

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

СТЕНОГРАММА

Заседание объединенного совета ДМ 002.262.01
от 25 мая 2016 года
(протокол №5)

Защита диссертации Баранова Дениса Григорьевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Поглощение и генерация света в плазмонных композитах»

Специальность 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Москва – 2016

СТЕНОГРАММА

заседания объединенного диссертационного совета ДМ 002.262.01
при Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН
при участии

Объединенного института высоких температур РАН

Протокол №5 от 25 мая 2016 г.

Председатель – Председатель диссертационного совета ДМ 002.262.01
академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Лагарьков А.Н.

Секретарь – Ученый секретарь диссертационного совета ДМ
002.262.01

к.ф.-м.н., Кугель К.И.

Председатель:

Уважаемые члены Совета, кворум имеется. Совет утверждён в составе
20 человека. На заседании присутствуют **18** члена совета, из них докторов
наук по профилю рассматриваемой диссертации – **17**.

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

На повестке дня защита диссертации **Баранова Дениса Григорьевича**, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки. Тема диссертации: «**Поглощение и генерация света в плазмонных композитах**» Диссертация выполнена в ФГАОУ Московском физико-техническом институте (Государственном университете).

Научный руководитель:

Виноградов Алексей Петрович, д.ф.-м.н., профессор, гл.н.с. лаборатории теоретической электродинамики конденсированного состояния (№1) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики РАН, г. Москва.

Официальные оппоненты:

1. **Капуткина Наталия Ефимовна** – гражданка РФ, д.ф.-м.н., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС, г. Москва), кафедра физической химии, профессор;

2. **Богданов Андрей Андреевич** – гражданин РФ, к.ф.-м.н., Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, сектор теоретических основ микроэлектроники, научный сотрудник.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН, 142190 г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5).

На заседании присутствуют: два официальных оппонента. Слово предоставляется ученому секретарю Кугелю К.И.

Ученый секретарь:

Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Минобрнауки РФ.

В деле имеется заключение организации, в которой выполнена диссертация.

Зачитывает заключение организации, на базе которой выполнена работа (не стенографируется, заключение прилагается)

Председатель:

Вопросы есть? Нет, все ясно. Пожалуйста, прошу.

Баранов Д.Г.:

Докладывает диссертационную работу (выступление не стенографируется, доклад Баранова Д. Г. прилагается).

Председатель:

Спасибо, пожалуйста, вопросы.

Председатель:

Скажите пожалуйста, у меня вопрос по поводу возбуждения на верхний уровень с помощью импульса. Правильно ли я понял, что даже если в Фурье спектре импульса нет соответствующих гармоник, которые соответствуют этому уровню, то возбуждение все равно возможно?

Баранов Д.Г.:

Да, возбуждение возможно, но оно возможно в режиме ультрасильной связи, когда частота Раби сравнима с частотой перехода. Но да, действительно, в спектре импульса нет соответствующих гармоник.

Председатель:

Этот результат сам по себе может быть предметом диссертации, это чрезвычайно важное утверждение. Вы первый это доказали?

Баранов Д.Г.:

Насколько я знаю, нет работ, в которых рассматривалась динамика какого-либо вообще осциллятора под действием суперосциллирующего поля, тем более квантового.

Председатель:

То есть Вы первый это сделали?

Баранов Д.Г.:

Насколько я знаю, да.

Батенин В.М.:

Можно к этому же? Почему нельзя объяснить это многофотонными переходами?

Баранов Д.Г.:

Поскольку для многофотонных процессов требуется, чтобы сумма, разность или какая-то комбинация частот была равна частоте перехода. Здесь набор этих частот совершенно произвольный, он может быть абсолютно любой, такой что никакая сумма и разность этих частот не будет равна частоте перехода. Но все равно из этих частот мы сможем сложить суперосциллирующий импульс.

Батенин В.М.:

Не понимаю... Потому что для ионизации многофотонной необязательно то условие, которое Вы сформулировали. Но там вероятность резко падает, а в Вашем случае?

Баранов Д.Г.:

Здесь мы не рассчитывали дифференциальную вероятность, но в атоме, насколько я понимаю, возбуждение сильным полем возможно, если рассматривать континуум состояний выше ионизованных, да? Здесь мы рассматриваем двухуровневую систему – игрушечная система, два уровня. И поэтому такой механизм здесь не будет работать. Здесь нет ионизации, здесь

есть возбуждение на верхний уровень, дискретный. А континуум состояний изменит ситуацию.

Батенин В.М.:

Ну это очень ограничивает модель...

Председатель:

Нет-нет, это другой вопрос. Здесь даже сам факт по себе является совершенно непонятным. Факт очень интересный.

Баранов Д.Г.:

Я могу на Ваш комментарий ответить. Пример двухуровневой системы – это не только атом, в котором существует континуум состояний с положительной энергией, но есть еще, например, сверхпроводящие кубиты, где два уровня достаточно хорошо изолированы.

