

## ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата физико-математических наук

Андрея Дмитриевича Прямикова

на диссертацию В.Ю. Шишкова

«Квантовые свойства электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем», представленную на

соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Диссертационная работа В.Ю. Шишкова представлена на 118 страницах и содержит 17 рисунков. Работа включает введение, пять глав основного текста, заключение и список литературы. К работе приложен автореферат на 17 страницах, который достаточно полно отражает основные результаты диссертации.

В работе представлено теоретическое исследование квантовых свойств электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем. Диссертация включает исследования по следующим направлениям:

- Исследование методов понижения порога генерации в низкодобротных плазмонных лазерах с распределённой обратной связью.
- Исследование особенностей релаксации составных открытых квантовых систем.
- Исследование влияния параметрического возбуждения колебаний ядер молекул на их рамановский отклик.

Диссертационная работа соответствует специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки».

### **Актуальность исследования.**

В последние годы развитие технологий открыло возможность для создания различных металлических наноструктур, в которых могут быть возбуждены



плазмоны. Основной особенностью плазмонов, возбуждаемых в таких структурах, является высокая степень локализации электромагнитного поля. Поэтому наноструктуры нашли применение в создании различных измерительных приборов, в том числе использующих методы ближнепольной микроскопии. Также металлические наноструктуры могут служить как основа лазеров с распределённой обратной связью или усиливать интенсивность от источников неклассического света. Исследования в области плазмоники показали, что вследствие больших потерь в металлических плазмонных структурах в них возможно возбудить только небольшое число плазмонов. При этом важную роль играют квантовые свойства электромагнитных полей плазмонов. Диссертационная работа посвящена широко обсуждаемым научным проблемам, которые касаются квантовых свойств электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем, взаимодействию плазмонов с молекулами, динамики плазмонных лазеров с распределённой обратной связью. Также в диссертационной работе представлен метод усиления рамановского сигнала молекул и исследованы особенности релаксации составных квантовых систем.

### **Структура диссертации**

Во введении обсуждаются актуальность, новизна, достоверность и практическая ценность полученных результатов. Обсуждаются цели исследования, положения, выносимые на защиту, и приведены публикации по теме диссертации.

В первой главе помимо обзора литературы, который включает обзор подходов к квантованию электромагнитного поля в средах, также даны некоторые общие сведения из теории открытых квантовых систем.

Во второй главе представлен подход к квантованию локализованных плазмонов в диссипативных дисперсионных наноструктурах. В главе особенно подчёркивается, что в отличие от стандартной процедуры квантования электромагнитного поля в вакууме, при рассмотрении плазмонов в схему квантования помимо электромагнитного поля необходимо включать элемен-



тарные возбуждения среды. Представленная в главе теория позволяет найти ближнее электрическое поле одного локализованного плазмона.

В третьей главе рассмотрены вопросы, связанные с релаксацией открытых взаимодействующих квантовых систем. Показано, что взаимодействие между открытыми квантовыми системами может приводить как к дополнительным каналам релаксации, так и, наоборот, к накачке, а игнорирование этих процессов может приводить к неправильным результатам, в частности, к нарушению второго начала термодинамики. Также в главе представлен способ нахождения стационарных состояний открытых квантовых систем. Разработанный подход требует знания только гамильтонианов системы и взаимодействия системы и резервуара.

В четвертой главе исследован эффект понижения порога лазерной генерации при увеличении потерь в лазере с распределённой обратной связью. Показано, эффект может наблюдаться, когда частота лазерной генерации отстроена от рабочей частоты перехода усиливающей среды. Представленный эффект связан с тем, что с увеличением потерь в резонаторе уширяется линия лазирующей моды, как следствие увеличивается перекрытие между линией усиления и модой резонатора в частотной области. Это приводит к усилению взаимодействия усиливающей среды и моды резонатора и к понижению порога лазерной генерации.

В пятой главе представлен метод параметрического возбуждения колебаний ядер молекул, который приводит к усилению интенсивности сигнала рамановского рассеяния. В предложенном методе параметрическое возбуждение колебаний ядер молекул достигается за счёт воздействия на молекулу инфракрасного источника света, удвоенная частота которого совпадает с собственной частотой колебаний ядер молекулы. Показано, что такое параметрическое возбуждение колебаний ядер молекул приводит к усилению интенсивности сигнала рамановского рассеяния.



