

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

Института спектроскопии РАН

профессор Задков В.Н.



2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Д. Г. Баранова «Поглощение и генерация света в плазмонных композитах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки

Диссертационная работа Д. Г. Баранова посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию различных задач нанооптики. Особое внимание уделено взаимодействию электромагнитного излучения с поглощающими средами и генерации лазерного излучения в наноструктурах. Эффективное поглощение электромагнитного излучения является ключевым аспектом для большого количества актуальных прикладных задач, в число которых входит разработка радиопоглощающих покрытий, фотодетектирование и фотовольтаика, генерация горячих электронов и биофотоника. Миниатюризация лазерных источников до субволнового масштаба также является востребованной задачей в свете различных прикладных применений, как например создание оптических каналов связи между электронными компонентами и томография биологических тканей и отдельных клеток.

Благодаря развитию нанопотоники и методов производства оптических наноструктур, открываются возможности по созданию совершенно новых

электромагнитных поглотителей и нанолазеров. Поведение наноструктурированных электромагнитных систем может значительно отличаться от закономерностей, известных для классических поглотителей и лазеров. Поэтому задачи, решенные в диссертации Д. Г. Баранова, безусловно, являются **актуальными**.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

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

Первая глава имеет обзорный характер. В ней приведен обзор литературы по темам, затрагиваемым в диссертации: поглотителям электромагнитной энергии, нанолазерам и суперосцилляциям.

Вторая глава посвящена изучению распространения излучения и поглощению сильно анизотропными средами и метаматериалами. Изучен закон дисперсии плазмон-поляритона, распространяющегося по поверхности метаматериала из металлических проволочек. Показано, что при определенных параметрах тензора диэлектрической проницаемости одноосной среды плазмон превращается в плоскую волну, падающую без отражения на поглощающий анизотропный материал (под углом Брюстера). Явление полного поглощения одноосной средой обнаружено автором диссертации в эксперименте с использованием гексагонального нитрида бора – ван-дер-ваальсовского кристалла, обладающего сильной анизотропией в инфракрасной области частот.

Третья глава посвящена исследованию нанолазеров. Представлена упрощенная (“игрушечная”) модель спазера, основанная на электродинамических уравнениях, которая описывает его поведение выше порога генерации. Модель верно описывает компенсацию джоулевых потерь усилением и синхронизацию лазерных осцилляций внешним полем.

Рассматривается нанолазер, не содержащий высокодиссипативных плазмонных металлов – субволновая частица из материала с высоким коэффициентом преломления, окруженная усиливающей средой.

Четвертая глава посвящена изучению активных магнито-оптических наноструктур. Рассмотрены лазерные моды магнито-оптического спазера, представляющего собой систему из магнито-оптической плазмонной частицы, окруженной усиливающей средой. Также исследовано распространение собственных мод по плазмонной магнито-оптической периодической цепочке частиц. Теоретически предсказано расщепление собственных дипольных мод цепочки вследствие магнито-оптического эффекта, приводящее к фарадеевскому вращению, и исследована возможность компенсации джоулевых потерь с помощью усиливающей среды.

Пятая глава посвящена исследованию физических эффектов, обусловленных суперосцилляциями (Берри). В частности, был получен весьма интересный теоретический результат, заключающийся в возможности возбуждения двухуровневой дипольной системы суперосциллирующим импульсом. Также исследуется возможность генерации суперосциллирующих сигналов на выходе нелинейной системы, которая возбуждается падающим гармоническим полем.

В диссертации представлен ряд интересных **новых результатов**.

1. Продемонстрирована экспериментально возможность полного поглощения электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне без использования деструктивной интерференции с использованием сильно анизотропного кристалла.
2. Показано, что сферическая наночастица из кремния может служить резонатором для реализации нанолазера. Порог генерации такого нанолазера при оптимальном выборе геометрии может быть значительно меньше порога генерации плазмонного нанолазера.

3. Предсказано резонансное увеличение эффекта Фарадея в периодической цепочке плазмонных частиц, помещенных в магнито-оптическую 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.

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

Диссертация не лишена недостатков:

1. При исследовании лазерной генерации не учитывается люминесценция активной среды. Учет люминесценции может повлиять на оценку порога лазерной генерации.
2. В главе 5 задача о взаимодействии суперосциллирующего электрического поля с двухуровневой дипольной системой решается в полуклассическом приближении, что означает, что поле подразумевается классической, а не квантовой величиной.
3. В том же разделе предполагается, что обнаруженный эффект может быть полезен для когерентного контроля атомных переходов. Однако, реальный атом содержит огромное число переходов с различными частотами, которые будут взаимодействовать с низкочастотными компонентами импульса и могут изменить динамику интересующего перехода.

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

Диссертационная работа Д. Г. Баранова является завершённым исследованием, посвящённым актуальной научной задаче и содержащим оригинальные результаты. Она полностью удовлетворяет п.9 положения ВАК о порядке присуждения учёных степеней, а её автор несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании лаборатории лазерной спектроскопии Института спектроскопии Российской академии наук.

Отзыв утверждён и одобрен на заседании семинара лаборатории спектроскопии наноструктур ИСАН 27.04.2016, протокол № 1.

Зав. лаборатории спектроскопии наноструктур  
Института спектроскопии РАН,  
профессор МФТИ  
к.ф.-м.н.

Ю. Е. Лозовик

Подпись зав. лабораторией Ю. Е. Лозовика  
Ученый секретарь  
Института спектроскопии РАН  
к.ф.-м.н.



заверяю  
Е.Б. Перминов