

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ
ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 999.138.02 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной электродинамики при участии
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии
наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13)
от 30 октября 2019 г. (протокол № 4)

Защита диссертации Шишкова Владислава Юрьевича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
**«Квантовые свойства электромагнитных полей наноразмерных
плазмонных систем»**

Специальность 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 999.138.02 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теоретической и прикладной электродинамики при участии
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии
наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13)
Протокол № 4 от 30 октября 2019 г.

Диссертационный совет Д 999.138.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 10.05.2017г. № 411/нк в составе 20 человек. На заседании присутствуют 18 человек, из них 17 докторов наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета Д 999.138.02

д.ф.-м.н. Амиров Р.Х.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета Д 999.138.02

к.ф.-м.н. Кугель К.И.

1	Лагарьков А.Н.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.13	Присутствует
2	Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н.	01.04.13	Присутствует
3	Кугель К.И.	к.ф.-м.н.	01.04.13	Присутствует
4	Антонов А.С.	д.ф.-м.н., доцент	01.04.13	Присутствует
5	Батенин В.М.	чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор	01.04.13	Присутствует
6	Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.13	Присутствует
7	Виноградов А.П.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.13	Присутствует
8	Деньщиков К.К.	д.т.н.	01.04.13	Присутствует
9	Жук А.З.	д.ф.-м.н.	01.04.13	Присутствует
10	Зейгарник В.А.	д.т.н., с.н.с.	01.04.13	Присутствует
20	Карпухин В.Т.	д.т.н.	01.04.13	Отсутствует
11	Кисель В.Н.	д.ф.-м.н., доцент	01.04.13	Присутствует
12	Лебедев Е.Ф.	д.т.н., профессор	01.04.13	Присутствует
13	Парфенов Ю.В.	д.т.н.	01.04.13	Присутствует
14	Пухов А.А.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.13	Присутствует
15	Рахманов А.Л.	д.ф.-м.н.	01.04.13	Присутствует
17	Сарычев А.К.	д.ф.-м.н.	01.04.13	Присутствует
16	Сон Э.Е.	Академик, д.ф.-м.н., профессор	01.04.13	Присутствует
18	Федоренко А.И.	д.ф.-м.н., доцент	01.04.13	Присутствует
19	Якубов И.Т.	д.ф.-м.н., профессор	01.04.13	Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации аспиранта Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» **Шишкова Владислава Юрьевича** на тему «Квантовые свойства электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки. Диссертация выполнена на кафедре электродинамики сложных систем и нанофотоники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»..

Научный руководитель:

Пухов Александр Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Поддубный Александр Никитич – гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор РАН, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН; Россия, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26).

Прямиков Андрей Дмитриевич – гражданин РФ, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научный центр волоконной оптики Российской академии наук (НЦВО РАН; Россия, 119333, г.Москва, ул.Вавилова, 38).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН; Россия, 108840 г. Москва, г.Троицк ул. Физическая, 5).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н., Поддубный А.Н. и к.ф.-м.н. Прямиков А.Д., научный руководитель Пухов А.А.

СТЕНОГРАММА

Председатель

На повестке дня защита кандидатской диссертации Шишков Владислав Юрьевич «Квантовые свойства электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем» по специальности электрофизика, электрофизические установки. Работа выполнена в Московском физико-техническом институте. Слово предоставляется учёному секретарю. Он нас ознакомит с теми документами, которые были предоставлены в диссертационный совет.

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Председатель

Уважаемые члены диссертационного совета, есть ли вопросы к учёному секретарю?

Василяк Л.М.

Да, есть. Я хотел бы спросить, а эта кафедра на физтехе, где она находится, на каком факультете, школе?

Пухов А.А.

На факультете проблем физики и энергетики, которая сейчас составляет единую школу с ФОПФом.

Василяк Л.М.

Я знаю.

Пухов А.А.

Школа называется совсем коряво: «физтехшкола прикладной фундаментальной физики».

Василяк Л.М.

Это самое сейчас спорное.

Пухов А.А.

Это там, где сейчас... Там, где происходит (*неразборчиво*).

Василяк Л.М.

А базовая кафедра какая?

Пухов А.А.

Это она и есть.

Василяк Л.М.

Нет, а в какой организации?

Виноградов А.П.

В ИТПЭ РАН.

Василяк Л.М.

А, ИТПЭ.

Пухов А.А.

Это Лагарьковская кафедра.

Василяк Л.М.

Вот это я и хотел спросить.

Кугель К.И.

Зав. кафедрой Лагарьков Андрей Николаевич.

Василяк Л.М.

Раньше она называлась: «Кафедра прикладной электродинамики»

Кугель К.И.

Нет, нет. Она всегда так называлась.

Пухов А.А.

Это у Дыхне была кафедра прикладной электродинамики.

Василяк Л.М.

Так вроде же совместная была.

Пухов А.А.

Ну там они менялись, тасовались. Вот сейчас так.

Сон Э.Е.

Понятно, понятно. Кафедра Лагарькова.

Председатель

Больше вопросов нет? Тогда слово предоставляется соискателю ровно двадцать минут.

Шишков В.Ю.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Князева Д.В. прилагается).

Председатель

Уважаемые члены учёного совета переходим к вопросам.

Сон Э.Е.

Я хотел Вам задать такие вопросы: у Вас в первых двух главах диссертации затрагиваются некоторые фундаментальные проблемы, связанные с квантовой электродинамикой в среде. Поэтому хотелось бы понять. Вообще говоря эта тема, я бы сказал, не только для кандидатской диссертации. Поэтому я бы хотел узнать в главе два, что у Вас сделано нового по сравнению с тем, что было известно раньше? И, например, в пятом томе Ландау «Квантовая электродинамика» написано. Что сделано нового.

Шишков В.Ю.

