

ՆՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՆԱՄԱԿԱՐԱՆ

ԱՆՆԱ ՌՈՒԲԵՆԻ ՇԱՀՆՆՅԱՆ

**ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻԱՅԻ ՆԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՈՉԳԾԱՅԻՆ ԴԻՍԻՊԼԱՏԻՎ
ՆԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ**

Ա.04.02 – “Տեսական ֆիզիկա” մասնագիտությամբ ֆիզիկա-մաթեմատիկական
գիտությունների թեկնածուի
գիտական ասպիրանտի հայցման արեւնախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ШАГИНЯН АННА РУБЕНОВНА

**Исследование квантовой интерференции в нелинейных
диссипативных системах**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02—“Теоретическая физика “

ЕРЕВАН - 2013

Արենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝

ՆՆ ԳԱԱ թղթակից անդամ
Ֆիզ-մաթ. գիպ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Գ. Յու. Կրյուչկյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

ՆՆ ԳԱԱ ակադեմիկոս,
Ֆիզ-մաթ. գիպ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Է. Մ. Ղազարյան
Ֆիզ-մաթ. գիպ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Ա. Ժ. Մուրադյան

Առաջադար կազմակերպություն՝

ՆՆ ԳԱԱ
Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կկայանա 2013թ. հունիսի 15-ին ժ. 14⁰⁰-ին Երևանի պետական համալսարանում
ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Նստցեն՝ 0025, Երևան, Ալեք Մանուկյան 1:

Արենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՏ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքվել է 2013թ. մայիսի 14-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,

Ֆիզ-մաթ. գիպ. թեկնածու, դոցենտ

Վ. Պ. Բալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель:

член-корреспондент НАН РА,
доктор физико-математических наук,
профессор
Г. Ю. Крючкян

Официальные оппоненты:

академик НАН РА,
доктор физико-математических наук, профессор
Э. М. Казарян
доктор физико-математических наук, профессор
А. Ж. Мурадян

Ведущая организация:

Институт физических исследований
НАН РА

Защита диссертации состоится 15 июня 2013г. в 14 часов, на заседании специализированного совета по физике 049 Ереванского государственного университета по адресу: 0025, Ереван, ул. Алека Манукиана 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 14 мая 2013г.

Ученый секретарь специализированного совета:
кандидат физ. мат. наук, доцент

В. П. Калантарян

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

В диссертации исследуются проблемы инженерии различных квантовых состояний в нелинейных системах при наличии диссипации. К числу таких состояний относятся суперпозиционные состояния, наличием которых обусловлены различные квантовые интерференционные эффекты, а также осцилляторные состояния Фока. Большой интерес к суперпозиционным состояниям возник в 1935 г., после того как Эрвин Шредингер придумал свой мысленный эксперимент [1], который был предложен для доказательства неполноты квантовой теории. Однако данный мысленный эксперимент, в котором обсуждаются, так называемые, состояния Шредингеровской кошки, привел к развитию новых направлений для экспериментаторов и теоретиков. Первыми экспериментами, иллюстрирующими состояния Шредингеровской кошки были [2, 3], в которых были рассмотрены, в основном, атомные суперпозиционные состояния. К настоящему времени предложены многочисленные теоретические схемы для получения суперпозиционных состояний, на основе когерентных состояний, осцилляторных состояний, состояний иона в ловушке, фотонных состояний в микро- и оптическом резонаторе, электронных состояний в квантовой яме, квантовых состояний в сверхпроводящей цепи и др. [4]. Часть из этих схем уже реализована экспериментально [5].

В данной диссертационной работе предложены системы, основанные на ангармоническом осцилляторе, под воздействием возмущающей силы в импульсном режиме. Проблемы связанные с генерацией суперпозиционных состояний обусловлены, в первую очередь, с взаимодействием системы с окружающей средой и декогеренцией. Действительно, открытые квантовые системы быстро теряют квантовые свойства, что и приводит к быстрому распаду суперпозиционных состояний.

Существование суперпозиционных состояний привело к появлению новых идей в квантовой криптографии и информации. В 1985 году Д. Дойч (Deutsch) показал [6], что в силу своих отличительных свойств квантовая вычислительная машина, основанная на принципе суперпозиционных состояний, способна решать некоторые задачи намного быстрее, чем классическая ЭВМ. В 1994 г. Петер Шор открыл квантовый алгоритм для факторизации чисел, позволяющий разложить число с N элементами за полиномиальное время [7]. Затем Гровер в 1997 году предложил квантовый алгоритм для быстрого поиска объекта в неупорядоченной базе данных [8]. Центральную роль во всех исследованиях в области квантовой информации, включая различные схемы квантовой коммуникации, квантовые вычисления, квантовую криптографию, квантовую телепортацию [9, 10] играют принцип суперпозиции квантовых состояний и явление квантового перепутывания. Инженерия квантовых состояний, в частно-

сти, суперпозиционных состояний является одним из актуальных направлений современной квантовой физики, которая уже теперь приводит к многочисленным прикладным приложениям. Таким образом разработка новых подходов для уменьшения эффектов декогеренции и создания квантовых суперпозиционных состояний является актуальной проблемой для теоретиков и экспериментаторов.

