

## Отзыв

официального оппонента Запасского Валерия Сергеевича  
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

Диссертационная работа А. Н. Поддубного, выполненная автором в последние 8 лет, посвящена, как следует из ее названия, изучению широкого круга вопросов взаимодействия световых волн с наноструктурами, фотонными кристаллами и метаматериалами. Период выполнения работы совпал со временем бурного развития этой области физики, когда сама формулировка физической задачи приобретала эвристическую ценность. Плодотворная научная работа в такой период требует от исследователя не просто высокой профессиональной квалификации и эрудиции, но и высокого творческого потенциала, изобретательности и восприимчивости к новым идеям. Все эти качества в полной мере продемонстрированы автором представленной работы.

Диссертация А. Н. Поддубного содержит постановку и решение большого числа разнотипных физических задач из области, которую можно условно назвать оптикой структурированных сред. Ниже я остановлюсь на некоторых аспектах и результатах работы, которые мне представляются наиболее важными и любопытными, и которые позволяют дать представление о высоком уровне выполненной работы.

Во Введении автор кратко описывает основные этапы развития фотоники и оптики структурированных твердотельных систем, а также аргументирует актуальность постановки задач работы, которая, по сути дела, определяется актуальностью рассмотрения процессов взаимодействия света с

макро-, микро- и нано- структурированными средами и необходимостью разработки методов решения задач, описывающих такие процессы. Здесь же приведены общие сведения о работе, уместно предваряющие основной текст диссертации. При этом наиболее актуальные теоретические задачи в области фотоники, как отмечает автор, связаны с изучением влияния новых степеней свободы, специфичных для структурированных сред (геометрические и диэлектрические параметры элементов структуры), на их оптические свойства. На решение таких **несомненно актуальных** задач и нацелена работа А. Н. Поддубного.

Первая глава посвящена построению теоретической модели рассеяния света на сложенных акустических фонах при оптическом возбуждении вблизи экситонного резонанса в короткопериодной сверхрешетке. В разделе 1.1 представлен компактный, но вполне исчерпывающий анализ состояния дел в спектроскопии экситонных поляритонов с указанием некоторых пробелов в этой области физики, подводящий читателя к формулировке задач первой главы, в которой рассматривается связанная система трех видов квазичастиц – фотонов, экситонов и акустических фононов. Автор развивает общую теорию мандельштам-бриллюэновского рассеяния экситонных поляритонов в структурах на основе квантовых ям и применяет ее для частного случая периодической структуры. Представлена ясная физическая интерпретация отдельных вкладов в выражение для интенсивности рассеяния. Развитая теория иллюстрируется примерами расчетов спектров отдельных характеристик рассеянного излучения – бриллюэновского сдвига, уширения и пиковой амплитуды рассеяния как функции энергии фотонов падающего света. На основании сопоставления экспериментальных данных Бернара Жюсрана и Аристида Леметра с предсказаниями теории идеально подтверждена справедливость развитой модели и, в частности, получена ценная информация о спектральном поведении фотоупругого коэффициента в GaAs.

Вторая глава посвящена исследованию резонансных эффектов в аперидических фотонных кристаллах.

Прежде всего, хотелось бы отметить замечательный по своей сжатости, полноте и ясности изложения обзорный раздел 2.1, дающий читателю полное

представление и о логике развития этого направления исследований, и о базовых идеях оптики структурированных сред.

В этой главе автор предлагает новый объект фотоники - резонансный фотонный квазикристалл, в качестве которого рассматривается цепочка квантовых ям с неперiodичностью типа Фибоначчи. Важным и интересным результатом этого раздела является обнаруженная качественная зависимость оптических спектров от числа квантовых ям, позволяющая выделить два режима отражения света - сверхизлучательный и фотонно-квазикристаллический. Предложено ясное физическое толкование перехода в фотонно-квазикристаллический режим, условие которого определяется сопоставимостью времени жизни сверхизлучательной моды с временем прохождения света через структуру.

Неожиданные результаты были получены при исследованиях пропускания света одномерным разупорядоченным фотонным кристаллом. Автором показано, что результатом внесения беспорядка может быть не размытие брэгговских стоп-зон, а их трансформация в зоны пропускания. В рассмотренном в диссертации случае беспорядка по диэлектрической проницаемости каждого второго слоя спектр пропускания испытывал асимметричную трансформацию, которая описывалась известной формулой Фано. Как и в других случаях, автором дается ясное физическое толкование этого эффекта.

