресценции. Изучены структуры стационарных спектров при фоковском начальном состоянии резонаторного поля. Показано, что в пределе узкой частотной полосы детектирования спектр спонтанного излучения атомов в резонаторе имеет дублетное расщепление в случае системы из одного атома и шестиплежное расщепление в случае системы из двух атомов. Источником этих расщеплений являются вакуумные осцилляции Раби, связанные с наличием резонаторной моды. Установлено существование пиков на высших гармониках в коллективном спектре. Относительные интенсивности этих пиков стремятся к нулю как $1/n^2$ при увеличении числа начальных фотонов в резонаторной моде n . Наши результаты показывают, что квантовая природа резонаторного поля, кооперативность атомов и кратность резонанса (мультифотонность переходов) приводят к существенному осложнению и новым тонким чертам спектров флуоресценции.

В § 5 вычислены корреляционные функции для поля в многофотонной когерентной модели Джейнса-Каммингса. Получены оценки для характерных времен затухания и возобновления. Установлены закономерности зависимости этих времен от интенсивности начального когерентного поля и от мультипликативности переходов. Показана возможность генерации субпуассоновской статистики фотонов, сжатия света 2-го и 4-го порядка на начальном этапе взаимодействия первоначально невозбужденного атома с первоначально когерентным полем.

В заключении дано краткое обсуждение основных результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Two-photon process in a three-level system.
(Двухфотонный процесс в трехуровневой системе).
- Phys. Lett., 1984, v. 101A, No 4, p. 201-203
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
2. Exact results for a model of a three-level atom.
(Точные результаты для модели трехуровневого атома).
- Phys. Lett., 1985, v. 107A, No 4, p. 173-176
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).

3. Photon statistics and atomic dynamics in a three-level plus two-mode model.
(Статистика фотонов и динамика атома в трехуровневой двухмодовой модели).
- Phys. Lett., 1985, v. 107A, No 9, p. 456-460
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским)
4. Затухание и восстановление нелинейных осцилляций Раби в трехуровневой системе.- ДАН СССР, 1986, т. 288, № 3, с. 590-592 (совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.) и А.С.Шумовским).
5. Исследование двухфотонного процесса в трехуровневой системе и явление автоэха,- в сборнике аннотаций III-го Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики, Дубна, 1984; - ОИЯИ, Д16-84-407, с. 23, Дубна (1984); (совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
6. Динамика двухфотонного процесса в трехуровневой системе.- В книге: Проблемы современной статистической физики.- Киев: Наукова думка, 1985, с. 43-45 (совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
7. Two-photon process in a three-level system of the cascade type.
(Двухфотонный процесс в трехуровневой системе типа каскада).
- JINR, E17-84-39, Dubna (1984)
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
8. On the exactly soluble model in quantum electrodynamics.
(О точно решаемой модели в квантовой электродинамике).
- J. Phys. A, 1986, v. 19, No 2, p. 191-203
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
9. Exactly solvable three-level two-mode model with multiphoton transitions.
(Точно решаемая трехуровневая двухмодовая модель с многофотонными переходами).
- J. Phys. A, 1985, v. 18, No 16, p. L1031-L1036
(совм. с Э.И.Алискендеровым, А.С.Шумовским).
10. On a Jaynes-Cummings-type model with multiphoton transitions.
(О модели Джейнса-Каммингса-типа с многофотонными переходами).
- J. Phys. A, 1986, v. 19, No 17, p. 3607-3617.
(совм. с Э.И.Алискендеровым, Нгуен Динь Винь и А.С.Шумовским).
- II. Quantum theory of a multiphoton two-mode laser.
(Квантовая теория многофотонного двухмодового лазера).
- JINR, E17-85-852, Dubna (1985)
(совм. с А.С.Шумовским).

12. On the two-mode laser master equation.
(О кинетическом уравнении для двухмодового лазера).
- JINR Rapid Commun., No. 2(22)-87, Dubna, 1987, p. 28-34
(совм. с А.С.Шумовским).
13. Coherent trapping of populations in a three-level two-mode model with multiphoton transitions.
(Когерентное племение населенностей в трехуровневой двухмодовой модели с многофотонными переходами).
- Phys. Lett., 1987, v. 120A, No 8, p. 401-406
(совм. с Э.И.Алискендеровым, А.С.Шумовским).
14. Coherent trapping states of three-level two-mode systems with multiphoton transitions
(Состояния когерентного племения трехуровневой двухмодовой системы с многофотонными переходами).
- JINR Rapid Commun., No 6(26)-87, Dubna.
15. Statistical properties of photons in a three-level plus two-mode model.
(Статистические свойства фотонов в трехуровневой двухмодовой модели).
- J. Physique (Paris), 1986, v. 47, No 3, p. 427-435
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
16. Nonclassical correlation between light beams in the three-level two-mode model.
(Неклассическая корреляция между пучками света в трехуровневой двухмодовой модели).
- Europhys. Lett., 1987, v. 4, No 3, p. 281-285
(совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), А.С.Шумовским).
17. Нарушение неравенства Коши-Шварца в трехуровневой системе.- В сборнике аннотаций IV-го Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики.
- ОИЯИ, Д17-87-477, Дубна (1987), с. 89.
18. Collective spontaneous emission from a system of two atoms with multiphoton transitions in a cavity.
(Коллективное спонтанное излучение системы двух атомов с многофотонными переходами в резонаторе).
- J. Physique (Paris), 1987, v. 48, No 11, p. 1933-1938
(совм. с Э.И.Алискендеровым, А.С.Шумовским).
19. Squeezing in the multiphoton Jaynes-Cummings model.
(Сжатие света в многофотонной модели Джейнса-Каммингса)
- Phys. Lett., 1987, v. 124A, No 6,7, p. 351-354
(совм. с Э.И.Алискендеровым, А.С.Шумовским).

20. Light squeezing in the two-atom one-mode model with multiphoton transitions.
(Сжатие света в двухатомной одномодовой модели с многофотонными переходами).
- Physica C, 1988 (to be published);
JINR, E17-87-410, Dubna (1987).
(совм. с Е.П.Каданцевой, А.С.Шумовским).
21. Динамическое поведение дипольного момента трехуровневого атома.
- ОИЯИ, P17-85-75, Дубна, 1985 (совм. с Н.Н.Боголюбовым (мл.), Нгуен Динь Винь, А.С.Шумовским).
22. Спектр флуоресценции двух атомов в идеальном резонаторе при многофотонном резонансе.- В сборнике аннотаций IV-го Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики.- ОИЯИ, D17-87-477, Дубна (1987), с. 90 (совм. с Чан Куангом).
23. Exact results for the emission from one and two atoms in an ideal cavity at multiphoton resonance.
(Точные результаты для излучения одного и двух атомов в идеальном резонаторе при многофотонном резонансе).
- J. Phys. A, 1987, v. 20, No. , p.
JINR, E17-87-269, Dubna (1987)
(совм. с Чан Куангом, А.С.Шумовским).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 декабря 1987 года.