Настоящая диссертационная работа посвящена, в основном, теоретическому исследованию различных осцилляторных систем для получения квантовых состояний и квантовых интерференционных эффектов. Приведенные схемы интересны тем, что в них эффекты декогеренции подавляются и следовательно реализуются долгоживущие квантовые состояния. Для эффективного подавления декогеренции в диссертации разработан метод контролирования состояний нелинейных систем, путем временной модуляции ее квантовой динамики.

Другая цель работы состоит в исследовании операционных режимов нелинейных осцилляторных систем, которые приводят к интерференционным состояниям. Такими режимами являются хаотический режим и бистабильный. В настоящей диссертационной работе также рассматривается проблема получения суперпозиционных состояний в режимах бистабильности и квантового хаоса для диссипативных осцилляторных систем. В диссертационной работе развит общий численный метод исследования приведенных проблем как на микроскопическом уровне числе осцилляторных состояний, так и в мезоскопическом режиме.

Целью диссертационной работы является:

- Теоретическое исследование новых подходов для приготовления Фоковских состояний и суперпозиционных состояний Фока в диссипативных нелинейных осцилляторных системах.
- Развитие квантовой теории диссипативного нелинейного осциллятора под воздействием силы с зависящими от времени коэффициентами, в частности, под воздействием вынуждающей силы с модулированной по времени амплитудой или в форме последовательности Гауссовских импульсов.
- Исследования квантово-классического соответствия в режиме хаоса и интерференционных эффектов на основе диссипативного ангармонического осциллятора (ДАО).
- Развитие квантовой теории бистабильности для ангармонического осциллятора и интерференционных эффектов обусловленных бистабильностью.
- Исследование квантовых эффектов в диссипативном ангармоническом осцилляторе в области низкого уровня чисел заполнения осциллятора.

Методы исследования: Исследуемая модель, ангармонического диссипативного осциллятора с временной модуляцией не имеет аналитических решений. Поэтому, для исследований использованы численные методы, в частности, использован метод диффузии квантового состояния для вычисления матрицы плотности систем. Для эффективности расчетов использованы компьютерные программы.

Новизна работы:

- Предложен новый подход к приготовлению Фоковских состояний и суперпозиционных состояний Фока для ДАО с Керровской нелинейностью при наличии диссипации. Метод основан на управлении ДАО с Гауссовскими импульсами, это позволяет генерировать состояния Фока для состояний с малыми числа заполнения.
- Развита теория диссипативного ангармонического осциллятора под воздействием внешнего монохроматического поля при условии временной модуляции коэффициента Керровской нелинейности.
- Впервые показано, что квантовая интерференция может иметь место в режимах бистабильности или хаоса, несмотря на широко распространенное мнение, что интерференция наблюдается при наличии когерентности, а когерентность нарушается в хаотическом режиме.
- Впервые показано, что бистабильность может наблюдаться на микроскопическом уровне чисел заполнения осциллятора.
- Впервые обсужден квантовый диссипационный хаос для диссипативного ангармонического осциллятора под воздействием последовательности Гауссовских импульсов.

Практическая ценность работы: Полученные в диссертации результаты помимо академического интереса имеют также прикладное значение. Рассматриваемые модели осцилляторов могут быть применены к нано-механическим осцилляторным системам, в области сверхпроводящих джозефсоновских контактов, в оптико-волоконных системах для проблем коммуникаций. Предложенные различные подходы к созданию квантовых состояний могут быть использованы для различных квантовых технологий в том числе квантовых коммуникаций и квантовой литографии. Разработана библиотека для открытых квантовых системах, которая может быть использована локально на персональных компьютерах и в GRID инфраструктурах.

Основные положения выносимые на защиту:

- Новый подход для получения долгоживущих Фоковских состояний и суперпозиционных Фоковских состояний в нелинейном диссипативном осцилляторе основанном на воздействии Гауссовских импульсов.
- Новый подход для создания квантовой интерференции в нелинейном диссипативном осцилляторе в бистабильном и хаотическом режимах основанный на модуляции амплитуды внешнего поля или Керровской нелинейности.
- Теория квантового диссипативного хаоса для ангармонического осциллятора под воздействием последовательности Гауссовских импульсов на основе вычисления функции Вигнера.
- Результаты исследования квантовой бистабильности и хаоса в строгом квантовом режиме для низкого, микроскопического уровня числа возбуждений осциллятора.

Апробация полученных результатов. Основные результаты диссертации докладывались на международных конференциях «Mathematical Modeling and Computational Physics-2009», Dubna, Russia, «Modern Problems in Photonics and Optics-2009», Yerevan, Armenia, «CSIT», Yerevan, Armenia, «GRID 2010», Dubna, Russia, «Laser Physics 2011», Ashtarak, Armenia.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Содержание изложено на 114 страницах печатного текста, включая 23 рисунков и 184 библиографических ссылок.

Содержание работы

Во введении приведен обзор результатов, связанных с темой диссертации, обоснована актуальность темы, сформулирована цель, отмечена новизна результатов.

Содержание главы 1. Глава 1 носит вводный характер. В ней описываются аналитические и численные методы для исследования открытых квантовых систем. В частности, приведены свойства матрицы плотности, которые использованы для исследования, и аппроксимации для решения уравнений. В этой главе

также представлены некоторые свойства ангармонического осциллятора. Приведены экспериментально реализуемые системы, теоретической моделью которых является нелинейный диссипативный осциллятор. Обсуждены различные приложения диссипативного ангармонического осциллятора и области изменений его параметров.