Председатель:

Скажите, пожалуйста, какой-нибудь эксперимент пробовали сделать?

Баранов Д.Г.:

Нет, не пробовали, в оптике вообще это затруднительно, потому что, как отметили, есть и континуум уровней, есть и соседние уровни, которые близко прилегают.

Председатель:

Но в квантовой яме это можно сделать?

Баранов Д.Г.:

Есть еще одна проблема, как я сказал, это требование сверхсильной связи – частота Раби сравнима с частотой перехода. В атомах такого режима достичь невозможно, но в сверхпроводящих кубитах, есть такие работы, где такого режима, когда частота Раби сравнима с частотой перехода, достигали экспериментально.

Председатель:

Спасибо.

Пухов А. А.:

Вот в связи с этим и остается вопрос: в атоме константа связи слабая, и многофотонные переходы выбрасываются, потому что квадрат, куб слабой константы уходят. У Вас константа связи велика, как раз единица. Почему Вы уверены, что механизм вашего возбуждения – именно осцилляции Берри, а не, например, сложение низших гармоник?

Баранов Д.Г.:

Мы пробовали разные комбинации падающего импульса, мы оставляли одну гармонику в импульсе, с самой близкой частотой к частоте перехода, и брали для нее частоту Раби сравнимую с той, которая наблюдается при суперосциллирующем возбуждении. В итоге получалась вот такая динамика

инверсии населенностей. Видно, что она была отрицательной на протяжении всего импульса, что сильно отличается от суперосциллирующего случая.

Пухов А. А.:

То есть аргумент такой: во всех ваших численных экспериментах никогда не выполнялся комбинационный принцип Ритца. Ну они не складывались в переход. И поэтому Вы уверены, что это Берри.

Баранов Д.Г.:

Да, мы пробовали много разных комбинаций, и именно, когда комбинация складывалась таким образом, мы наблюдали возбуждение.

Пухов А. А.:

Скорее всего да, но это надо проверять.

Председатель:

Так, вопрос еще такой, кто-то еще хотел задать вопрос?

Лебедев Е.Ф.:

Какие из восьми Ваших основных выводов восприняты экспериментально, то есть заинтересовали ли они?

Баранов Д.Г.:

Во-первых, один из выводов экспериментальный, о том, что плоская р-поляризованная волна может быть поглощена в бесконечной анизотропной среде без деструктивной интерференции, это было верифицировано в нитриде бора на инфракрасных частотах. И экспериментаторов заинтересовала возможность субволновой лазерной генерации в диэлектрических наночастицах. В данный момент диэлектрическая нанофотоника испытывает бурное развитие, это очень интересная область, когда плазмонные резонаторы заменяют на высокоиндексные частицы, и разумеется возможность получения лазерной генерации на резонаторах Ми очень интересна, и я уверен, что в ближайшее время это получится.

Лебедев Е.Ф.:

Хорошо, еще по пункту 8 Ваших выводов, меня очень заинтересовало, почему у Вас частоты более высокого порядка, которые генерируются нелинейной системой, почему они на целый порядок превосходят?

Баранов Д.Г.:

Это опять же явление суперосцилляций. Локальная частота суперосцилляций – не спектральная Фурье частота, а локальная, то есть частота в какой-то области пространства – может неограниченно превосходить максимальную Фурье компоненту функции. В сто раз, в тысячу, в миллион. Здесь мы выбрали пример функции, так чтобы выход осциллировал в 10 раз быстрее максимальной частоты.

Лебедев Е.Ф.:

Спасибо.

Батенин В.М.:

Можно еще?

Председатель:

Пожалуйста.

Батенин В.М.:

Скажите, пожалуйста, вот у Вас написано, что сферическая наночастица может служить резонатором для нанолазеров. А дальше утверждение такое: что порог генерации определяется оптимальным выбором геометрии. Что, оптимальным выбором сферичности?

Баранов Д.Г.:

Это для диэлектрической частицы?

Батенин В.М.:

Ну, я не знаю, тут не написано.

Баранов Д.Г.:

Наверное, речь про диэлектрический нанолазер. Выбор геометрии: во-первых, как мы будем добавлять усиливающую среду? Мы можем покрыть эту частицу оболочкой из усиливающей среды, либо мы можем допировать ее атомами красителя или трехвалентными ионами, и от этой реализации усиления будет зависеть геометрия, будут зависеть соответственно свойства резонаторов, добротность и пороги генерации. Поэтому вопрос оптимизации геометрии и включения усиливающей среды также остается открытым. Кроме того, в реальности частица расположена не в вакууме, а на подложке, подложка сказывается на электродинамике, и влияет конечно на добротность и порог генерации.

Батенин В.М.:

Это очень хорошо, но тогда надо было пояснить, потому что, кажется, что зависит от геометрии сферической частицы – какая там геометрия?

Баранов Д.Г.:

Это можно пояснить в заключении.