Если мы говорим о второй главе диссертации, где рассмотрен метод квантования локализованных плазмонов в диссипативных дисперсионных структурах, то такая процедура применительно именно к локализованным плазмонам, то есть процедура канонического квантования локализованных плазмонов, была представлена впервые в нашей работе Physical Review B, шестнадцатого года. Шестнадцатого, да.

Сон Э.Е.

Вы затронули также один очень важный вопрос. Это распределение Гиббса и соответственно не Гиббса.

Шишков В.Ю.

Да.

Сон Э.Е.

Есть споры в литературе, связанные с тем, что энтропия, которая в таких системах возникает может быть не гиббсовская, а энтропия Цалеса и так далее. Вот то, что Вы получили, какое это отношение это имеет к подсистем в термостатах. То есть действительно ли это возможно или это случай, когда сильная накачка приводит к тому, что у Вас нет Гиббса, но в конце концов будет Гиббс.

Шишков В.Ю.

Спасибо большое за вопрос. Тут есть два момента. В главе три рассматривались системы без внешнего поля и без некоторой накачки. То есть они стартуют с некоторого заданного состояния и мы дальше смотрим их эволюцию. Однако часть была посвящена рассмотрению этого вопроса с внешними полями и с накачкой. Есть некоторые тонкости в описании применения этого метода, который был разработан здесь для случая внешних полей, но что можно сказать, это то, что результаты главы три непосредственно относятся и имеют непосредственную аналогию к системам, которые находятся в термостатах, которые имеют постоянную температуру. То есть это квантовая аналогия классической термодинамики.

Сон Э.Е.

Я вам задам вопрос. В продолжении этого следующий вопрос. Следует ли из ваших результатов, что... Есть утверждение, что, я не буду называть авторов, в термодинамически равновесных системах, то есть системах, которые находятся в полном термодинамическом равновесии те не менее энтропия не является Гиббсовской. Вот Вы это наблюдали или есть у Вас такие задачи?

Шишков В.Ю.

Нет, этот вопрос не был рассмотрен в рамках диссертационной работы.

Сон Э.Е.

Ещё один вопрос. Вы упомянули про уравнения Линдблада для матрицы плотности. Откуда выбираются релаксационные операторы.

Шишков В.Ю.

Это очень важный вопрос и очень тонкий вопрос. Потому, что во многих местах в литературе он к сожалению рассматривается не совсем корректно. В том смысле, что.. То есть если мы откроем книжки по, ну например, по теории уравнений Линдблада, то там всё написано строго и хорошо. Но когда дело доходит до применения... Дело в том, что здесь стоят релаксационные операторы, которые представляют собой операторы перехода между собственными состояниями системы. Это ключевой момент. И вот часто в литературе. Если мы рассматриваем какие-то реалистичные системы, сложные, составные, то в них найти собственные состояния системы достаточно сложно. Поэтому используют феноменологические уравнения Линдблада. Не говорят о собственных состояниях, а вбрасывают, грубо говоря, руками. Здесь же в третьей главе диссертации мы рассмотрели и этот вопрос тоже о том, как правильно записывать уравнения Линдблада и к каким ошибкам могут приводить неправильная запись уравнения Линдблада.

Сон Э.Е.

Известны ли Вам результаты по Линдбладу для плазменных систем. Не для плазмонных, а для плазменных систем.

Шишков В.Ю.

К сожалению нет. К сожалению этот вопрос не рассматривался.

Сон Э.Е.

Последний вопрос, который я хотел бы Вам задать. Вот в главе про КАРС. Там электронная подсистема начинает реагировать на внешнее поле. А связь между электронной подсистемой и тяжёлой подсистемой она определяется параметром Бора-Оппенгеймера и поэтому она является более медленной. И насколько они связаны? То есть у Вас может быть быстро меняющееся электромагнитное поле например, а тяжёлая подсистема не успевает среагировать. Поэтому характерные времена у них разные, поэтому то, что вы получаете – это неправильно как бы.

Шишков В.Ю.

Я понял вопрос, спасибо за вопрос. Здесь действительно частота, если мы говорим о когерентном анти-стоксовском рамановском рассеянии, то действительно каждая из частот. Используются два источника. Частота первого источника и частота второго источника оптические, и это на два порядка дальше, чем собственные частоты колебаний ядер. Ну на один порядок. Но разница между этими частотами в когерентном анти-стоксовском рамановском как раз совпадает с собственной частотой колебаний ядер молекул. Именно это приводит к их резонансному возбуждению. То есть каждая по отдельности частота лежит довольно далеко, но их разность она лежит близко. Из-за нелинейной связи происходит когерентное возбуждение.

Сон Э.Е.

То есть Вы утверждаете, что если электронная подсистема имеет частоты, которые имеют резонансы с ядерными, то тогда эта связь будет сильной.

Шишков В.Ю.

Метод КАРС, как правило работает вдали от резонансов электронной подсистемы, чтобы было меньше нежелательных процессов, приводящих к флуоресценции и снижающих чувствительность КАРС. То есть там нерезонансная история. С точки зрения электронной подсистемы это не резонанс с точки зрения ядерной подсистемы это резонанс.

Сон Э.Е.

Спасибо.

Шишков В.Ю.

Метод КАРС, как правило работает вдали от резонансов электронной подсистемы, чтобы было меньше нежелательных процессов, приводящих к флуоресценции и снижающих чувствительность КАРС. То есть там нерезонансная история. С точки зрения электронной подсистемы это не резонанс с точки зрения ядерной подсистемы это резонанс.

Председатель

Пожалуйста, Леонид Михайлович.

Василяк Л.М.

Будьте добры последний слайд про инфракрасное излучение с удвоенной частотой.

Шишков В.Ю.

Этот? Или этот?

Василяк Л.М.

Это должно быть параметрическое возбуждение и Вы очень быстро пробежали. То есть инфракрасное возбуждение оно какой параметр резонатора изменяет? Это первый вопрос. Второй вопрос. Вы решали без затухания. Потому, что для того, чтобы была раскачка должна быть пороговая глубина модуляции. Иначе у Вас не будет возбуждаться параметрический резонанс на той же частоте.