В параграфе 1.1 описываются свойства матрицы плотности, а так же уравнение матрицы плотности при слабом взаимодействии с окружающей средой.

В параграфе 1.2 приведено определение функции Вигнера и ее свойства.

В параграфе 1.3 приведено описание метода диффузии квантовых состояний (ДКС) в котором временная эволюция квантовой системы при наличии диссипации представляется в виде разложения по ансамблю квантовых траекторий. Каждая из траекторий описывается вектором состояния $\Psi_{\xi^{(n)}}(t)$, где ξ^n -ансамбль стохастических параметров с нулевым средним значением, который управляется нелинейным стохастическим уравнением Шредингера. Матрица плотности системы получается в результате стохастического усреднения по бесконечному числу таких траекторий.

В параграфе 1.4 приведены детали приложения диссипативного ангармонического осциллятора. Показано, что модель ангармонического осциллятора может быть использована для представления наномеханического осциллятора, электрических цепей с джозефсоновским переходом, электрона в ловушке Пеннинга, управляемого магнитным полем. Эти системы особенны тем, что для этих систем реализована сильная нелинейность в экспериментах.

Содержание главы 2. В главе 2 обсуждены результаты исследования Фоковских состояний, обсуждены новые методы для создания суперпозиционных Фоковских состояний. Оригинальность метода состоит в том, что в них диссипативный ангармонический осциллятор не связан с атомными системами, как это принято в литературе, а вместо этого использованы нелинейность осциллятора и контролирование ДАО посредством последовательности Гауссовских импульсов. Такой подход легко может быть реализован на эксперименте [A2, A6].

В параграфе 2.1 приведено определение Фоковских состояний, применения Фоковских состояний в теории и на практике. Представлены проблемы создания Фоковских состояний, а также методы приготовления этих состояний.

В параграфе 2.2 рассмотрен ДАО под воздействием последовательности Гауссовских импульсов со следующим Гамильтонианом в приближении вращающейся волны: $H = \hbar\Delta a^+ a + \hbar\chi(a^+ a)^2 + \hbar(\Omega(t)a^+ + \Omega^*(t)a)$, где a^+ , a – операторы рождения и уничтожения мод резонатора, где $\Delta = \omega_0 - \omega$ – расстройка между средней частотой задающего поля и частотой осциллятора, χ – параметр нелинейности, $\Omega(t) = \Omega \sum_n e^{-(t-t_0-n\tau)^2/T^2}$, где T длительность импульса, τ временной интервал между импульсами. Результаты анализа показывают, что фоковские состояния реализуются для случая сильной Керровской нелинейности, при $\chi > \gamma$, когда уровни осциллятора не эквидистантны. В этом случае фоковские состоя-

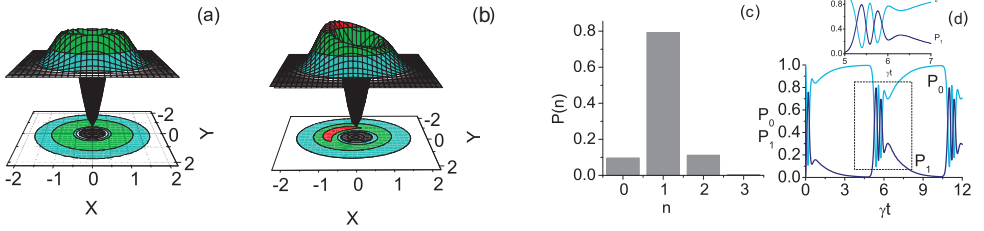


Рис. 1: Получение фокковских состояний в ДАО под воздействием последовательности Гауссовских импульсов и демонстрация на основе вычислений функции Вигнера в фазовом пространстве. (a) Функция Вигнера соответствующая $|1\rangle$ чистому состоянию. (b) Функции Вигнера ДАО в $t = 3\tau - 0.25T$. Области отрицательных значений в фазовом пространстве приведены в черном. Распределение числа заполнений для временных интервалов соответствующих максимальному значению (c) для $|1\rangle$ состояния и (d) населенности зависящих от времени. На вставке показан увеличенный график для детальной визуализации осцилляций Раби. Параметры равны: $\Delta/\gamma = -15$, $\chi/\gamma = 15$, $\Omega/\gamma = 6$, $T = 0.4\gamma^{-1}$ и $\tau = 5.5\gamma^{-1}$.

ния получаются в резонансных переходах между энергетическими состояниями. Также в импульсном режиме удастся подавить эффекты диссипации и декогеренции. Детально исследован случай получения первого возбуждения состояния $|1\rangle$. Результаты приведены на Рис. 1.

В параграфе 2.3 представлены результаты по получению суперпозиционных фокковских состояний для ДАО под действием Гауссовских импульсов. Вычислены средние значения и распределения вероятностей чисел заполнения осциллятора. Детальный анализ приведен для суперпозиционного состояния $|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$. Для идентификации этого состояния вычислена динамика так называемого фиделити ($F = \langle\Psi|\rho|\Psi\rangle$), которая равна $F = 0.88$ в максимуме, функция Вигнера, а также используется временная эволюция Раби осцилляций между состояниями $|0\rangle$ и $|1\rangle$.

