

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

д.ф.-м.н, профессор В.Н. Задков /



2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Шишкова В.Ю. «Квантовые свойства электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Подавляющее большинство практических задач, связанных с использованием плазмонных нанотехнологий (расчёт динамики SERS структур, расчёт характеристик плазмонных датчиков и плазмонных лазеров), требует знания того, как плазмоны взаимодействуют как с окружением (молекулами, квантовыми точками или полупроводниками), так и с внешними полями. Большие потери в металлических плазмонных структурах приводят к тому, что в таких системах можно возбудить лишь малое число плазмонов. Поэтому при описании таких возбуждений существенную роль играют квантовые свойства электромагнитных полей плазмонов. В диссертационной работе В.Ю. Шишкова, решаются некоторые из этих актуальных задач. В частности, проведен расчёт квантовых свойств электромагнитных полей плазмонов, исследованы общие свойства релаксации полей и возбуждений составных открытых квантовых систем, предложен

метод усиления интенсивности рамановского отклика молекул без увеличения интенсивности локального поля, найден подход к снижению порога генерации низкодобротных плазмонных лазеров.

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

В первой главе диссертации приводится обзор литературы по теме работы. Дан обзор существующих подходов к квантованию локализованных плазмонов. Также в первой главе изложены общие сведения из теории открытых квантовых систем. Приведена схема Дэвиса для получения уравнения Линдблада на матрицу плотности.

Вторая глава посвящена исследованию квантовых свойств локализованных плазмонов в диссипативных дисперсионных наноструктурах. В этой главе развит метод квантования локализованных плазмонов. Развитая теория в пределе малых потерь дает выражение для одного кванта ближнего электрического поля плазмона и поправку к этой величине по мнимой части диэлектрической проницаемости.

Третья глава включает в себя рассмотрение особенностей динамики составных открытых квантовых систем. В этой главе показано, что при наличии интегралов движения всё фазовое пространство системы разбивается на подпространства, в каждом из которых в стационарном состоянии устанавливается свое распределение Гиббса. В диссертации предложен метод нахождения всех стационарных состояний конечномерных открытых квантовых систем. Представленный метод предполагает, изначально известными только гамильтониан системы и характер релаксации системы, но не интегралы движения.

В четвертой главе исследован эффект понижения порога лазерной генерации при увеличении потерь в лазере с распределённой обратной связью. В диссертации показано, что эффект имеет место, когда частота генерации отстроена от частоты рабочего перехода усиливающей среды. В

этом случае увеличение потерь в лазере приводит к увеличению перекрытия между линией усиления и модой резонатора. Как следствие порог лазерной генерации понижается.

В пятой главе представлен метод усиления интенсивности рамановского отклика молекул без увеличения интенсивности локального поля. Представленный метод требует воздействия на молекулы двух когерентных источников излучения: одного оптического источника света и одного инфракрасного источника света. Оптический источник света необходим для наблюдения рамановского рассеяния, тогда как инфракрасный источник света обеспечивает параметрическое возбуждение колебаний ядер молекул. Условием резонансного параметрического возбуждения колебаний ядер молекул при воздействии инфракрасного источника света является совпадение удвоенной частоты инфракрасного источника и собственной частоты колебаний ядер молекул.

В диссертации содержится ряд новых результатов, а именно

1. Впервые предложена каноническая схема вторичного квантования плазмонов, локализованных на субволновом кластере резонансных диполей.
2. Предложен способ нахождения всех стационарных состояний открытой квантовой системы, который не требует знания интегралов движения.
3. Показано, что в низкодобротных плазмонных лазерах с распределённой обратной связью возможно понижение порога генерации при увеличении потерь в лазере.
4. Предложен новый метод усиления сигнала комбинационного рассеяния, не связанный с увеличением локальных полей. Предложенный метод предполагает использование дополнительного когерентного инфракрасного источника света, воздействие которого на молекулу приводит к параметрическому возбуждению колебания ядер молекулы. При этом параметрическая раскачка колебаний ядер молекулы сопровождается усилением интенсивности рамановского сигнала. Наиболее эффективно усиление интенсивности рамановского сигнала происходит, когда удвоенная

частота инфракрасного источника совпадает с собственной частотой колебаний ядер молекулы.

Достоверность результатов подтверждается совпадением теоретических расчетов с результатами численного моделирования, а также публикациями в ведущих мировых журналах.

Результаты исследований, проведенных В. Ю. Шишковым, представляют несомненный практический интерес. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: ИТПЭ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИ им. Лебедева РАН, Институт спектроскопии РАН.

Замечания диссертации:

1. Во второй главе диссертационной работы найдена поправка к ближнему электрическому полю кванта локализованного плазмона. Эта поправка пропорциональна мнимой части диэлектрической проницаемости среды, то есть поправка появляется из-за джоулевых потерь. В представленной диссертации не освещён вопрос о том, как радиационные потери влияют на величину электрического ближнего поля кванта плазмона.
2. В качестве общего недостатка диссертационной работы можно отметить слишком подробные выкладки, которые зачастую не способствуют ясности изложения.
3. В пятой главе, где представлен метод усиления интенсивности рамановского отклика молекул при воздействии инфракрасного источника света, не акцентируется внимание на возможной реализации метода. А именно не конкретизированы инфракрасные источники, которые наиболее подходят для реализации предложенного метода.

Однако отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертации, выполненной на высоком научном уровне, и их скорее следует рассматривать как пожелания для будущих исследований.

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.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании лаборатории спектроскопии наноструктур Института спектроскопии РАН.

Протокол № 14 от 2 сентября 2019 г.

Отзыв утверждён на Учёном Совете ИСАН, протокол № 8 от 9 сентября 2019 г.

Зав. лабораторией спектроскопии

наноструктур Института спектроскопии РАН

к.ф.-м.н., профессор МФТИ

Ю.Е. Лозовик

Подпись зав. лабораторией Ю. Е. Лозовика заверяю

Ученый секретарь

Института спектроскопии РАН

к. ф.-м.н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт спектроскопии Российской академии наук

Почтовый адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 4

Контактный телефон: 8 (495) 851-05-79;

Интернет-сайт: <http://isan.troitsk.ru>, e-mail: isan@isan.troitsk.ru



Е.Б. Перминов