Председатель:

Так, и еще вопрос, скажите, пожалуйста, к моему удивлению, надо сказать, когда Вы располагаете серебряные частицы в магнитной среде, в которой есть магнитная активность, это характерные размеры, все-таки, порядка, наверное, одна десятая микрона весь ряд занимает. В Ваших расчетах, десять штук наверное занимают одну десятую микрона?

Баранов Д.Г.:

Я думаю побольше. Чтобы у плазмонной частицы было нормальное эпсилон, это нанометров 50, расстояние между частицами, чтобы выполнялось диполь-дипольное приближение – нанометров 100, десять частиц – это будет микрон.

Председатель:

Микрон, прекрасно. На обычном магнито-активном материале на характерном размере микрона получить поворот плоскости поляризации на 90 градусов невозможно. Вы не могли бы на пальцах объяснить, каким образом, потому что все-таки это результат очень сильный, каким образом можно повернуть плоскость поляризации на таком характерном размере за счет того, что Вы выставляете вот такие вот резонаторы?

Баранов Д.Г.:

Дело в том, что у этой системы нет характерного масштаба. Мы можем уменьшать плазмонные частицы до тех пор, пока у такой частицы есть вразумительное ϵ , резонанс практически не будет никуда смещаться. Мы можем эти частицы уменьшать, соответственно масштабировать расстояния между ними, и в целом масштабировать всю систему вниз до маленьких размеров. При этом закон дисперсии будет оставаться таким же, потому что в закон дисперсии входит L , расстояние между частицами, и α – поляризуемость, которая так же пропорциональна радиусу. Если мы масштабируем частицу вниз, то у нас это отношение остается неизменным, но L уменьшается, поэтому k будет увеличиваться. То есть мы уменьшаем систему, а Блоховский волновой вектор увеличивается, и увеличивается так же разница между k .

Виноградов А. П.:

k увеличивается.

Председатель:

Ну и что? Все равно поворот осуществляется магнито-активным веществом.

Виноградов А. П.:

В длинах волн получается так на так, но k растёт.

Баранов Д.Г.:

Да, остается конечным отношение поворота к расстоянию между частицами, поскольку плазмонную систему можно масштабировать, мы можем за счет этого выиграть в повороте поляризации на микрон. За счет масштабирования системы.

Председатель:

Это очень любопытно, неожиданно совершенно.

Баранов Д.Г.:

Но стоит обратить внимание на то, что тут большие потери и, как следствие, возникнет циркулярный дихроизм.

Председатель:

Это не столь принципиально, Вы можете повернуть плоскость поляризации на столь маленьком расстоянии. Это для меня удивительно. Вы объяснили, но я так до конца и не понял.

Рыжиков И.А.:

Денис, у меня такой вопрос с практической точки зрения, как раз с точки зрения эксперимента. Вот у Вас второе положение, выносимое на защиту, когда речь идет о диэлектрическом нанолазере, согласно Вашей модели, Вы как-то оценивали оптимальную добротность диэлектрического резонатора? Потому что если Вы наносите оболочку сверху, то добротность естественно упадет. Существует ли оптимум, то есть минимальный порог при определенной добротности? Потому что Вы справедливо указали, что если краситель нанести внутрь, то это будет идеально, но это трудно реализуемо.

Баранов Д.Г.:

Если наносить оболочку из полимера, то будет хуже добротность, чисто с электродинамической точки зрения, поскольку появляется промежуточный слой, через который усиливается вытекание моды в вакуум. Можно допировать кремниевую частицу, если речь идет об оптике, или германиевую, трехвалентными ионами, это альтернатива красителю или квантовым точкам. Однако, насколько мне известно, достижимое усиление с помощью трехвалентных ионов значительно меньше, чем усиление достижимое с квантовыми точками, и это является их недостатком. Поэтому, вероятно, наиболее оптимальным вариантом будет покрытие такой частицы красителем или квантовыми точками, с помощью которых достижимо большее усиление.

Рыжиков И.А.:

Я имел ввиду, позволяет ли модель определить оптимум?

Баранов Д.Г.:

Да, разумеется, электродинамический расчет полюсов коэффициентов Ми.

Рыжиков И.А.:

То есть вы можете это сделать?

Баранов Д.Г.:

Да, конечно.

Председатель:

Ну конечно, по теории Ми посчитать. Так, вопросов нет больше?

Ученый секретарь:

Нет, вопросов, наверное, достаточно.

Председатель:

Ну, если есть желающие, то пожалуйста. Вопросов нет? Садитесь, пожалуйста. Спасибо. Слово предоставляется научному руководителю Виноградову А.П.

Виноградов А. П.:

Зачитывает отзыв (выступление не стенографируется, письменный отзыв имеется в деле)

Председатель:

Спасибо, Алексей Петрович!