Шишков В.Ю.

Спасибо.

Василяк Л.М.

То есть решалась задача без затухания или с затуханием?

Шишков В.Ю.

Безусловно задача решалась с затуханием. Более того, то, что здесь приведено на этом слайде – это некоторая упрощённая картина, классическая. В пятой главе решалось квантовомеханическое уравнение Гейзенберга-Ланжевена с шумами. Здесь я привёл модель классическую двух связанных осцилляторов, которые связаны параметрическим образом. Если мы говорим о том, какой физический смысл имеют данные константы связи, то он достаточно прост и прозрачен. Если ядра отклоняются от положения равновесия, то это меняет собственную частоту перехода электронной подсистемы, а обратное действие электронной подсистемы на ядерную подсистему происходит следующим образом: если электроны переходят в возбуждённое состояния, то это меняет потенциал, в котором находятся ядра, и возникает эффективная сила, которая меняет положение этих ядер. Эта эффективная сила, так оказывается, что пропорциональна квадрату индуцированного дипольного момента. Если мы дальше начнём решать эти уравнения по теории возмущений, то мы получим, что индуцированный дипольный момент осциллирует с плюс «и омега р» и минус «и омега р». Если мы возьмём от этого модуль в квадрате, то есть посчитаем эффективную силу, то оказывается, что эффективная сила содержит удвоенную частоту внешнего источника. То есть те колебания, которые

получаются возбуждать, то есть колебания ядер это «дривен» решения. То есть решения возникают из внешней силы. Решения, которые возникают из внешней силы существуют всегда при любом уровне потерь. Здесь вставлены потери, вот они. «Гамма в» – это скорость затухания осцилляций ядерной подсистемы.

Председатель

Есть ли ещё вопросы?

Сарычев А. К.

Есть вопрос терминологический. Я тут посмотрел название одной из Ваших работ. Тут упоминается нулевое начало термодинамики. Что это такое?

Шишков В.Ю.

Нулевое начало термодинамики. Есть несколько его формулировок. Контекст в котором мы подразумевали его – это то, что если система взаимодействует с термостатом при какой-то температуре «Т», то эта система в конечном итоге приходит в распределение, которое описывается распределением Гиббса с той же самой температурой. Именно в этом контексте были употреблены слова «нулевое начало».

Сарычев А. К.

Это Ваше изобретение. Или это общепринятый термин?

Шишков В.Ю.

Определённо не общепринятый.

Председатель

Есть вопрос?

Василяк Л.М.

Скажите, пожалуйста, вот Вы когда рассказывали о системе с двумя, тремя степенями свободы с уровнями, ну не важно. Скажите, весь аппарат, построенный Вами в диссертации, он имеет общее значение, где там плазмон, собственно говоря. Кроме, так сказать мотивации?

Шишков В.Ю.

Да, хороший вопрос. Спасибо большое. Если мы говорим о расчёте динамики конкретных плазмонных структур, то, как я упоминал в докладе, никто не рассматривает плазмонные структуры сами по себе. Плазмонные структуры всегда взаимодействуют с чем-то, именно этот вопрос представляет интерес с практической точки зрения.

Сарычев А. К.

Плазмонные структуры или «а», «а плюс»?

Шишков В.Ю.

Это зависит от способа описания плазмонных структур. В некоторых случаях их удобно описывать с помощью «а», «а плюс». Если мы говорим о таких системах, то оказывается важным для динамики плазмонов не только то, что происходит непосредственно со взаимодействием плазмонов с окружающими его объектами, но и та динамика, которая происходит непосредственно в самих объектах. Это также сказывается на динамике самих плазмонных структур.

Сарычев А. К.

Спасибо.

Председатель

Есть ли ещё вопросы? По-моему достаточное количество вопросов. Переходим к обсуждению. Слово предоставляется научному руководителю Пухову Александру Александровичу.

Пухов А.А.

Владислав Юрьевич появился у нас на кафедре только на пятом курсе, променяв занятие космологией на квантовую плазмонику. Таким образом, ещё в раннем возрасте проявил научную зрелость в выборе перспективного направления исследований. Владислав Юрьевич закончил МФТИ с красным дипломом и к моменту окончания у него уже было несколько публикаций в рейтинговых журналах. А в аспирантуре он только увеличил интенсивность своей работы и в диссертации ему удалось решить трудные задачи. Проквантовать только что обсуждавшиеся плазмон с учётом диссипации, рассмотреть релаксацию открытых квантовых и взаимодействующих систем. Всё это вылилось в очень хорошую диссертацию, которую Вы сейчас заслушали. При решении этих задач ему пришлось преодолеть значительные аналитические и вычислительные трудности. Деятельность, которую Вы сейчас заслушали имеет продолжение. Окончания диссертации Владислав Юрьевич опубликовал ещё несколько работ на связанные темы, но по процедурным правилам защиты квалификационной работы они не успели войти в диссертацию. Таким образом, к настоящему моменту Владислав Юрьевич представляет из себя вполне сложившегося квалифицированного исследователя, который может не только решать, но и ставить задачи, которые вы только что слышали, но и самостоятельно ставить их. Учитывая сказанное я прошу уважаемых членов совета поддержать данную работу.

Председатель

Переходим к обсуждению отзывов. Отзыв ведущей организации и отзывы на автореферат.

Кугель К.И.

