

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института спектроскопии
Российской академии наук

профессор Задков В.Н.

«_04_» октября_ 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт спектроскопии Российской академии наук» на диссертацию Александра Никитича Поддубного на тему: «Распространение, локализация и излучение света в наноструктурах и метаматериалах», представленную в диссертационный совет № Д 002.205.02 при Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертация А.Н. Поддубного «Распространение, локализация и излучение света в наноструктурах и метаматериалах» представляет собой завершённое теоретическое исследование комплекса оптических явлений в наноструктурах и метаматериалах. В ней рассмотрены периодические, квазикристаллические и разупорядоченные структуры на основе квантовых ям и квантовых точек, массивов плазмонных и диэлектрических наночастиц.

Оптика наноструктур сформировалась в последние годы как отдельное, быстро развивающееся научное направление. Открылась возможность контролировать пространственное распределение и поляризацию электромагнитных полей на наномасштабах и управлять взаимодействием оптических мод с квантовыми излучателями. Параллельно идет быстрое развитие физики метаматериалов — искусственных сред, обладающих нетривиальными оптическими свойствами. Первоначально исследования в этой области были стимулированы перспективами использования т.н. «левых» сред с отрицательным показателем преломления. В последние несколько лет все большее внимание привлекают т.н. гиперболические метаматериалы — искусственные одноосные среды, в которых главные компоненты тензора эффективной диэлектрической проницаемости имеют разные знаки — и их двумерные аналоги, т.н. метаповерхности. Разнообразие объектов исследования и изучаемых физических явлений обуславливает безусловную актуальность теоретических исследований в этом направлении. Целью теории является объяснение и количественное описание экспериментальных результатов, определение материальных и геометрических параметров структур по данным оптических экспериментов, разработка новых классов структур с наперед заданными оптическими свойствами и предсказание новых физических эффектов. Именно на это и нацелена рецензируемая диссертационная работа. В диссертации А.Н. Поддубного рассмотрен ряд конкретных фундаментальных задач, таких как распространение и мандельштам-бриллюэновское рассеяние экситонных поляритонов в полупроводниковых сверхрешётках, образование сверхизлучательных поляритонных мод в квазикристаллах, локализация света в неупорядоченных фотонных кристаллах в режиме резонанса Фано, спонтанное излучение в гиперболических средах, фёрстеровский перенос энергии экситонными поляритонами, образование оптических аналогов топологических состояний электронов в твердом теле. Все задачи, решаемые в рамках диссертации А.Н. Поддубного, представляют значительный интерес

для научного сообщества, а **актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.**

Диссертация А.Н. Поддубного состоит из введения, пяти глав, и заключения. В первой главе – введении – обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, обозначена научная новизна исследований и полученных результатов.

Дальнейшие главы диссертации содержат ряд **новых оригинальных** результатов. В *первой главе* построена общая теория мандельштам-бриллюэновского рассеяния экситонных поляритонов на акустических фонах в полупроводниковых сверхрешетках с учетом процессов брэгговской дифракции и конечного числа квантовых ям в сверхрешетке. Сформулированная А.Н. Поддубным теория позволила количественно описать результаты экспериментов по рассеянию поляритонов, определить излучательные и безызлучательные времена жизни экситонов в квантовых ямах, а также величину константы фотоупругого взаимодействия.

Вторая глава диссертации посвящена разупорядоченным и квазикристаллическим структурам. Предсказан новый физический эффект — образование сверхизлучательной моды экситонных поляритонов в квазикристаллической структуре на основе последовательности Фибоначчи квантовых ям, настроенной на брэгговское условие на резонансной частоте экситона. Теоретическое предсказание было полностью подтверждено экспериментами по спектроскопии отражения сверхрешетки квантовых ям GaAs/AlGaAs, выполненными в группе Галины Хитровой и Хаятта Гиббса в университете Аризона, США. Также в главе 2 построена теория поляризационно-зависимого пропускания света через квазикристаллическую мозаику Пенроуза из металлических наночастиц, согласующаяся с данными экспериментов. Выявлен и теоретически объяснен новый неожиданный эффект в спектрах пропускания одномерных фотонных кристаллов со случайной диэлектрической проницаемостью каждого второго слоя — образование асимметричных спектральных линий на брэгговских частотах

под влиянием беспорядка. форма которых описывается формулой Фано с параметром Фано, определяемым силой беспорядка.