Параграф 2.4 содержит заключение к главе 2.

Содержание главы 3. В главе 3 приводятся результаты исследования эффектов квантовой интерференции для для трех систем: ангармонического осциллятора управляемого двумя внешними силами с разными частотами, ангармонического осциллятора с временной модуляцией Керровской нелинейности третьего порядка, ангармонического осциллятора под воздействием последовательности Гауссовских импульсов. Эти три системы проявляют в фазовом пространстве общие свойства, хотя и отличаются в деталях. В этой главе обсуждены операционные режимы ангармонического осциллятора при наличии временной модуляции для получения квантовой интерференции в фазовом пространстве, вопросы возникновения бистабильности для низкого уровня чисел заполнения осцилля-

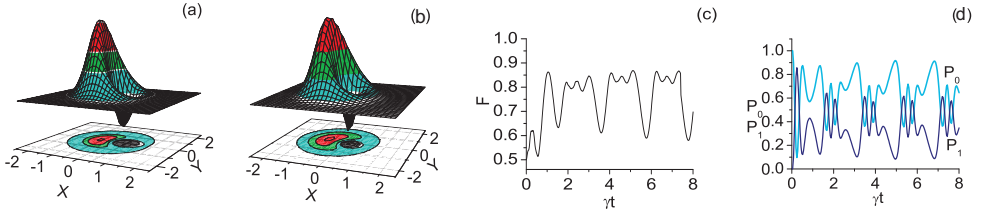


Рис. 2: ДАО под воздействием последовательности Гауссовских импульсов. (а) Функция Вигнера для чистого $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$ состояния. (b) Функции Вигнера ДАО в $t = 5\tau - 0.4T$. Диапазоны отрицательных значений функции Вигнера приведены в черном. (c) Временная эволюция Фиделити, (d) популяция числа заполнений. Параметры соответственно равны: $\Delta/\gamma = -11$, $\chi/\gamma = 15$, $\Omega/\gamma = 7$, $T = 0.7\gamma^{-1}$, и $\tau = 2.2\gamma^{-1}$

тора в квантовом пределе. Эти явления исследованы в фазовом пространстве в рамках функции Вигнера. [A4, A5, A10, A11]

В параграфе 3.1 приведены проблемы связанные с бистабильностью в квантовом режиме, практическое применение бистабильности. В этом параграфе также рассматривается ДАО с зависящими от времени параметрами. Приводятся экспериментальные схемы, для которых применим Гамильтониан ДАО с зависящими от времени параметрами при больших нелинейностях.

В параграфе 3.2 рассмотрены области бистабильности в квантовом пределе, при небольшом числе заполнения осциллятора. Приведены исследования ДАО под управлением последовательности Гауссовских импульсов в режиме бистабильности и по получению интерференционных картин в области бистабильности. С этой целью рассмотрены: среднее число заполнения осциллятора, функция Вигнера, эволюция отдельных квантовых траекторий и сечение Пуанкаре. Исследования приведенные в этом параграфе интересны с точки зрения перехода от квантового к классическому пределу в режиме бистабильности. С этой целью в этом параграфе исследована также бистабильная динамика с точки зрения масштабной инвариантности системы, которая ведет к увеличению числа возбуждения осциллятора. Характерные результаты показаны на Рис. 3, из которых следует, что среднее число осцилляторных заполнений имеет низкий уровень, и система находится в сильном квантовом режиме. Анализ одной квантовой траектории Рис. 3(d) показывает, что система находится в одном из двух бистабильных состояний в разные интервалы времени и реализуется переход между этими состояниями.

В параграфе 3.3 предложен и исследован ДАО с временной модуляцией керровской нелинейности и с временной модуляцией амплитуды внешней силы. Модуляция нелинейности описывается следующим образом $\chi(t) = \chi_0 + \chi_1 \sin(\delta t)$, где δ -частота модуляции нелинейности третьего порядка, ϕ -фаза. Параграф на-

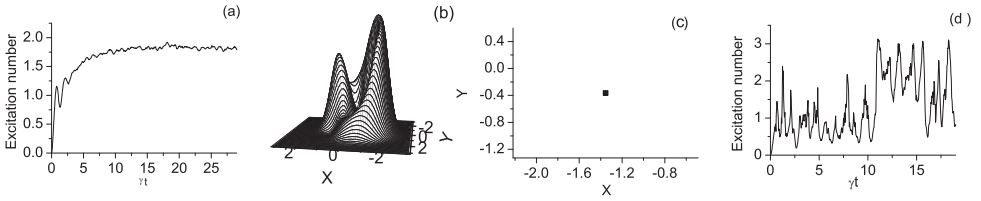


Рис. 3: ДАО под воздействием монохроматической силы. Демонстрация бистабильности для микроскопического уровня числа возбуждения. (a) Число заполнения, (b) функция Вигнера, (c) полуклассическое сечение Пуанкаре, которое демонстрируют, что система в полуклассическом подходе находится в моностабильном режиме. Таким образом бистабильность имеет место в квантовом режиме. (d) Эволюция во времени числа возбуждения, которые демонстрируют бистабильное поведение по одной траектории. Параметры равны: $\Delta/\gamma = -8$, $\chi/\gamma = 2$, и $\Omega/\gamma = 2.7$.