К нам поступило три отзыва. Из ФИАНа от Владимира Ивановича Манько. Отзыв положительный, без замечаний. Из физтеха от Крайнова. Опять отзыв положительный без замечаний. То есть автореферат совершенно идеальный. Несмотря на то, что от ИТПЭ пришло, от Дорофеенко, тоже отзыв положительный без замечаний. В отзыве ведущей организации, которой является ИСАН, замечания есть. Отзыв ведущей организации подписан Юрием Ефремовичем Лозовиком и утверждён доктором физико-математических наук, профессором Забковым. Отзыв в целом положительный, отмечается по каждой главе новые результаты. Замечания: *(первое замечание)* в первой главе диссертационной работе найдена поправка к ближнему электрическому полю плазмона, пропорциональная 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 ближнего поля кванта плазмона. *(второе замечание)* В качестве общего недостатка диссертационной работы следует отметить слишком подробные выкладки, которые зачастую не способствуют ясности изложения. *(третье замечание)* В пятой главе, где представлен метод усиления рамановского отклика молекул при воздействии инфракрасного источника света не акцентируется внимание на возможной реализации метода, а именно не обсуждаются конкретные инфракрасные источники, которые подходят для реализации предложенного

метода.

Председатель

Владислав Юрьевич, ответьте на вопросы ведущей организации.

Шишков В.Ю.

Я согласен с замечаниями, которые представила ведущая организация. Стоило бы отметить, касаясь пятой главы про усиление интенсивности рамановского сигнала. Действительно, в диссертационной работе недостаточно внимания уделено анализом конкретных источников. Что касается влияния радиационных потерь на величину напряжённости поля одного плазмона, то действительно, в диссертационной работе не рассматривается влияние радиационных потерь на эту величину. Связано это с тем, что в представленной теории фотонная система учтена в явном виде. Действительно это интересный вопрос, который интересно было бы рассмотреть в дальнейшем.

Председатель

Уважаемые члены диссертационного совета, вопросов не возникло? Двигаемся дальше по повестке дня. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору физ. мат. наук Поддубному Александру Никитичу, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе.

Поддубный А.Н.

Добрый день, уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые коллеги. Во-первых, я хотел бы сказать, что для меня огромная честь оппонировать в этом институте. Я помню, как интересно и непросто было рассказывать свои научные результаты на семинаре у Алексея Петровича. Оппонировать здесь большая честь и особенно такую прекрасную диссертацию такому замечательному диссертанту. То есть я сразу скажу, что работа мне очень понравилась и отзыв положительный. Если попробовать объяснить почему, то действительно важная и интересная и оригинальное исследование. И почему так? Казалось бы плазмоны изучают с прошлого тысячелетия и плазмоны изучают тоже с прошлого тысячелетия. Зачем же тогда это всё? Потому что последние лет десять ситуация поменялась: раньше плазмоны изучали для классического света, когда квантов много, а квантовую оптику в каких-нибудь резонаторах, где потери низкие, моды определены хорошо, добротность высокая, и всё как бы разрабатывалось для таких резонаторов. А последние десять лет начали изучать плазмоны в квантовом режиме. Действительно появились эксперименты, когда, скажем, интерферируют два одиночных плазмона или генерируются одиночные плазмоны. И может быть скоро появятся уже в продаже устройства на квантовых плазмонах. Но чтобы эти устройства появились должна быть какая-то теория, которая опишет как их делать, как их оптимизировать. А теории, не очень то её и есть. Потому, что теорию делали для хороших резонаторов, а для плазмонов, которые тоже хорошие, но работают совершенно в других масштабах частот и на других масштабах пространственных теории и нету. И собственно развитием такой теории занимался диссертант и это на мой взгляд важно и интересно. Диссертант на мой взгляд продемонстрировал совершенно глубокое понимание физики, когда у нас делал доклад в физико-техническом институте. Мы институт полупроводниковый, вроде мы знаем всё это на семинаре, но немножко работаем в другой области. Нам как раз Владислав Юрьевич рассказывал наиболее фундаментальные результаты из третьей главы про открытые квантовые системы. Мы так сначала слушали удивлённо немножечко, а потом оказалось, что результаты очень важные. Потому, что оказалось, что операторы Линдблада все понимают и вроде бы как ими пользоваться все понимают. Но выяснилось,

что очень легко ошибиться. Если действовать, так не думая, вот есть две системы у каждой из них известен оператор Линдблада. Давайте теперь рассмотрим комбинированную систему. Не один металлический шарик, а два металлических шарика. Как для них теперь написать операторы Линдблада? И выясняется, что очень легко ошибиться, и есть много неправильных работ с массой неправильных результатов. А как действовать правильно показал диссертант. И насколько я понимаю эти исследования развиваются. И есть очень красивое применения для описания транспорта возбуждения в цепочках резонансных молекул, где если действовать правильно, то как описано в диссертации, то получится физически разумный результат. Может быть я ещё отдельно скажу про последнюю главу, про усиление Рамана. Мне кажется эта глава очень уместна в данной диссертации, потому что она объединяет в каком-то смысле две области. С одной стороны рамановской спектроскопии скоро сто лет будем отмечать, а с другой стороны есть совершенно другая, казалось бы, область – это оптомеханика, которой со времён Кеплера может быть тоже триста лет, но сейчас нанооптомеханика активно развивается. И эти две области, оптомеханика и Раман, они похожи, но люди говорят совершенно разным языком: в Рамане говорят о рассеянии света, а в оптомеханике говорят о силе давления света. Как раз изучение таких эффектов как в диссертации, когда можно с помощью резонансных слагаемых в силе давления света. Как раз изучение таких эффектов как в диссертации, когда можно с помощью резонансных эффектов в силе давления света усиливать рамановское рассеяние – это на мой взгляд очень важно. Эта работа, я надеюсь, получит дальнейшее развитие. Диссертация мне кажется современной, актуальной, и с перспективой практических применений тоже. Теперь я перебегаю к недостаткам. Работа очень понравилась, но как оппонент я должен отметить некоторые недостатки. Начну с первой оригинальной главы – это вторая глава как раз про квантование плазмона.