Ученый секретарь:

Имеется положительный отзыв от ведущей организации – **Института спектроскопии Российской академии наук, г. Москва**, составленный зав. лабораторией спектроскопии наноструктур, к.ф.-м.н. Лозовиком Ю.Е., и утвержденный директором инситута д.ф.-м.н. Задковым В.Н. (*зачитывает отзыв, отзыв имеется в деле*)

На автореферат диссертации поступило три отзыва из следующих организаций:

1. д.ф.-м.н., профессор А. Б. Грановский (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва) – отзыв положительный, с замечаниями: – в обзорной части не приводятся сведения о различных способах усиления магнитооптических эффектов; – при обсуждении результатов магнитооптического спазера следовало бы более подробно привести сравнение с предыдущими работами, а не ограничиваться ссылкой на одну работу.

2. к.ф.-м.н. М. Р. Щербаков (Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва) – отзыв положительный, с замечаниями: – во второй главе при обсуждении результатов по измерению поглощения в гексагональном нитриде бора не приводятся результатов измерения диффузного рассеяния поверхностью поглощающего кристалла; – при рассмотрении диэлектрического нанолазера не обсуждаются оптические нелинейные эффекты, которые могут значительно повлиять на резонансные свойства наночастицы и активной среды при накачке мощным оптическим импульсом;

3. к.ф.-м.н. Д. Ю. Федянин (Московский физико-технический институт, Москва) – отзыв положительный, с замечаниями: – диссертация представляет собой комбинацию трех независимых и не связанных между собой задач, хотя автор, очевидно, имеет достаточный задел, квалификацию и количество публикаций в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах для того, чтобы сосредоточиться на одной из этих задач; - в автореферате не приведены некоторые важные численные результаты что

несколько затрудняет оценку практической значимости работы и реализуемости предложенных новых идей; – в третьей главе при моделировании нанолазера не учтена спонтанная эмиссия активной среды, что может заметно сказаться на величине порога генерации нанолазера.

Все поступившие отзывы положительные.

Председатель:

Пожалуйста, вам предоставляется слово для ответа на замечания.

Баранов Д.Г.:

Отвечу вначале на замечания ведущей организации. Действительно, спонтанная эмиссия важна при описании лазерной системы, однако при ее учете величина порога генерации останется на том же уровне, как показывают работы моих коллег. Далее, в главе 5 поле считается классическим, поскольку мы работаем в режиме сильной связи и поглощение одного фотона не повлияет на амплитуду прикладываемого электрического поля. И наконец, эффект нерезонансного возбуждения можно использовать не только для атомов, но и для других двухуровневых систем, где два уровня хорошо изолированы от других переходов.

Теперь к отзывам на автореферат. Первый отзыв Грановского А.Б. Я с его замечаниями согласен. Затем отзыв Максима Щербакова, МГУ. По поводу диффузного рассеяния, да, действительно, наличие шероховатости на поверхности нитрида бора может привести к появлению диффузного рассеяния. Мы его по каким-то причинам не померили. Тем не менее, мы видим, что на графике измеренного отражения р-поляризованной волны существуют те минимумы, которые предсказаны теорией, и мы считаем, что наличие этих минимумов связано именно с полным безотражательным прохождением падающей волны в анизотропный кристалл, и не диффузным рассеянием. Кроме того, как сообщали экспериментаторы, проводившие это измерение, им удалось найти достаточно ровную поверхность образца и сфокусировать падающий импульс именно на нее. Следующее замечание касается нелинейностей в диэлектрическом нанолазере. Действительно, кремний обладает широким рядом нелинейностей: керровской, генерацией электронной плазмы, тепловой. Все это может повлиять на лазерную генерацию. Однако для того, чтобы генерация плазмы или тепловая нелинейность привели к какому-либо эффекту, нужна достаточно мощная интенсивность накачки: двухсот фемтосекундный импульс с интенсивностью порядка 10 гигаватт на квадратный сантиметр. Такие мощности гораздо больше, чем мощности, используемые для накачки. Кроме того, резонансы диэлектрических частиц достаточно широкие, порядка 20-30 нанометров, сдвиги же резонансов вследствие нелинейных эффектов обычно гораздо меньше. Наконец, отзыв Дмитрия Федянина. Я не совсем согласен с

тем, что диссертация состоит из трех не связанных между собой задач. Хорошо известно, что полное поглощение электромагнитной энергии и лазерование являются двумя противоположными процессами, которые связаны математически. Если у нас есть линейная, взаимная, неизменяемая во времени система, то ее рассеяние может описываться при помощи S-матрицы. При этом, если система является идеальным поглотителем, то, если мы изменим мнимую часть диэлектрической проницаемости на противоположную, то при этом обращенное во времени решение (такое, в котором падающее поле становится излучаемым), так же будет решением уравнений Максвелла для новой системы. Таким образом, зная поглощающие свойства какой-либо системы, позволяет заключить выводы о лазерных модах такой системы, и наоборот. Следующее замечания касается отсутствия в диссертации важных численных оценок. Его я, к сожалению, не могу прокомментировать, потому что не указано, какие именно оценки отсутствуют. Последнее замечания касается учета спонтанной эмиссии. Я согласен, действительно, учет спонтанной эмиссии приведет к изменению зависимости излучаемой мощности от накачки, однако работы моих коллег, в частности, Евгения Андрианова, в которых учтена спонтанная эмиссия нанолазера, показывают, что по порядку величины значение порога генерации, полученное в полуклассическом подходе и в полностью квантовом, совпадает. Поэтому наш классический подход дает удовлетворительный результат.