чинается кратким обсуждением метода получения суперпозиционных когерентных состояний для ангармонического осциллятора без диссипации. Показано, что временная модуляция позволяет контролировать временные интервалы, при которых наблюдается квантовая интерференция. Далее рассмотрен ДАО с зависящими от времени параметрами, и методом ДКС вычислена функция Вигнера, которая в фазовом пространстве в режиме бистабильности показывает интерференционные эффекты для временных интервалов, превышающих характерное время диссипации, $t \ll \gamma^{-1}$ для обеих рассматриваемых систем.

Параграф 3.4 содержит заключение к главе 3.

Содержание главы 4. В главе 4 обсуждены результаты для генерации квантовой интерференции обусловленная квантовым хаосом. В этой главе рассмотрены две системы проявляющие режимы хаоса, к которым относятся ангармонический осциллятор с зависящим от времени нелинейным коэффициентом и ангармонический осциллятор управляемый последовательностью Гауссовских импульсов. В этой главе также обсужден квантово-классическое соответствие в режиме хаоса в рамках масштабной инвариантности. [A1, A5, A7, A8]

В параграфе 4.1 приведено определение квантового хаоса и проблемы связанные с него. Рассмотрены наблюдаемые хаоса в классическом подходе: сечение Пуанкаре, экспонента Ляпунова.

В параграфе 4.2 показано, что сечение Пуанкаре соответствует контурным сечениям функции Вигнера, но не в строгом в квантовом пределе.

В параграфе 4.3 исследован квантовый хаос на основе одной квантовой траектории полученной из ДКС для ДАО с временно-зависящей управляемой силой. В данном параграфе рассматривается переход от регулярной к хаотической динамике на основе сечения Пуанкаре одной квантовой траектории.

В параграфе 4.4 приведены результаты исследования хаотического режима

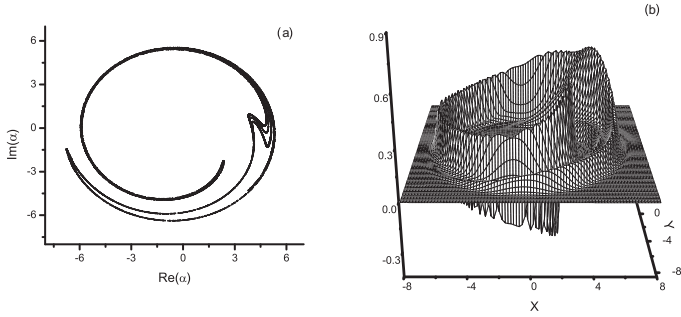


Рис. 4: Демонстрация появления квантовой интерференционных эффектов для ДАО с модулированной нелинейностью. Функция Вигнера (a); контурное сечение функции Вигнера (b). Параметры соответствуют режиму бистабильности: $\Delta/\gamma = -15$, $\chi(t)/\gamma = 1.5(1 + 0.5 \sin(\delta t))$, $\delta/\gamma = 5$, $f/\gamma = 10.2$.

ДАО на основе функции Вигнера и исследования квантовой интерференции для хаотической динамики. Исследования проведены для ДАО с зависящим от времени параметром нелинейности. В параграфе показано, что временная модуляция параметра нелинейности ведет к формированию квантовой интерференции в фазовом пространстве. Типичные результаты для функции Вигнера и сечении Пуанкаре приведены на Рис. 4. Как видно из Рис. 4 сечение Пуанкаре характерно для диссипативного хаоса, а функция Вигнер имеет области отрицательных значений.

В параграфе 4.5 предложена экспериментально реализуемая модель, для исследования квантовой хаотической динамики. Этой моделью является ДАО под управлением последовательности Гауссовских импульсов. Найдены режимы ДАО при которых имеет место квантовый хаос. Проявление хаотической динамики исследовано на основе функции Вигнера, экспоненты Ляпунова и сечения Пуанкаре.

Основные результаты работы:

- Показано, что Фоковские состояния могут быть реализованы в осцилляторе с Керровской нелинейностью под влиянием последовательности Гауссовских импульсов в резонансных переходах между осцилляторными уровнями энергий. Замечателен тот факт, что генерация квантовых состояний имеет место при учете диссипации и декогеренции. Для создания Фоковских состояний необходимым требованием является сильная нелинейность, когда энергетический спектр не эквидистантен.

- Показано, что суперпозиционные Фоковские состояния, могут быть реализована в диссипативном ангармоническом осцилляторе под воздействием последовательности Гауссовских импульсов, для больших временных интервалов, превышающих время декогеренции.
- Показано, что интерференция в фазовом пространстве, обусловленная суперпозицией квантовых состояний, может быть реализована в диссипативном ангармоническом осцилляторе в режиме бистабильности. Это продемонстрировано для ангармонического осциллятора с модуляцией амплитуды внешнего поля, с модуляцией Керровской нелинейности или под воздействием последовательности Гауссовских импульсов. Во всех трех системах в бистабильном режиме наблюдается интерференция вследствие временной модуляции.
- Показано, что бистабильность в ДАО имеет место также в строго квантовом режиме, для низкого уровня чисел возбуждения.
- Показано, что интерференция в фазовом пространстве, обусловленная суперпозицией квантовых состояний, может быть реализована в диссипативном ангармоническом осцилляторе в режиме хаоса.
- Предложена новая модель для исследования квантового хаоса на основе ангармонического диссипативного осциллятора под воздействием последовательности Гауссовских импульсов. Обнаружены квантовые проявления хаоса на основе численных методов вычисления функции Вигнера.
- Рассмотрен принцип квантово-классического соответствия на основе квантового хаоса. Исследования базируются на сечении Пуанкаре основанной на одной квантовой траектории. Показано, что система может проявлять хаотическую квантовую динамику, когда в классическом пределе хаотическая динамика уже не проявляется.
- Разработан пакет программ на основе параллельных вычислений для исследований в квантовой физике.