(первое замечание) Очень интересный результат получен про амплитуду поля единичного плазмона. Так вот наблюдаемая величина – это не амплитуда поля единичного плазмона. Поэтому мне кажется, что диссертацию можно было бы развить, если не только проквантовать плазмон, а вычислить величину, которую можно было бы пронаблюдать в эксперименте. Я зачитаю. Во второй главе получено выражение шестидесяти три для поля одиночного локализованного плазмона при наличии потерь и дисперсии. К сожалению не проанализированы конкретные наблюдаемые, в которых потери действительно могут проявляться. Почему это важно? Мы знаем, например, из правила Ферми, что для расчёта физической величины не только амплитуда кванта, а и плотность состояний. То есть нужно квант поля возвести в квадрат и умножить на плотность числа состояний, тогда мы получим фактор Парселла. Здесь учтена поправка по мнимой части диэлектрической проницаемости в амплитуду кванта плазмона, но не показано, что будет с плотностью состояний. А в некоторых других задачах показано, что такие поправки могут сокращаться. То есть бывают поправки в других системах из-за дисперсии диэлектрической проницаемости. Они в амплитуде кванта проявляются и в плотности состояний тоже, но дальше они сокращаются и в некоторые наблюдаемые они не входят. Поэтому мне кажется было бы интересно развить диссертацию и не только амплитуду поля посчитать, но и какие-нибудь наблюдаемые.

(второе замечание) Замечание к главе три. Глава интересная, но носит общий характер и рассмотрение ведётся для абстрактных открытых квантовых систем. Мне кажется созвучно вопросу Андрея Карловича предыдущему. Считаю, что было бы уместно конкретизировать рассмотрение и указать, каким реальным физическим системам соответствуют параметры, при которых выполнены расчёты на рисунках шесть восемь. Возможно это уже и сделано в последующих работах диссертанта.

(третье замечание) Последнее замечание техническое. Просто чтобы продемонстрировать, что я диссертацию читал. В пятой главе после выражения двести одиннадцать написано «как видно из выражения двести одиннадцать интенсивности

стоксова и антистоксова сигналов совпадают». При этом как видно из самой формулы двести одиннадцать интенсивности стоксова и антистоксова сигналов отличаются. Эти интенсивности пропорциональны четвёртым степеням частоты стоксова и антистоксова света соответственно. По всей видимости диссертант имел в виду, что интенсивности близки, когда частота колебаний много меньше оптической частоты. Что, собственно, на практике и реализуется. Тогда стоксовы и антистоксовы линии близки по частоте и, конечно, интенсивности тоже близки. Стоило бы это место изложить яснее.

Разумеется эти замечания не носят существенный характер. Скорее являются рекомендацией для дальнейшей работы диссертанта. Я надеюсь, что диссертант продолжит заниматься теоретической физикой. И уважаемые члены диссертационного совета призываю эту работу.

Председатель

Есть ли вопросы? Просьба ответить на представленные замечания.

Шишков В.Ю.

Я хочу поблагодарить оппонента за положительный отзыв. Вопросы действительно очень важные и достаточно объёмные, но здесь я постараюсь кратко осветить каждый из вопросов, которые задал оппонент. Самый последний вопрос, о выражении двести одиннадцать. Действительно отношения интенсивностей стоксова и антистоксова сигнала относятся, как частоты стока и антистока в четвёртой степени. Теперь перейдём к первому вопросу оппонента. Вопрос о величине амплитуды электрического поля плазмона, полученной во второй главе. Немного более глубокий анализ показывает, что действительно, если мы рассмотрим фактор Парселла для молекул, находящихся вблизи плазмонной наночастицы то там происходит что-то подобное сокращению амплитуды кванта и плотности числа состояний. Это скорее всего так. Однако существует несколько независимых величин, которые можно померить и благодаря им вычислить величину кванта напряжённости электрического поля. Во-первых, если мы говорим о факторе Парселла и используем антенную теорию для его вычисления. То там входит выражение «Омега Раби» в квадрате, делённая на «Гамма а», то есть на скорость затухания плазмонной частицы. Действительно в «Гамма а» входят величина, которая на слайде находится в знаменателе. В частоту Раби входит такая же величина, что приводит к их сокращению. Но тем не менее «гамму а», то есть скорость затухания локализованного плазмона можно померить независимо в другом эксперименте, померив скорость затухания поля, возбуждаемого в плазмонной наночастице. Таким образом квадрат частоты Раби может быть найден независимо из этих двух экспериментов и может быть вычислена из этого величина амплитуды поля кванта локализованного плазмона. Последнее замечание касалось общности результатов, полученных в третьей главе. Да я согласен с оппонентом. Отчасти я на этот вопрос отвечал Андрею Карловичу. Здесь хочется отметить, что машинка уравнения Линдблада она имеет свои особенности, но она одинаково работает для разных открытых квантовых систем. Что касается результатов, полученных в третьей главе. То эти результаты в большей степени относятся к динамике усиливающих сред и объектов, находящихся вблизи плазмонных наночастиц.

Председатель

Спасибо. Члены учёного совета, есть ли вопросы к диссертанту. Двигаемся дальше по повестке дня. Слово предоставляется официальному оппоненту из центра волоконной оптики Прямикову Андрею Дмитриевичу.

Прямиков А.Д.

(Зачитывает отзыв).

Председатель

Слово предоставляется соискателю. На пять замечаний надо ответить.

Шижков В.Ю.

Я согласен с замечаниями оппонента. Кратко постараюсь ответить на них. Начну с последнего вопроса. В диссертационной работе рассмотрен плазмонный шарик. Как рассматривать структуру произвольной формы? Этому действительно было уделено совсем мало места в диссертационной работе. Связано это с тем, что собственные гармоники уравнения Лапласа для шарика ищутся достаточно просто, а для наночастицы произвольной формы вся процедура не меняется, а меняется только пространственное распределение. В целом вся процедура остаётся точно такой же. Что касается того, что численно считался конечный фотонный кристалл, состоящий из тридцати элементарных ячеек, а аналитика, представленная в работе, проводилась в четвёртой главе диссертации для бесконечного фотонного кристалла. Здесь стоит отметить, что критичный момент для аналитических расчётов и сравнения их с численным анализом – это появление запрещённой зоны. Возникает вопрос, начиная с какого числа элементарных ячеек фотонного кристалла формируется запрещённая зона. Численный расчёт, как и некоторая информация из физики твёрдого тела подтвердил, что начиная примерно с десяти элементарных ячеек формируется хорошая запрещённая зона, благодаря чему, аналитические расчёты дают хорошее совпадение с численным счётом. Если мы говорим о зависимости пороговой инверсной населённости от потерь в резонаторе, то пунктирная линия – это аналитический расчёт, а сплошная линия – это численный счёт. Видно, что аналитический расчёт даёт чуть более низкий порог. Связано это с тем, что при численном счёте, когда мы считаем конечный фотонный кристалл, часть излучения уходит из фотонного кристалла. С остальными замечаниями я согласен.