Председатель:

Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту доктору физико-математических наук Капуткиной Наталии Ефимовне.

Капуткина Н.Е.:

(Зачитывает отзывы, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Спасибо. Пожалуйста, ответьте на замечания.

Баранов Д.Г.:

Первое замечания касается нитрида бора, спектра прохождения и диффузного рассеяния. Оптически толстый слой нитрида бора находился на металлической подложке, измерения проводились в среднем инфракрасном диапазоне, металл является замечательным зеркалом, и поэтому через слой нитрида бора ничего не проходило, и снимать спектр прохождения через образец необходимости не было. Требовалось измерять только отражение. Про диффузное рассеяние я уже ответил, повторяюсь еще раз. Действительно, было бы неплохо измерить диффузное отражение на то момент, когда мы проводили эксперимент, но такие измерения проведены не были. Однако, глядя на результаты, мы заключаем, что обнаруженные минимумы в спектре

отражения связаны не с диффузным рассеянием, а именно с безинтерференционным поглощением, поскольку точки минимумов находятся там, где предсказывает теория. Касательно второго замечания, связанного со спонтанной эмиссией, действительно, спонтанная эмиссия важна в лазерах, особенно вблизи порога генерации, она приводит к появлению дополнительного канала мощности, в который идет часть излучения. Однако, как показывают работы, в которых учитывается эффект спонтанной эмиссии, величина порога лазерной генерации по порядку остается на том же уровне, и поэтому наша модель дает удовлетворительный результат.

Председатель:

Спасибо. Слово предоставляется официальному оппоненту кандидату физико-математических наук, Богданову Андрею Андреевичу.

Богданов А. А.:

(Зачитывает отзыв, письменный отзыв имеется в деле).

Председатель:

Спасибо. Пожалуйста, ответьте на замечания

Баранов Д.Г.:

Первый комментарий касается пространственной дисперсии среды из нанопроволочек. Действительно, пространственная дисперсия в такой среде присутствует, и она возможна даже в длинноволновом режиме, в режиме малых k . Однако, наш результат можно рассматривать как модельный факт для среды, которая обладает нужными значениями элементов тензора диэлектрической проницаемости. Рассматривать это как факт, который имеет место, когда продольная и поперечная составляющие диэлектрической проницаемости обладают определенными значениями. Реализация такой среды в виде композита из нанопроволочек является лишь примером среды. Более того, наличие пространственной дисперсии не уменьшает наших выводов, поскольку затем этот факт был экспериментально верифицирован в среде, которая не обладает пространственной дисперсией – в нитриде бора – что и подтверждает наш модельный факт – его наличие в настоящих некомпозитных средах. По поводу следующего комментария, касающегося диполь-дипольного приближения в магнито-оптической цепочке. Действительно, взаимодействие дальних соседей является важным при расчете собственных мод периодических плазменных цепочек. Особенно важно оно при расчете дисперсии T поляризации, когда дипольный момент перпендикулярен оси цепочки, а это как раз наш случай. Чтобы обосновать применимость нашего приближения, мы для немагнитного случая рассчитали дисперсию в приближении ближайших соседей, которое мы используем (это приближение показано синей линией – зависимость

волнового вектора от частоты), и посчитали дисперсию мод честно, учитывая все частицы. Оказалось, что в области частот, в которой мы работаем, где наблюдается большое фарадеевское вращение, расчет с учетом ближайших соседей и с учетом всех частиц дают качественное согласие, и поэтому мы можем рассчитывать, что фарадеевское вращение при учете всех частиц также будет на порядок возрастать по сравнению с однородной магнитооптической средой. И касательно третьего комментария, я соглашусь, что исследование суперосцилляций сильно выбивается из контекста диссертации, однако речь идет также о поглощении света, только не электромагнитных волн, а фотонов при помощи двухуровневой системы, и она в принципе связана со всей диссертацией.

Председатель:

Спасибо! Садитесь, пожалуйста. Приступаем к дискуссии. Кто-нибудь хочет выступить? Мне тоже кажется, что диссертант достаточно ясно все изложил. Мне лично кажется, что работа очень хорошая. Есть некоторые замечания по оформлению, оформление мне кажется несколько странным, но по мелочам.

Батенин В.М.:

Тут прозвучало, что в диссертации есть три не связанных между собой части. Мне кажется, что требовать от диссертации единого стрелка как в каком-то стихотворении бессмысленно. Это может быть связано только с одним: диссертанту было трудно найти оппонента, который во всех задачах разбирается.

Председатель:

Блестяще! Спасибо. Предоставляет заключительное слово. Пожалуйста!