Список литературы

- [1] E. Schrodinger, "Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik (The present situation in quantum mechanics)". *Naturwissenschaften*, (1935).
- [2] C. Monroe, D. Meekhof, B. King, D. Wineland, "A Schrödinger Cat Superposition State of an Atom " , *Science* **272**, 1131 (1996).
- [3] J. R. Friedman, P. Vijay, W. Chen, S. K. Tolpygo and J. E. Lukens, "Quantum superposition of distinct macroscopic states" , *Nature* **406**, 43 (2000).

- [4] M. Brune, S. Haroch, J. M. Raimond, L. Davidovich and N. Zangy, "Manipulation of photons in a cavity by dispersive atom-field coupling: quantum nondemolition measurements and generation of Schrödinger cats", *Phys. Rev. A* **45**, 5193 (1992).
- [5] Y. Makhlin, G. Schön, A. Shnirman, "Quantum-state engineering with Josephson-junction devices", *Rev. Mod. Phys.* **73**, 357 (2001).
- [6] D. Deutsch, Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer, *Proc. R. Soc. Lond. A*, v.400, pp.97-117 (1985).
- [7] P. W. Shor, "Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring", *Proc. 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (Shafi Goldwasser, ed.)*, IEEE Computer Society Press, 124, (1994).
- [8] L. K. Grover, "Quantum mechanics helps in searching for a needle in a haystack", *Phys. Rev. Lett.* **79**, 325, (1997).
- [9] D. Bouwmeester, J.W. Pan, K. Mattle, M. Eible, H. Weinfurter, and A. Zeilinger, "Experimental quantum teleportation", *Nature*, London, **390**, 575 (1997).
- [10] K. Shimizu, N. Imoto, and T. Mukai, "Dense coding in photonic quantum communication with enhanced information capacity", *Phys. Rev. A* **59**, 1092 (1999).

Работы автора по теме диссертации

- A1 A. R. Shahinyan, "Образование квантового хаоса в ангармоническом осцилляторе под воздействием последовательности Гауссовских импульсов", *Известия НАН, Армения*, 48, N1, 33 (2013).
- A2 T. V. Gevorgyan, A. R. Shahinyan, and G.Yu. Kryuchkyan, "Generation of Fock states and qubits in periodically pulsed nonlinear oscillator", *Physical Review A* 85, 053802 (2012).
- A3 H. V. Astsatryan, T. V. Gevorgyan, A. R. Shahinyan, "Web Portal for Photonic Technologies Using Grid Infrastructures", *Journal of Software Applications*, pp. 864-869 Vol.5 No.11, (2012).
- A4 T. V. Gevorgyan, A. R. Shahinyan, G. Yu. Kryuchkyan, "Qubits in Artificial Oscillatory Systems", *Актуальные вопросы физики низкоразмерных систем*, Edit Print, стр. 58-71, (2012).
- A5 T. V. Gevorgyan, A. R. Shahinyan, and G.Yu. Kryuchkyan, "Quantum interference and sub-Poissonian statistics for time-modulated driven dissipative nonlinear oscillators", *Physical Review A* 79, 053828 (2009).
- A6 A. Shahinyan, T. Gevorgyan, G. Kryuchkyan, "Artificial atom in quantum distributions", *SPIE*, v.7998, 799817 (5p.) (2011).
- A7 T. V. Gevorgyan, S. B.Manvelyan, A. R. Shahinyan, and G. Yu. Kryuchkyan, "Scaling invariance for dissipative chaos", *Physics of Particles and Nuclei Letters*, Volume 8, Issue 5, pp.476-478, (2011).

- A8 T. V. Gevorgyan, S. B. Manvelyan, A.R. Shahinyan, and G. Yu. Kryuchkyan, "Dissipative Chaos in Quantum Distributions", Modern Optics and Photonics: Atoms and Structured Media. Eds: G. Kryuchkyan, G. Gurzadyan and A. Papoyan, World Scientific, 60-77, (2010).
- A9 T. Gevorgyan, A. Shahinyan and G. Kryuchkyan, "Extendible C ++ Application in Photonic Technologies based on Parallel programming", Proceedings of Conference on CSIT 2009, Yerevan, Armenia, Sept. 27-Oct.2, p. 367-371, (2009).
- A10 T. Gevorgyan, A. Shahinyan and G. Kryuchkyan, "Quantum interference and dissipation in time-modulated nonlinear oscillator", Book of Abstract of XXVII International Colloquium on Group Theoretical Methods in Physics, Yerevan, Armenia, August 13-19, p.18 (2008).
- A11 T. Gevorgyan, A. Shahinyan and G. Kryuchkyan, "Quantum effects in nanomechanical nonlinear oscillator", Proceedings of Conference on Laser Physics 2007, Ashtarak, p. 26-31, (2008).