Председатель

Мы переходим тогда к последнему пункту содержательному. Это дискуссия по диссертации. Эдуард Евгеньевич, прошу.

Сон Э.Е.

Я сегодня задавал много вопросов. Начну с хорошего. Работа мне, конечно, понравилась. В моём первом вопросе было сказано, что диссертанта выше, чем на кандидатскую диссертацию. Потому, что вопросы, связанные с квантовой теорией метериальных сред он до сих пор открыт. Первый оппонент Поддубный совершенно замечательно об этом рассказал, что всё это актуально и важно, общей теории нет. Поэтому важно этим заниматься. У меня есть предложения. Как говорил мой друг профессор Баринлад «сложные задачи вы умеете решать, а умеете ли вы решать простые задачи». Мне хотелось бы задать из этой области один вопрос, потому что в этой области есть один результат крайне интригующий, он состоит в том, что открытые системы всегда сложные и дальше Вы могли бы их получить. О том, что спектры частиц, которые есть. Если много частиц рассматривать, например плазмонные. Спектр является степенным, а в термодинамически равновесном случае спектр является экспоненциальным. Поэтому для того, чтобы лазер работал нужна неравновесная ситуация. Так вот есть утверждение, которое состоит в том, что в термодинамическом равновесии, когда температура постоянна, спектр является степенным. Но это сразу приводит к тому, что в состоянии термодинамического равновесия может работать лазер. Что противоречит, вообще. Но есть люди, которые делают такие утверждения. Поэтому в этом методе, представленном в диссертационной работе, всё это можно исследовать и рассмотреть эту задачу. Второе замечание, скорее предложение. Оппонент очень хорошо об этом сказал, что метод

Линдблада, который, кстати, когда он появился исторически?

Шишков В.Ю.

Я семидесятые годы.

Сон Э.Е.

Правильно, а до семидесятого года была написана книга Абрикосов, Горьков, Дзялошинский. Там рассматривались термодинамически равновесные системы и там этого не было. Но вот появился Линдблада. Есть идея, которая ни для плазмы ни для плазмонов по настоящему не сделаны. Я сам когда-то начал заниматься этими задачами, просто времени не хватило. Поэтому хотелось бы сказать, что первые две носят фундаментальный характер и при дальнейшем развитии и получении результатов можно претендовать иже и на следующую степень. А вот из других задач, которые были. Последняя задача она показывает способности разобраться. Кстати у меня вопрос был, который я не успел задать. Бутербродные резонаторы. Обычно они известны и работают или они работают только когда характерный размер порядка квантового?

Шишков В.Ю.

Да, обычно они работают на слайде представлен рисунок из эксперимента, где как раз исследуются одномерные фотонные кристаллы.

Сон Э.Е.

Хорошо. Поэтому работа хорошая. У меня есть только один вопрос к научному руководителю скорее. В Москве есть группа, которая активно занимается плазмонными системами, это группа из ФИАНа, группа Климова. Из этой группы нет отзывов.

Пухов А.А.

Мы близко знакомы с Климовым. Очень много раз мы выступали на его семинаре. Так что он знает эту деятельность и мы знаем его деятельность. Так просто видимо в спешке сложилось.

Виноградов А.П.

Мы не просили, а он не направил.

Сон Э.Е.

Отзыв от центра Климова был бы очень высокого качества. У нас в России это крупнейший центр, в котором занимаются плазмоникой. И потом это ФИАН. Это замечание чисто техническое. Говоря о тех специалистах, которые дали отзывы. Это Манько и Крайнов. Это специалисты очень высокого уровня. Их положительный отзыв говорит о том, что диссертация вполне квалифицированная. А выступление представителя Иоффе говорит о том, что работа действительно прошла апробацию. Она может быть поддержана советом.

Председатель

Спасибо. Кто-нибудь ещё хочет высказаться?

Сарычев А. К.

Можно я?

Председатель

Да, пожалуйста.

Сарычев А. К.

Я хочу тоже поддержать работу. Поскольку мы тоже занимаемся плазмоникой. Особенно мне нравятся первые две главы. Они не только интересны сами по себе, но и безусловно диссертация уровнем выше типичной кандидатской. Результаты безусловно очень важны и могут использоваться для практических применений для актуальных расчётов. Потому что вопрос о диссипации и квантовых системах с диссипацией применительно к плазмонике до сих пор не решён. Поэтому здесь необходимо отметить и самого диссертанта и научного руководителя за постановку. Практически очень важные задачи.

Председатель

Кто-нибудь ещё хочет выступить. Мне кажется вопрос очевидным. Я призываю членов учёного совета голосовать за диссертацию. Давайте выберем счётную комиссию.

Ученый секретарь

Предложение выбрать в счётную комиссию Сарычева Андрея Карловича, Рахманова Александра Львовича и Лебедева Евгения Фёдоровича.

Председатель

Учёный совет не возражает? Принято.

(идёт голосование)

Председатель

Слово предоставляется председателю счётной комиссии.

Лебедев Е.Ф.

Присутствовало на заседании восемнадцать членов совета в том числе докторов по профилю семнадцать, роздано бюллетеней восемнадцать, осталось нерозданными два, оказалось в урне восемнадцать. За восемнадцать, против нет, недействительных нет.