### **Научная новизна и достоверность результатов.**

Представленная диссертационная работа содержит следующие новые результаты:

1. Предложена последовательная процедура квантования электромагнитного поля плазмонов, локализованных на субволновом кластере резонансных диполей.

2. Предложен метод для нахождения всех стационарных состояний открытой квантовой системы. Предложенный метод требует знания только гамильтониана системы и вида взаимодействия системы и резервуара.

3. Показано, что понижение порога генерации при увеличении потерь в лазере с распределённой обратной связью может наблюдаться, когда частота генерации отстроена от рабочей частоты усиливающей среды.

4. Предложен метод усиления интенсивности рамановского сигнала. Усиление в предложенном методе достигается за счёт параметрического возбуждения колебаний ядер молекул при воздействии на молекулы инфракрасного света, удвоенная частота которого совпадает с собственной частотой колебаний ядер молекул.

Достоверность результатов подтверждается их соответствием известным представлениям о характере явлений в исследуемых объектах, совпадением с результатами численных экспериментов, публикациями в рецензируемых научных журналах из списка ВАК и выступлениями на международных и российских конференциях.

### **Практическая значимость**

Исследования, проделанные В.Ю. Шишковым, и их результаты представляют значительный как практический, так и теоретический интерес. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: НИТУ МИСиС, ИТПЭ, ИТМО, ФИАН, ИСАН, МГУ.



### **Недостатки диссертации**

1. В пятой главе представлен метод усиления интенсивности рамановского сигнала. При этом рассматриваются молекулы с нулевым дипольным моментом перехода между колебательными состояниями. Из текста диссертации остаётся непонятным, как изменится результат, если предложенный метод применить к молекулам с ненулевым дипольным моментом перехода между колебательными состояниями.

2. На рисунке 14 по оси ординат отложена величина, обозначенная как «Энергия в диэлектрике», правильнее было бы обозначить её как «Энергия электромагнитного поля в диэлектрических слоях фотонного кристалла».

3. Введение следовало бы дополнить более подробным обзором существующих методов усиления интенсивности сигнала рамановского рассеяния.

4. В четвёртой главе рассматривается эффект понижения порога генерации при увеличении потерь в лазере с распределённой обратной связью. При этом численно считается динамика активного фотонного кристалла, содержащего 30 элементарных ячеек, а аналитический расчёт представлен для бесконечного фотонного кристалла. В диссертации не освещён вопрос о том, как конечность фотонного кристалла сказывается на характеристиках лазера с распределённой обратной связью.

5. Во второй главе представлена процедура квантования локализованных плазмонов на субволновом металлическом шарике. Из текста диссертации остаётся не вполне понятным, как применить развитую процедуру к субволновой плазмонной частице произвольной формы.

### **Оценка диссертации в целом.**

В целом, несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа В.Ю. Шишкова производит положительное впечатление. Она является цельным, завершённым исследованием, посвящённым актуальной научной проблеме, содержит признаки научной новизны и отвечает принятым критериям достоверности. Автор диссертационной работы В.Ю. Шишков проде-



монстрировал способность формулировать и решать широкий круг научных задач, связанных с плазмоникой, физикой лазеров и фотоникой. Он владеет аппаратом математической физики, как в области аналитических исследований, так и в области численного моделирования.

### **Заключение.**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред. 01.10.2018г., а ее автор В.Ю. Шишков заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки». Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Официальный оппонент  
Старший научный сотрудник  
ФГБУН Научный центр  
волоконной оптики РАН  
к.ф.-м.н.

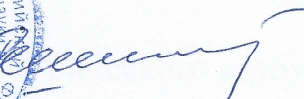


Прямиков А.Д.

1.10.19г.

Подпись официального оппонента заверяю

Учёный секретарь  
ФГБУН Научный центр  
волоконной оптики РАН  
к.ф.-м.н.



Машинский В.М.

Данные официального оппонента по диссертации – А.Д. Прямиков:

Почтовый адрес: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Телефон (рабочий): (499) 503-8193

Электронная почта: [pryamikov@fo.gpi.ru](mailto:pryamikov@fo.gpi.ru):