Баранов Д. Г.:

Спасибо всем членам диссертационного совета за то, что позволили сегодня мне представить диссертационную работу. Хочу поблагодарить всех своих коллег, с которыми я работал на протяжении учебы на Физтехе и в аспирантуре, и хочу отдельно поблагодарить своего научного руководителя, Алексей Петровича Виноградова, за его мудрое руководство, за то, что обучил меня многим вещам в науке, и за то, что я под его руководством написал замечательную диссертацию.

Председатель:

Спасибо! Садитесь, пожалуйста. Выбор счетной комиссии.

Ученый секретарь:

Я бы хотел предложить заслуженных членов ученого совета, которые еще не были у нас в счетной комиссии. В.М. Батенин (председатель счетной комиссии), А. С. Антонов и В. Т. Карпухин.

Председатель:

Спасибо, кто за? против? воздержался? Принято единогласно! Прошу приступить к голосованию.

(Проводится процедура тайного голосования).

Председатель:

Слово для оглашения результатов тайного голосования предоставляется Батенину В. М.

Председатель счетной комиссии:

Состав диссертационного совета утвержден в количестве **20** человек, введенных членов нет, на заседании присутствуют **18** членов совета, в том числе докторов наук по профилю диссертации **17**. Роздано **18** бюллетеней, остались не розданными **2**. В урне оказалось **18** бюллетеней.

Результаты голосования:

За присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук **Баранову Денису Григорьевичу** проголосовало **18** членов диссертационного совета, **против – нет, недействительных бюллетеней – нет.**

Председатель:

Предлагается утвердить протокол счетной комиссии. Прошу голосовать. *(Протокол счетной комиссии утверждается единогласно).* Спасибо, поздравим! Диссертационный совет должен принять заключение по диссертации Баранова Д. Г. и утвердить его. Проект заключения роздан. Прошу теперь перейти к обсуждению проекта заключения.

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения).

Предлагается принять заключение с обсужденными нами изменениями. Прошу голосовать. *(Утверждается единогласно открытым голосованием).* Заседание диссертационного совета объявляется закрытым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДМ 002.262.01
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 ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.05.2016, протокол № 5

О присуждении Баранову Денису Григорьевичу, гражданину РФ ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поглощение и генерация света в плазмонных композитах» в виде рукописи по специальности 01.04.13 - Электрофизика и электрофизические установки, принята к защите 14.03.2016 г., протокол №4, объединенным диссертационным советом ДМ 002.262.01 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/>, (495) 484-23-83), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.02.2013г. № 75/нк.

Соискатель Баранов Денис Григорьевич 1990 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

В настоящее время является аспирантом Московского физико-технического института (государственного университета) (с 01.09.2013 по 31.08.2017).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)».

Научный руководитель – д.ф.-м.н. профессор Виноградов Алексей Петрович, гл.н.с. лаборатории теоретической электродинамики конденсированного состояния (№1) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, <http://www.itae.ru/>, (495) 484-23-83).

Официальные оппоненты:

Капуткина Наталия Ефимовна, д.ф.-м.н., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС), кафедра физической химии, профессор (119991, Москва, Ленинский проспект, д. 4 +7 495 955-00-32);

Богданов Андрей Андреевич, к.ф.-м.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, сектор теоретических основ микроэлектроники, научный сотрудник (194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26 8 (812) 297-2245)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН, г. Москва), в своем положительном заключении, подписанном старшим научным сотрудником Института спектроскопии Российской академии наук, кандидатом физико-математических наук Мелентьевым П.Н. (утвержденным ВРИО директора Задковым В.Н.), указала что:

1. Продемонстрирована экспериментально возможность полного поглощения электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне без явления деструктивной интерференции с использованием сильно анизотропного кристалла.
2. Показано, что сферическая наночастица из кремния может служить резонатором для реализации нанолазера. Величина порога генерации такого нанолазера значительно меньше порога генерации плазмонного нанолазера.
3. Предсказано резонансное увеличение эффекта Фарадея в периодической цепочке плазмонных частиц, помещенных в магнитооптическую среду.
4. Теоретически предсказана возможность возбуждения квантового излучателя суперосциллирующим импульсом, все спектральные компоненты которого лежат ниже резонансной частоты перехода двухуровневой системы.

5. Показано, что при возбуждении нелинейной безынерционной системы гармоническим низкочастотным сигналом может происходить генерация суперосциллирующего сигнала на выходе системы.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН, Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, Институте спектроскопии РАН и Московском физико-техническом институте.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 печатных работах, включая 11 статей в реферируемых научных журналах из списка ВАК. Список публикаций проверен, подтверждено, что соискатель является автором данных работ.

Основные работы:

1. Баранов Д.Г., Виноградов А.П., Симовский К.Р., Нефедов И.С., и Третьяков С.А. К электродинамике поглощающей одноосной неположительно определенной (индефинитной) среды // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2012. – Т. 114. – С. 650.
2. Baranov D.G., Andrianov E.S., Vinogradov A.P., and Lisyansky A.A. Exactly solvable toy model for surface plasmon amplification by stimulated emission of radiation // Optics Express. – 2013. – Vol. 21. – P. 10779.
3. Baranov D.G., Vinogradov A.P., Lisyansky A.A., Strelniker Y.M., and Bergman D.J. Magneto-optical spaser // Optics Letters. – 2013. – Vol. 38. – P. 2002.
4. Baranov D.G., Vinogradov A.P., and Lisyansky A.A. Abrupt Rabi oscillations in a superoscillating electric field // Optics Letters. – 2014. – Vol. 39. – P. 6316.
5. Baranov D.G., Edgar J.H., Hoffman T., Bassim N., and Caldwell J.D. Perfect interferenceless absorption at infrared frequencies by a van der Waals crystal // Physical Review B. – 2015. – Vol. 92. – P. 201405(R).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. д.ф.-м.н., профессор **А. Б. Грановский** (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва) – отзыв положительный, с замечаниями:
– в обзорной части не приводятся сведения о различных способах усиления магнитооптических эффектов;

– при обсуждении результатов магнитооптического спазера следовало бы более подробно привести сравнение с предыдущими работами, а не ограничиваться ссылкой на одну работу.

2. к.ф.-м.н. **М. Р. Щербаков** (Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва) – отзыв положительный, с замечаниями:

– во второй главе при обсуждении результатов по измерению поглощения в гексагональном нитриде бора не приводятся результаты измерения диффузного рассеяния поверхностью поглощающего кристалла;

– при рассмотрении диэлектрического нанолазера не обсуждаются оптические нелинейные эффекты, которые могут значительно повлиять на резонансные свойства наночастицы и активной среды при накачке мощным оптическим импульсом;

3. к.ф.-м.н. **Д. Ю. Федянин** (Московский физико-технический институт, Москва) – отзыв положительный, с замечаниями:

– диссертация представляет собой комбинацию трех независимых и не связанных между собой задач, хотя автор, очевидно, имеет достаточный задел, квалификацию и количество публикаций в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах для того, чтобы сосредоточиться на одной из этих задач;

- в автореферате не приведены некоторые важные численные результаты что несколько затрудняет оценку практической значимости работы и реализуемости предложенных новых идей;

– в третьей главе при моделировании нанолазера не учтена спонтанная эмиссия активной среды, что может заметно сказаться на величине порога генерации нанолазера.

Выбор официальных оппонентов обосновывается проводимыми ими исследованиями по теме диссертации.

Выбор д.ф.-м.н. **Капуткиной Н.Е.** в качестве оппонента обосновывается тем, что она является ведущим ученым в области квантовой оптики, физики твердого тела, автором большого количества работ, посвященных различным эффектам, в том числе, лазированию в гетероструктурах, таких как квантовые точки, квантовые ямы, и др., в частности:

1. Altaisky M. V., Kaputkina N. E., Krylov V. A. Quantum neural networks: Current status and prospects for development //Physics of Particles and Nuclei. – 2014. – V. 45. – №. 6. – P. 1013-1032.

2. Коротаев П. Ю., Векилов Ю. Х., Капуткина Н. Е. Электронный спектр и локализация электронных состояний в аперидических цепочках квантовых

точек // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2014. – Т. 145. – №. 2. – С. 348.

3. Altaisky M. V., Kaputkina N. E. On quantization of nondispersive wave packets // Journal of Mathematical Physics. – 2013. – V. 54. – № 10. – P. 102101.

Выбор к.ф.-м.н. **Богданова А. А.** в качестве оппонента обосновывается тем, что он является признанным специалистом в области нанофотоники и метаматериалов. Автор многих работ по данной тематике, в частности

1. Yermakov O.Y., Ovcharenko A.I., Song M., Bogdanov A.A., Iorsh I.V., and Kivshar Y.S. Hybrid waves localized at hyperbolic metasurfaces // Physical Review B. – 2015. – Vol. 91. – P. 235423.

2. Bogdanov A.A. et al. Mode selection in InAs quantum dot microdisk lasers using focused ion beam technique // Optics Letters. – 2015. – Vol. 40. – P. 4022.

3. Petrov M.I., Sukhov S.V., Bogdanov A.A., Shalin A.S., and Dogariu A. Surface plasmon polariton assisted optical pulling force // Laser Photonics Reviews. – 2015. – Vol. 122. – P. 116.

Выбор ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки **Института спектроскопии Российской академии наук** обусловлен тем, что данный институт является многопрофильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе по тематике диссертации. В частности, эти исследования направлены на экспериментальное создание оптических нанолазеров, разработку новых методов управления атомными состояниями с помощью света. Основные публикации сотрудников ИСАН по тематике, близкой к тематике диссертации:

1. Melentiev P. N. et al. Giant enhancement of two photon induced luminescence in metal nanostructure // Optics Express. – 2015. – V. 23. – №. 9. – P. 11444-11452.