Председатель

Есть предложение утвердить протокол счётной комиссии. Принято. Можно поздравить диссертанта.

Переходим к обсуждению проекта заключения. Есть замечания, пожелания? *(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)*. Дорогие коллеги принимаем заключение. Кто за прошу поднять руки. *(Проект заключения принят единогласно)*. Спасибо ещё раз поздравляет диссертанта. Спасибо. *(Хлопают)*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.138.02, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПРИ УЧАСТИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 30.10.2019г. № 4

О присуждении Шишкову Владиславу Юрьевичу, гражданину Российской Федерации
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Квантовые свойства электромагнитных полей наноразмерных плазмонных систем» по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки принята к защите 21.08.2019г., (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 999.138.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики при участии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, <http://www.itae.ru/>, +7 (495) 484-23-83), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10.05.2017г. № 411/нк.

Соискатель Шишков Владислав Юрьевич 1993года рождения, в 2016 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

В настоящее время является аспирантом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (с 01.09.2016 по 31.08.2020).

Диссертация выполнена на кафедре электродинамики сложных систем и нанофотоники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор Пухов Александр Александрович, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор РАН, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук Поддубный Александр Никитич;

- кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научный центр волоконной оптики Российской академии наук Прямыков Андрей Дмитриевич
дали положительные отзывы на диссертацию.

Отзыв ведущей организации, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт спектроскопии Российской академии наук (г. Троицк, г. Москва), составлен заведующим лабораторией спектроскопии наноструктур, к.ф.-м.н. Лозовиком

Ю.Е. Подпись к.ф.-м.н. Лозовика Ю.Е. заверена учёным секретарём ФГБУН ИСАН к.ф.-м.н. Перминовым Е.Б. 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. Отзыв утверждён 10.09.2019 г. директором академиком Задковым В.Н. Ведущая организация, ФГБУН ИСАН, в своем положительном заключении, указала, что в диссертационной работе 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 колебаний ядер молекулы. При этом параметрическая раскачка колебаний ядер молекулы сопровождается усилением рамановского сигнала. Наиболее эффективно усиление интенсивности рамановского сигнала происходит, когда удвоенная частота инфракрасного источника совпадает с собственной частотой колебаний ядер молекулы.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в следующих организациях: ФГБУН ИТПЭ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ФГБУН ФИАН им. Лебедева, ФГБУН ИСАН и других институтах РАН и Министерства образования и науки РФ.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ по теме диссертации в реферируемых журналах из списка ВАК:

1. Shishkov V.Yu., Zyablovsky A.A., Andrianov E.S., Pukhov A.A., Vinogradov A.P., Dorofeenko A.V. and Lisyansky A.A. Lowering the lasing threshold of distributed feedback lasers with loss // *Physical Review B*. – 2015. – V.92, № 24. – P. 245420.

2. Zyablovsky A.A., Shishkov V.Yu., Andrianov E.S., Vinogradov A.P., Pukhov A.A., Dorofeenko A.V. and Lisyansky A.A. Theory of the surface plasmon distributed feedback laser // In 2015 9th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics (METAMATERIALS) IEEE. – 2015. – P. 337-339.

3. В.Ю. Шишков, А.А. Зябловский, Е.С. Андрианов, А.А. Пухов, А.П. Виноградов, А.В. Дорофеев, С.А. Никитов, А.А. Лисянский Широкоапертурные планарные лазеры // *Радиотехника и электроника*. – 2016. – Т. 61, № 6. – С. 509-533.

4. Shishkov V.Yu., Andrianov E.S., Pukhov A.A. and Vinogradov A.P. Hermitian description of localized plasmons in dispersive dissipative subwavelength spherical nanostructures // *Physical Review B*. – 2016. – V. 94, № 23. – P. 235443.

5. Shishkov V.Yu., Andrianov E.S., Pukhov A.A., Vinogradov A.P. and Lisyansky A.A. Zeroth law of thermodynamics for thermalized open quantum systems having constants of motion // *Physical Review E*. – 2018. – V. 98, № 2 – P. 022132.

6. В.Ю. Шишков, Е.С. Андрианов, А.А. Пухов, А.П. Виноградов, А.А. Лисянский Релаксация взаимодействующих открытых квантовых систем // *Успехи Физических Наук*. – 2019. – Т. 189, № 5. – С. 544-558.

7. Shishkov V.Yu., Andrianov E.S., Pukhov A.A., Vinogradov A.P. and Lisyansky A.A. Enhancement of the Raman Effect by Infrared Pumping // *Physical Review Letters*. – 2019. – V. 122, № 15. – P. 153905.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (главный научный сотрудник, д.ф.-м.н. Манько В.И.) – отзыв положительный, без замечаний.
2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н. Крайнов В.П.) – отзыв положительный, без замечаний.
3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ведущий научный сотрудник, к.ф.-м.н. Дорофеенко А.В.) – отзыв положительный, без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что:

- д.ф.-м.н., профессор Поддубный А.Н. является ведущим ученым в области квантовой оптики и физики твёрдого тела. Публикации оппонента близки по тематике к тематике диссертации:

1. Zhang L., Xie W., Wang J., Poddubny A., Lu J., Wang Y., Gu J., Liu W., Xu D., Shen X. Rubo Y.G. Weak lasing in one-dimensional polariton superlattices // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Volume 112, Issue 13, p. E1516, 2015;
2. Krasnok A.E., Slobozhanyuk A.P., Simovski C.R., Tretyakov S.A., Poddubny A.N., Miroshnichenko A.E., Kivshar Y.S., Belov P.A. An antenna model for the Purcell effect // *Scientific reports*, Volume 5, p. 12956, 2015;
3. Poddubny A.N., Iorsh I.V., Sukhorukov A.A. Generation of photon-plasmon quantum states in nonlinear hyperbolic metamaterials // *Physical Review Letters* Volume 117, Issue 12, p. 123901, 2016;
4. Saravi S., Poddubny A.N., Pertsch T., Setzpfandt F., Sukhorukov A.A. Atom-mediated spontaneous parametric down-conversion in periodic waveguides // *Optics letters* Volume 42, Issue 22, p. 4734, 2017;