В *третьей главе* диссертации впервые построена теория спонтанного излучения для источника, помещенного внутрь гиперболического метаматериала. Выполнен как расчет фактора Парселла в рамках общей модели эффективной среды, так и анализ конкретных реализаций гиперболических метаматериалов на основе массивов резонансных наночастиц и металлических проводов. Работы диссертанта в этой области привлекли значительное внимание исследователей, а обзор “Hyperbolic metamaterials” А.Н. Поддубного с соавторами, опубликованный в 2013 году в журнале Nature Photonics, стал основополагающим трудом в этой бурно развивающейся области.

Четвертая глава диссертации посвящена решению задачи о фёрстеровском переносе возбуждений в массиве локализованных экситонов, расположенном вблизи металлического зеркала. Оригинальность поставленной задачи состоит в учете коллективных эффектов — образования коллективных мод экситонных поляритонов, обусловленного гибридизацией локализованных экситонных резонансов за счет их взаимодействия с оптическими модами системы. Предложенный коллективный механизм может дать объяснение экспериментально наблюдавшемуся замедлению скорости переноса вблизи металлического зеркала.

В *пятой главе* диссертации предложен новый нанобъект — структура наночастиц в форме зигзага. Наночастицы обладают резонансным оптическим откликом за счет резонансов Ми или плазмонных резонансов в зависимости от их материала, диэлектрика или металла, соответственно. Проанализирована гибридизация электромагнитных мод отдельных наночастиц в решетке типа зигзага. Установлена нетривиальная топологическая структура энергетического спектра такой решетки и показано, что на ее краях возникает пара поляризационных-вырожденных электромагнитных краевых мод. Предсказания теории согласуются с

данными ближнепольной оптической спектроскопии массивов диэлектрических и металлических нанодисков.

Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений, она подтверждена внутренней непротиворечивостью выбранных автором теоретических методов, аналитических и численных, и сопоставлением с результатами других авторов. Ключевые результаты диссертации подтверждены сопоставлением с данными экспериментов. Полученные в диссертации А.Н. Поддубного результаты представляют несомненный интерес для организаций, занимающихся изучением оптики наноструктур и метаматериалов, таких как Институт спектроскопии РАН, Физический институт РАН, Институт общей физики РАН, Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, МФТИ, МГУ, СПбГУ и других. Результаты данного диссертационного исследования отражены в 24 публикациях в ведущих физических журналах и одной главе в монографии и многократно докладывались соискателем на международных и российских конференциях по тематике работы. Основные положения диссертации А.Н. Поддубного, выносимые на защиту, обладают безусловной **научной новизной**.

К диссертации А.Н. Поддубного имеется **следующее замечание**:

В главе 1 диссертации, «Рассеяние экситонных поляритонов в полупроводниковых сверхрешётках», взаимодействие света с квантовыми ямами учитывается в пренебрежении отличием между фоновыми диэлектрическими проницаемостями материалов квантовых ям и барьеров, который, для рассматриваемых сверхрешеток GaAs/AlAs вообще говоря является существенным.

Данное замечание не влияет на общее положительное впечатление о работе, которая выполнена на высоком научном уровне и вносит существенный вклад в развитие теории оптических явлений в наноструктурах и метаматериалах.

Автореферат соответствует всем требованиям ВАК и отражает содержание диссертации и опубликованных работ автора.

Рецензируемая диссертационная работа «Распространение, локализация и излучение света в наноструктурах и метаматериалах» соответствует всем требованиям пунктов 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней" для ученой степени доктора наук, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Поддубный А.Н., безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02- "Теоретическая физика".

Доклад А.Н. Поддубного, отражающий основные результаты диссертации, был заслушан на научном семинаре лаборатории спектроскопии наноструктур ИСАН 28.09.2016.

Работа получила единогласную положительную оценку участников семинара. Отзыв обсужден и одобрен на заседании семинара лаборатории спектроскопии наноструктур ИСАН 28.09.2016, протокол № 1.

Главный научный сотрудник
Института спектроскопии РАН,
доктор физ.-мат.наук

Мальшуков
Анатолий Германович

Отзыв утвержден на Ученом Совете ИСАН,
протокол № от

Ученый секретарь
Института спектроскопии РАН
к.ф.-м.н.

Е.Б. Перминов