В третьей главе автор рассматривает интереснейшую задачу о скорости спонтанного излучения источника (квантовой точки), расположенного в гиперболической среде. Особенностью этой «экзотической» среды является наличие расходимости плотности фотонных состояний для необыкновенной волны. Развитая автором теория позволила получить аналитические выражения для фактора Парселла и показать, что его максимальное значение достигается при переходе между эллиптическим и гиперболическим режимами.

В этой главе получен также ряд важных результатов, касающихся особенностей электро- и магнито-дипольного излучения в метаматериалах сформированных массивами металлических проводов.

В четвертой главе приведено обстоятельное рассмотрение ферстеровского механизма безызлучательного переноса энергии возбуждения

применительно к наноструктурам и исследовано влияние локального окружения на эффективность этого процесса. Здесь диссертант последовательно рассматривает процессы диполь-дипольного переноса энергии в донорно-акцепторном ансамбле над поверхностью металлического зеркала, начиная с переноса от одиночного донора к одиночному акцептору, затем переходя к переносу между массивами доноров и акцепторов, и завершая процессами формирования коллективных экситон-поляритонных донорных мод. На основании проведенного анализа воздействия металлической поверхности на скорость ферстеровского переноса возбуждения сделано интересное предсказание о возможности как усиления, так и ослабления эффективности переноса между локализованными экситонами за счет коллективных эффектов. Существенно, что предсказанное подавление скорости переноса подтверждено экспериментальными данными.

Одной из целей работы, описанной в пятой главе под названием "Краевые состояния в зигзагах резонансных наночастиц" был поиск и изучение топологических мод, реализуемых в оптических наноструктурированных системах. В качестве такой системы автором была выбрана цепочка резонансных нанодисков, упорядоченных в форме зигзага. В главе представлено детальное описание таких систем в рамках модели взаимодействия ближайших соседей и - самое главное - предсказано и экспериментально подтверждено наличие краевых электромагнитных состояний в рассмотренной цепочке нанодисков.

Все полученные автором данные и сделанные выводы являются результатом тщательного теоретического анализа и численных расчетов, основанных на использовании современных методов теоретической физики. Кроме того, в большинстве случаев результаты теоретического рассмотрения подтверждаются экспериментальными данными. В силу этих причин, **надежность и достоверность полученных результатов** и сделанных автором заключений не вызывает сомнений.

Как уже отмечалось, тема диссертации или, точнее, все задачи, решаемые в диссертации, включая их формулировку, это – передний фронт науки, наиболее актуальные, интересные, а иногда и экзотические вопросы фотоники, которые еще не вошли в учебники, но уже являются признанными научным

сообществом заслугами автора. **Новизну и научную значимость работы** демонстрируют такие фундаментально значимые результаты как выявление роли экситон-поляритонных резонансов в спектрах бриллюэновского рассеяния полупроводниковой сверхрешетки, эффект формирования коллективной сверхизлучательной моды экситонных поляритонов в неперодической брегговской структуре, преобразование стоп-зон в зоны пропускания при усилении беспорядка в фотонных кристаллах, теория спонтанного излучения источника в гиперболической среде и ряд других.

В работе можно найти и некоторые недостатки, среди которых отмечу следующие.

- Описание эксперимента первой главы (стр. 37 – 38) представляется чрезмерно кратким. В частности, не указано, что для каждой длины волны оптического возбуждения измерялся оптический спектр в области рассеяния на акустических фотонах, который затем подвергался обработке.
- Вызывает сожаление тот факт, что в главе 3 отсутствует сопоставление расчетных зависимостей фактора Парселла с экспериментальными данными.
- Из текста последней главы неясными остались причины расхождения между экспериментально наблюдаемой картой ближнего поля (рис. 5.9) и расчетной (вставка в рис. 5.10с)

Отмеченные мелкие недостатки ни в какой степени не влияют на общую оценку работы. В целом, диссертационная работа А.Н.Поддубного выполнена на высочайшем профессиональном уровне, отличается великолепным языком, ясностью и логичностью изложения и вносит значительный вклад в науку. Все результаты работы опубликованы в высокорейтинговых научных журналах. Основное содержание диссертации и положения, выносимые на защиту адекватно отражены в автореферате.

Таким образом, считаю, что диссертационная работа А. Н. Поддубного «Распространение, локализация и излучение света в наноструктурах и метаматериалах» полностью отвечает критериям пунктов 9-14 "Положения о

присуждении ученых степеней" для ученой степени доктора наук, утвержденного постановлением Правительства от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 "Теоретическая физика".

Официальный оппонент

Запасский Валерий Сергеевич

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник лаб. Оптики спина,

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный университет»,

198504, Петродворец, Ульяновская ул., 1

8921 579 5751 [vzap@rambler.ru](mailto:vzap@rambler.ru)

/ЗАПАССКИЙ В.С./