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

ԱՆՆԱ ՌՈՒԲԵՆԻ ՇԱԽՆՅԱՆ

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՅՈՒՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԻ ՆՏԱՋՈՏՈՒՄԸ

ՈՉԳԾԱՅԻՆ ԴԻՍԻՊԱՏԻՎ ՆԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Արենախոսությունը նվիրված է Կարբեր քվանտային վիճակների գեներացիային ոչգծային դիսիպատիվ համակարգերում: Այդ վիճակների դասին են պատկանում Ֆոկի և սուպերպոզիցիոն վիճակները, որոնցով պայմանավորված են քվանտային ինտերֆերենցիոն երևույթները: Քվանտային սուպերպոզիցիոն վիճակները հանդիսանում են քվանտային ֆիզիկայի հիմնական սկզբունքերից մեկը: Սուպերպոզիցիոն վիճակների նկատմամբ հեթաբրքություն առաջացել է 1935 թ. Է. Շրյոդինգերի մտավոր փորձի առաջարկումից հետո, ինչը առաջարկվել էր, որպես քվանտային տեսության ոչլրիվության ապացույց: Չնայած քվանտային սուպերպոզիցիոն վիճակների տեսական վաղ կանխատեսմանը, դրանց փորձում հնարավոր եղավ գրանցել 90-ականներին ապոմային համակարգերում: Այնուհետև առաջարկվեցին այլ համակարգեր, որոնցում հնարավոր է գրանցել սուպերպոզիցիոն վիճակներ: Առաջարկված համակարգերի շարքին են պատկանում օպտիկական ռեզոնատորները, նանոօսցիլյատորները, ջոզեֆսոնյան անցումով էլեկտրական գերհաղորդիչ շղթաները: Աշխարհում առաջարկված են մոդելներ ոչգծային օսցիլատորի հիման վրա: Սուպերպոզիցիոն վիճակների սրացման պրոբլեմը պայմանավորված է դիսիպացիայով և դեկոհերենցիայով, քանի որ բոլոր իրական համակարգերը բաց են, որոնք հանգեցնում են սուպերպոզիցիոն վիճակների վերացմանը:

Քվանտային սուպերպոզիցիոն վիճակներն ունեն լայն կիրառություն քվանտային ինֆորմատիկայում: Դրանց վրա են հիմնված մի շարք քվանտային ալգորիթմներ: Քվանտային սուպերպոզիցիոն վիճակների գեներացիան հանդիսանում է ժամանակակից քվանտային ֆիզիկայի արդիական խնդիրներից մեկը, որն ունի բազմաթիվ կիրառական նշանակություններ, բայց դրանց սրացումը մեծ բարդություն է ներկայացնում: Նոր մեթոդների մշակումը և ուսումնասիրումը տեսաբանների և փորձարարների արդիական խնդիրներից է: Արենախոսության մեջ ուսումնասիրված են նաև ռեժիմներ, որոնք կարող են նպաստել կամ խանգառել քվանտային ինտերֆերենցիոն երևույթների գեներացիային, այդպիսիք են բիսպարբիությունը և քվանտային քառսը: Նայրնի է, որ քառսային ռեժիմում քվանտային կոհերենցիան վերանում է, ինչը նպաստում է քվանտային ինտերֆերենցիայի վերացմանը: Աշխարհում քննարկվում է քվանտային ինտերֆերենցիոն երևույթների սրացումը քվանտային ռեժիմում: Արենախոսությունում սրացվել են հետևյալ արդյունքները.

- Ցույց է տրված, որ հնարավոր է Ֆոկի վիճակները գեներացիա ոչգծային դիսիպատիվ օսցիլյատորում հաջորդական Գաուսյան իմպուլսների ազդեցության փակ օսցիլյատորի էներգետիկ մակարդակների ռեզոնանսային անցումների

դեպքում: Նապրկանշական է, որ գեներացիան դիտարկվում է դիսիպացիայի և դեկոհերենցիայի առկայությամբ: Ֆոկի վիճակների գեներացիայի անհրաժեշտ պայամաններից է ուժեղ ոչգծայնությունը, երբ էներգետիկ մակարդակները այլևս հավասարահեռ չեն:

- Ցույց է փրված, որ հնարավոր է Ֆոկի սուպերպոզիցիոն վիճակների գեներացիա ոչգծային դիսիպատիվ օսցիլյատորում հաջորդական Գաուսյան իմպուլսների ազդեցության փակ, մեծ ժամանակային ինտերվալների դեպքում, երբ ժամանակը գերազանցում է դեկոհերենցիայի ժամանակին:
- Ցույց է փրված, որ փուլային փարածության մեջ քվանտային ինտերֆերենցիոն երևույթներ կարելի է գրանցել բիսպարբիլության ռեժիմում դիսիպատիվ ոչգծային օսցիլյատորում: Դա ցույց է փրված հեղույակ մոդելների համար՝ ոչգծային օսցիլյատորի ժամանակային մոդուլացված արտաքին դաշտի ամպլիտուդի, ոչգծային օսցիլյատորի ժամանակային մոդուլացված ոչգծայնության պարամետրի և ոչգծային օսցիլյատորի հաջորդական Գաուսյան իմպուլսների ազդեցության փակ: Երեք մոդելներում բիսպարբիլության ռեժիմում հայտնաբերվել են ինտերֆերենցիոն երևույթներ դիսիպացիան գերազանցող ժամանակներում:
- Ցույց է փրվել, որ ոչգծային օսցիլյատորում առկա է բիսպարբիլ դինամիկա ցածր լրացման թվի դեպքում՝ խորը քվանտային ռեժիմում:
- Ցույց է փրվել, որ փուլային փարածության մեջ քվանտային ինտերֆերենցիոն երևույթներ կարելի է գեներացնել քառսի ռեժիմում դիսիպատիվ ոչգծային օսցիլյատորում:
- Առաջարկվել է նոր մոդել քվանտային քառսի ուսումնասիրման համար: Մոդելը հիմնված է դիսիպատիվ ոչգծային օսցիլյատորի վրա հաջորդական Գաուսյան իմպուլսների ազդեցության փակ:
- Ուսումնասիրվել է քվանտա-դասական համապատասխանությունը քվանտային քառսի հիման վրա: Ներագոյությունները հիմնված են մեկ քվանտային հեղույակի Պուանկարե կորվածքի վրա: Ցույց է փրված, որ քառսային դինամիկան առկա է այն դեպքում, երբ դասական սահմանում համակարգի դինամիկան ռեգուլյար է:
- Մշակվել է մի ծրագրային փաթեթ՝ հիմնված զուգահեռ հաշվարկների վրա, քվանտային օպտիկայի և քվանտային ինֆորմատիկայի խնդիրների ուսումնասիրման համար: Փաթեթը կիրառելի է, երբ ուսումնասիրվող համակարգը նկարագրվում է բոզոնային օպերատորների միջոցով:

SUMMARY
ANNA RUBEN SHAHINYAN
INVESTIGATION OF QUANTUM INTERFERENCE
IN DISSIPATIVE NONLINEAR SYSTEMS

This thesis relates to one of the most promising and rapidly developing areas of modern physics and quantum-information science. The ultimate goal of research in this field is the investigation and production of quantum interference effects. There are presented several oscillatory models which can lead to Fock and superposition state production. Superposition states are the guarantee of interference effects. The big interest to superposition state has occurred after 1935, when E. Schrodinger has suggested his experiment. The experiment leads to interest of so called Schrodinger cat states for experimentators and theoretics. The first experiment illustrating Schrodinger cat state was done in atomic system at the end of 20th century. Later there were suggested several models based on nanomechanical oscillator, Josephson junction, optical cavities where superposition states can be illustrated. Quantum superposition states have wide range of applications. Mostly they have significant role in quantum information. There are wide range of algorithms in quantum information based on superposition of states.

The dissertation is devoted to theoretical investigation of several oscillatory models based on nonlinear oscillator for superposition states and quantum interference effects production. The models which are suggested in the thesis are based on nonlinear oscillator with time-modulated parameters. The problem of superposition state production relates to dissipation and decoherence in the open systems. The suggested models in the thesis are discussed taking into account dissipative effects in the systems.

Another topic which is discussed in the thesis is the operational regimes of nonlinear oscillator which can lead to superposition state production. In this context bistability regime is discussed for low excitation oscillatory number. Also, it is important to investigate operational regimes which lead to loss of quantum coherence, i.e. suppresses quantum interference effects. In this context quantum chaos is discussed. In the theses production of quantum interference effects are also discussed assisted by bistability and chaotic dynamics. Below are provided the main results obtained in the dissertation:

- It is shown that quantum Fock states can be produced in dissipative nonlinear oscillator under sequence of Gaussian pulses in the case of resonance transition between oscillator energy states. It is important to underline, that the investigations are done taking into account dissipation and decoherence. For the Fock state production high nonlinearities are required.
- It is shown that quantum superposition of Fock states can be produced

in dissipative nonlinear oscillator under sequence of Gaussian pulses near resonance for time intervals exceeding time of dissipation.

- It is shown that quantum interference patterns in phase space can be produced in dissipative nonlinear oscillator in bistable regime. This statement is illustrated for nonlinear oscillator under sequence of Gaussian pulses, nonlinear oscillator with time modulated nonlinearity, nonlinear oscillator with time modulated controlling force amplitude. In the all three mentioned systems interference patterns are obtained in bistable regime caused by time modulation.
- It is shown that bistability in dissipative anharmonic oscillator exists in deep quantum regime for low excitation oscillatory number.
- It is shown that quantum interference pattern in phase space can be obtained in the regime of quantum chaos.
- There is suggested a new model where quantum dissipative chaos can be illustrated. The model is based on nonlinear oscillator under sequence of Gaussian pulses. The investigations are done in the framework of Wigner function.
- The quantum-classical transition is investigated in the regime of quantum chaos. The quantum chaos is discussed in the vicinity of parameters when classical chaos has been lost.
- A software package based on parallel computations has been developed for investigations of quantum optics and quantum information problems. The package can be used if the Hamiltonian of the system is described within framework of bosonic operators.