- к.ф.-м.н., Прямиков Андрей Дмитриевич является признанным специалистом в области физики лазеров и волоконной оптики. Публикации оппонента близки по тематике к тематике диссертации:

1. Gladyshev A.V., Kosolapov A.F., Khudyakov M.M., Yatsenko Y.P., Kolyadin A.N., Krylov A.A., Pryamikov A.D., Biriukov A.S., Likhachev M.E., Bufetov I.A., Dianov E.M. 4.4- μm Raman laser based on hollow-core silica fibre. // *Quantum Electronics*, Volume 47, Issue 5, p. 491, 2017;
2. Gladyshev A.V., Kosolapov A.F., Kolyadin A.N., Astapovich M.S., Pryamikov A.D., Likhachev M.E., Bufetov I.A. Mid-IR hollow-core silica fibre Raman lasers. // *Quantum Electronics*, Volume 47, Issue 12, p. 1078, 2017;
3. Pryamikov A.D., Alagashev G.K., Kosolapov A.F., Biriukov A.S. Impact of core-cladding boundary shape on the waveguide properties of hollow core microstructured fibers // *Laser Physics*, Volume 26, Issue 12, p. 125104, 2016;

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук является профильной организацией, специализирующейся на проведении исследований в области линейной и нелинейной спектроскопии атомов, молекул и конденсированных сред. А также специализируется в разработке и создании спектральной аппаратуры, аналитических приборов, лазеров и систем регистрации. В лаборатории спектроскопии наноструктур ведутся интенсивные работы по физике твёрдого тела и лазерам. Основные публикации сотрудников ИСАН по тематике, близкой к тематике диссертации:

1. Svyakhovskiy S.E., Maydykovskiy A.I., Novikov V.B., Kompanets V.O., Skorynin A.A., Bushuev V.A., Chekalin S.V., Murzina T.V., Mantsyzov B.I. Dynamical Bragg Diffraction in the Laue Geometry in 1D Porous Silicon-Based Photonic Crystals. // *Journal of Russian Laser*

Research, Volume 36, Issue 6, p. 588, 2015;

2. Konopsky V.N., Alieva E.V., Alyatkin S.Y., Melnikov A.A., Chekalin S.V., Agranovich V.M. Phase-matched third-harmonic generation via doubly resonant optical surface modes in 1D photonic crystals // *Light: Science & Applications*, Volume 5, Issue 11, p. 16168, 2016;

3. Pikalov, A.M., Dorofeenko, A.V., Granovsky, A.B. and Lozovik, Y.E. Plasmons in Chains of Spherical Nanoparticles with the Account of All Pairwise Interactions // *Journal of Communications Technology and Electronics*, Volume 63, Issue 3, p. 189, 2018.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- предложена каноническая схема вторичного квантования плазмона, локализованного на субволновом кластере резонансных диполей;
- предложен прямой способ нахождения инвариантных подпространств открытых квантовых систем. Показано, что знание этих инвариантных подсистем позволяют найти все интегралы движения системы;
- показано, что в низкодобротных плазмонных лазерах с распределённой обратной связью возможно понижение порога генерации при увеличении потерь в лазере;
- предложен новый метод усиления сигнала комбинационного рассеяния с помощью инфракрасного источника света.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- предложенная процедура квантования показывает, что для квантования плазмонов одновременно с квантованием электромагнитного поля необходимо производить квантование элементарных возбуждений среды. Также с фундаментальной точки зрения важным результатом является вычисленная при каноническом квантовании величина ближнего электрического поля плазмона;
- показано, что взаимодействие между открытыми квантовыми подсистемами может приводить как к дополнительным каналам релаксации, так и, наоборот, к накачке. Показано, что игнорирование этих процессов в расчётах динамики открытых составных квантовых систем может приводить к нарушению начал термодинамики и к неправильному предсказанию динамики системы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- с практической точки зрения представленная теория квантования локализованных плазмонов может быть полезна для плазмонных лазеров и плазмонных наноантенн, поскольку напряжённость ближнего электрического поля, создаваемого одним плазмоном определяет величину энергии взаимодействия поля плазмона с окружающими его молекулами;
- достижение, а также сохранение желаемых состояний составных открытых квантовых систем является сложной проблемой, поскольку эволюция таких систем ограничена законами термодинамики. В свете этого представленный в главе метод определения стационарных состояний открытых составных квантовых систем имеет прикладное значение;
- предложенный метод усиления интенсивности рамановского сигнала при освещении молекул инфракрасным источником, частота которого равна половине собственной частоты колебаний ядер молекул, имеет потенциальные прикладные перспективы, поскольку обладает некоторыми преимуществами по сравнению с когерентной антистоксовской рамановской спектроскопией;

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, ИТМО, ФИАН, ИСАН, МГУ.

Оценка достоверности результатов выявила:

- расчетно-теоретические исследования построены общепризнанных законах квантовой механики, электродинамики и оптики. Полученные результаты не противоречат опубликованным экспериментальным данным по теме диссертации;
- результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Личный вклад соискателя состоит в развитии конкретных направлений в рамках обозначенной тематики работы. Все изложенные в диссертации оригинальные результаты получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор принимал непосредственное участие в выборе объектов исследования, постановке задач, разработке теоретических подходов, численном моделировании и обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов исследования проводилась на 16 российских и международных конференциях. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 30.10.2019г. диссертационный совет принял решение присудить Шишкову Владиславу Юрьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 17 докторов физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика и электрофизические установки, из 20 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета Д 999.138.02
академик РАН, д.ф.-м.н.

Амиров Р.Х.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.138.02
к.ф.-м.н.



Кугель К.И.

30.10.2019 г.