

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук

Александра Никитича Поддубного

на диссертацию Владислава Юрьевича 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 режимов генерации в низкодобротных плазмонных лазерах с распределённой обратной связью.
- Исследование методов усиления интенсивности сигнала рамановского рассеяния молекул за счёт параметрической раскачки колебаний ядер молекул.
- Исследование динамики и термализации открытых квантовых систем.

Диссертационная работа соответствует специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки». По результатам работы имеется 6 статей в рецензируемых международных научных журналах и российских журналах из списка ВАК, и одна работа в трудах конференций.

Актуальность исследования.

Диссертационная работа посвящена квантовым явлениям в наноплазмонике – бурно развивающейся области современной оптики. Работы в этом направлении привлекают значительное внимание исследователей. Это обусловлено как перспективами создания компактных оптических устройств – источников, модуляторов и сенсоров излучения – так и фундаментальными вопросами оптики открытых квантовых систем. Так, квантовая оптика традиционно развивалась для резонаторов с одной или несколькими хорошо определенными оптическими модами и низкими потерями. В плазмонных же наноструктурах омические потери и дисперсия диэлектрической проницаемости имеют принципиальное значение, а собственные моды не всегда хорошо определены. Поэтому построение адекватной модели для расчётов квантовых свойств электромагнитных полей плазмонов является безусловно актуальной задачей. Помимо этого, в диссертации решена очень интересная задача об усилении рамановского рассеяния света на молекулах. Эти результаты имеют практическую актуальность для повышения разрешения рамановской спектроскопии. Они также расширяют наши фундаментальные представления в области оптомеханики – интересной мультидисциплинарной области физики, развитие которой было отмечено Нобелевской премией по физике за 2018 г.

Структура диссертации

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

Первая глава является обзором литературы, в котором показано, какое место занимают решенные задачи среди большого объема имеющегося материала. В частности, в главе приведён обзор подходов к квантованию электромагнитного поля в средах, а также даны общие сведения из теории открытых квантовых систем.

В главах 2-5 диссертации получен ряд интересных **новых научных результатов**, объединенных единой тематикой взаимодействия света с веществом в наноструктурах. Вторая глава целиком посвящена каноническому квантованию локализованных плазмонов в диссипативных дисперсионных наноструктурах. В главе представлен канонический метод квантования локализованных плазмонов в диссипативных диспергирующих средах. Автор анализирует, как ближнее электрическое поле одного плазмона в металле в пределе малых потерь переходит в величину, получаемую из феноменологической теории. Развита в главе теория позволяет получить поправку к феноменологическому ближнему электрическому полю одного плазмона.

Третья глава включает в себя изучение особенностей релаксации и термализации составных квантовых систем. В первой части главы показано, что корректное рассмотрение процессов релаксации в ансамбле открытых квантовых систем требует одновременного учета их взаимодействия и друг с другом, и с резервуаром. Показано, что игнорирование этих процессов в расчётах динамики открытых квантовых систем может приводить к нарушению начал термодинамики и к неправильному предсказанию динамики системы. Вторая часть третьей главы посвящена термализации открытых квантовых систем при наличии интегралов движения. Автором предлагается способ нахождения стационарных состояний открытых составных квантовых систем. Разработанный подход, аналогичный методу кинетического уравнения, требует знания только гамильтонианов системы и взаимодействия системы и резервуара.

В четвертой главе исследуется лазер с распределённой обратной связью. В.Ю. Шишков предсказывает интересный эффект -- понижение порога лазерной генерации при увеличении потерь в резонаторе в плазмонном лазере с распределённой обратной связью. Уменьшение порога генерации при увеличении потерь объясняется тем, что с увеличением потерь в резонаторе, уширяется лазерная мода в частотной области и увеличивается перекрытие между линией усиления и модой резонатора в частотной области. Это приводит к усилению взаимодействия усиливающей среды и моды резонатора, как следствие порог генерации понижается.