2. Berman O.L., Kezerashvili R.Y., and Lozovik Yu. E. Graphene nanoribbon based spaser // Physical Review B. – 2013. – Vol. 88. – P. 235424.

3. Melentiev P. N. et al. Split Hole Resonator: A Nanoscale UV Light Source // Nano Letters. – 2016. – Vol. 16. – P. 1138.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Изучено распространение поверхностных плазмонов по поглощающей гиперболической среде;

2. Показана теоретически и экспериментально возможность полного поглощения падающей р-поляризованной электромагнитной волны

полубесконечным слоем одноосной поглощающей среды – ван-дер-ваальсовским кристаллом;

3. Представлена модель, позволяющая в рамках классической нелинейной электродинамики аналитически описать поведение спазера выше порога лазерной генерации;

4. Предложено устройство магнитооптического спазера – субволнового источника ближнего когерентного, циркулярно-поляризованного электромагнитного поля;

5. Получены данные по распространению собственных мод по плазмонной магнитооптической цепочке. Предсказано сильное увеличение магнитооптических свойств такой системы;

6. Показано, что сферическая наночастица из материала с высоким показателем преломления (кремния) может служить резонатором для реализации субволнового лазера, не содержащего плазмонные металлы;

7. Продемонстрирована возможность возбуждения двухуровневой системы суперосциллирующим полем, все спектральные компоненты которого лежат ниже резонансной частоты перехода квантового излучателя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Изучен закон дисперсии поверхностных плазмонов, распространяющихся по поглощающей гиперболической среде. Показано, что для определенных параметров одноосной среды длины пробега плазмона может неограниченно возрастать, несмотря на наличие поглощения в одноосном материале.

2. Предсказана теоретически возможность полного поглощения падающей р-поляризованной волны полубесконечным слоем ван-дер-ваальсовского кристалла – гексагонального нитрида бора. Явление продемонстрировано экспериментально в оптически толстом слое материала;

3. Развита модель спазера, позволяющая в рамках классической электродинамики описать поведение спазера выше порога генерации. В рамках модели показана возможность компенсации потерь спазером ниже порога генерации и синхронизации лазерных осцилляций внешним электромагнитным полем. Подход позволяет описать как амплитуду лазерной моды в зависимости от накачки активной среды, так и отклик нанолазера на внешнее осциллирующее поле.

4. Исследованы лазерные моды магнитооптического спазера. Получены выражения для порога и частоты генерации двух мод с правой и левой циркулярной поляризацией дипольного момента наночастицы;

5. Исследован спектр собственных мод плазмонной магнитооптической периодической цепочки. Предсказано резонансное увеличение эффекта Фарадея по сравнению с однородной магнитооптической средой.

6. Исследованы лазерные моды системы «диэлектрическая частица из материала с высоким показателем преломления – усиливающая среда», получено условие порога лазерной генерации;

7. Предсказана возможность нерезонансного возбуждения двухуровневой системы суперосциллирующим полем, все спектральные компоненты которого лежат ниже резонансной частоты перехода системы.

8. Показано, что при возбуждении нелинейной безынерционной системы гармоническим низкочастотным сигналом может происходить генерация суперосцилляций Берри на выходе системы; частота такого сигнала на порядок превосходит частоту падающего сигнала.

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

– в диссертации исследована возможность возбуждения двухуровневой квантовой системы из основного состояния при помощи нерезонансного электрического поля, все спектральные компоненты которого лежат ниже резонансной частоты перехода атома. Данный эффект может быть важным для разработки новых методов когерентного контроля состояний двухуровневых систем - атомов и кубитов;

– продемонстрированный эффект полного поглощения в одноосном кристалле может найти важные применения при разработке фотовольтаических и фотодетектирующих устройств, а также сенсоров, работающих в инфракрасном диапазоне;

- в диссертации построена модель, позволяющая описать поведение плазмонного нанолазера без использования квантово-механических уравнений, что может значительно упростить расчеты систем, содержащих большое количество нанолазеров.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в Институте теоретической и прикладной электродинамики РАН, Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, Институте спектроскопии РАН, Московском физико-техническом институте и во многих других научных учреждениях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- расчетно-теоретические исследования построены на проверяемых данных и фактах и общепризнанных законах электродинамики и оптики. Они согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;
- результаты работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Автор лично проводил все вычисления, результаты которых представлены в диссертации. Подготовка публикаций по выполненной работе осуществлялась совместно с соавторами при определяющем вкладе соискателя. Результаты были представлены лично диссертантом на 10 всероссийских и международных конференциях. На основании проведенных исследований соискателем были сформулированы положения, выносимые на защиту.

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 25.05.2016 г. диссертационный совет ДМ 002.262.01 принял решение присудить Баранову Д. Г. ученую степень кандидата физико-математических наук.

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

Председатель диссертационного совета ДМ 002.262.01
д.ф.-м.н., профессор, академик

Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета ДМ 002.262.01

к.ф.-м.н.

Кугель К.И.