В пятой главе исследуются методы усиления интенсивности сигнала рамановского рассеяния молекул. Предложен оригинальный способ усиления интенсивности сигнала комбинационного рассеяния при помощи инфракрасного источника света. Усиление происходит за счёт параметрической раскачки колебаний ядер молекул, когда удвоенная частота инфракрасного источника 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 интерес, как практический, так и теоретический. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: НИТУ МИСиС, ИТМО, ФИАН, ИСАН, МГУ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Российский Квантовый Центр и др.

Недостатки диссертации

- 1) Во второй главе получено выражение (63) для электрического поля локализованного одиночного плазмона при наличии потерь и дисперсии. К сожалению, в этой главе рассчитана лишь собственно амплитуда одного кванта поля, и не проанализированы какие-либо конкретные наблюдаемые физические эффекты, в которых потери и дисперсия могут проявляться.

Так, для объемных материалов известно, что может происходить сокращение вкладов дисперсии диэлектрической проницаемости в поле на один квант и в плотность состояний в скорость спонтанного затухания. В результате этого сокращения скорость спонтанного затухания оказывается не зависящей от дисперсии проницаемости, см. например Phys. Rev. B **91**, 205126 (2015). Поэтому не вполне очевидно, как рассчитанные в диссертации поправки за счет дисперсии и потерь могут проявиться в конкретных наблюдаемых явлениях и не произойдет ли их сокращения с другими вкладами. Считаю, что расчёт конкретных квантовых процессов, например скоростей спонтанного излучения или фёрстеровского переноса мог бы усилить диссертацию.

- 2) Глава 3 носит достаточно общий характер, рассмотрение ведется для абстрактных открытых квантовых систем. Считаю, что было уместно конкретизировать рассмотрение и указать, каким реальным физическим системам соответствуют параметры, при которых выполнены расчеты на рисунках 6-8.

- 3) В пятой главе диссертации, после выражения (211), написано “Как видно

из выражения (211) интенсивность стоксовского и антистоксовского сигналов совпадают”. При этом, согласно самой формуле (211), интенсивности стоксова и антистоксова сигналов отличаются, и пропорциональны четвертым степеням частоты стоксова и антистоксова света, соответственно. По-видимому, имеется в виду, что интенсивности совпадают в реалистичном режиме, когда частота фонона значительно меньше частоты видимого света, так что стоксова и антистоксова линии близки по частоте. Если же отличие интенсивностей существенно, то стоило бы указать явно, что оно обусловлено зависимостью интенсивности дипольного излучения от частоты. Считаю, что это место можно было бы изложить яснее.


Оценка диссертации в целом. Отмеченные замечания не являются существенными, носят скорее характер пожеланий для дальнейшей работы, и не снижают общего крайне положительного впечатления о диссертации. Диссертационная работа В.Ю. Шишкова несомненно является завершенным оригинальным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Автор работы В.Ю. Шишков безусловно является сложившимся высококвалифицированным специалистом. Результаты диссертации получены при гармоничном сочетании современных методов теоретической физики и компьютерного моделирования. Работа апробирована на ведущих научных конференциях и научных семинарах, **научная новизна и достоверность** результатов диссертации не вызывают сомнений. Доклад по результатам работы был заслушан на Чайном семинаре ФТИ им. А.Ф. Иоффе, В.Ю. Шишков оставил очень хорошее впечатление у участников семинара. Также приятно отметить, что результаты работы опубликованы как в наиболее престижном российском журнале Успехи физических наук, так и в ведущем международном научном журнале *Physical Review Letters*.

Заключение.

Исходя из представленного на защиту материала, можно с уверенностью констатировать, что соискатель В.Ю. Шишков обладает квалификацией кандидата наук, а диссертация полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – "Электрофизика, электрофизические установки". Она соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Официальный оппонент
Старший научный сотрудник
ФГБУН Физико-технического
института им. А.Ф. Иоффе РАН,
д.ф.-м.н., профессор РАН

14 октября 2019

 Поддубный А.Н.

Подпись официального оппонента заверяю

Учёный секретарь
ФГБУН Физико-технического
института им. А.Ф. Иоффе РАН,
д.ф.-м.н.

 Патров М.И.



Данные официального оппонента по диссертации – А.Н. Поддубный:

Почтовый адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

Телефон (рабочий): (812) 297-2245

Электронная почта: poddubny@coherent.ioffe.ru: