

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мерзликина А.М.

«Мезоскопические эффекты когерентного распространения и локализации поляризованных электромагнитных волн в фотонных кристаллах и неупорядоченных слоистых средах»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 –
электрофизика, электрофизические установки.

Диссертация А.М. Мерзликина посвящена разработке теоретических подходов к описанию влияния поляризации электромагнитных волн на мезоскопические эффекты, возникающие при распространении излучения в упорядоченных и неупорядоченных слоистых средах. Обнаружены новые поляризационные явления в электродинамических аналогах эффектов, рассмотренных ранее в квантовой теории твёрдого тела в рамках скалярной теории. Исследовано формирование запрещённых зон для векторных волн и связанные с этим эффекты: оптические таммовские состояния, эффекты супрепризмы и анедерсоновской локализации. В качестве компонентов рассматриваемых сред рассмотрены электрооптические и магнитооптические материалы. Как показано в диссертации, в таких средах наиболее ярко проявляются поляризационные особенности наблюдаемых эффектов и имеется возможность управлять ими с помощью внешних полей. Развитый в диссертации А.М. Мерзликина теоретический аппарат позволяет решать широкий круг задач электродинамики неоднородных сред, связанных с распространением и локализацией излучения.

Современное развитие теории распространения электромагнитных волн в неоднородных средах в значительной степени стимулировано аналогией между волновыми явлениями в квантовой теории твёрдого тела и в

электродинамике. В последнее время в электродинамике активно используются такие объекты и понятия, как фотонные кристаллы, андерсоновская локализация, которые заимствованы из теории твердого тела. Однако, между квантовой теорией твердого тела и электродинамикой есть важное различие: волновое поле в электродинамике, включающее электрическое и магнитное поля, является векторной величиной. В диссертации А.М. Мерзликина исследуются проявления векторной природы электромагнитных волн при их взаимодействии с неоднородными периодическими и неупорядоченными системами. Актуальность диссертации обусловлена активным изучением в последнее время таких систем в связи с разработкой оптических устройств нового поколения.

Диссертация А.М. Мерзликина состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы, включающего в себя 220 наименований. По объему и структуре диссертация А.М. Мерзликина соответствует требованиям Положения ВАК к оформлению диссертаций. Изложение подчинено решению основных задач.

Во введении сформулирована цель диссертационной работы, обоснована актуальность исследования и приведены положения, выносимые на защиту. Также перечислены полученные результаты, дано краткое обоснование их достоверности, описание возможностей использования, практической значимости и научной новизны.

Первая глава диссертационной работы посвящена исследованию особенностей распространения электромагнитных волн в фотонных кристаллах, содержащих магнитооптические и анизотропные компоненты. Показано, что происходит гибридизация решений с разной поляризацией, в результате чего формируется блоховская волна, не имеющая квантово-механического аналога. Используя предложенный подход, а также с помощью численного моделирования, автор впервые показал, что в двумерных магнитных фотонных кристаллах линейный по намагниченности эффект

Фарадея может наблюдаться только вблизи направлений, вдоль которых волновые векторы кросс-поляризованных волн одинаковы.

Во второй главе диссертации детально исследовано формирование запрещенных зон в фотонных кристаллах. Одним из наиболее значимых результатов, полученных автором, является обнаружение поляризационно-вырожденных запрещенных зон, образующихся в результате брегговского взаимодействия волн разной поляризации. Кроме того, показано, что формирование так называемой замороженной моды в фотонных кристаллах, содержащих магнитооптические и анизотропные компоненты, обусловлено возникновением поляризационно-вырожденной зоны. Показано, что условие возникновения замороженной моды непосредственно связано с выполнением условия брегговского отражения для мод одинаковой поляризации на границе поляризационно-вырожденной зоны.

Третья глава посвящена исследованию эффекта суперпризмы в фотонных кристаллах. Впервые показано, что эффект суперпризмы можно наблюдать не только в двумерных, но также и в одномерных фотонных кристаллах, на поверхность которых нанесена дифракционная решетка. Также обнаружено, что если один из компонентов фотонного кристалла является магнитооптическим, то при намагничивании происходит изменение положения запрещенных зон. В результате эффектом суперпризмы можно управлять при помощи внешнего магнитного поля.

В четвёртой главе диссертации рассмотрено формирование поверхностных состояний на границе двух фотонных кристаллов или фотонного кристалла и слоя металла. Теоретически предсказано существование в таких системах состояния, являющегося электродинамическим аналогом квантово-механического таммовского состояния. Это состояние может существовать как на оптических частотах, так и в СВЧ области. Наличие в системе магнитооптических компонентов позволяет с помощью внешнего магнитного поля на оптических частотах управлять поляризацией, а в СВЧ области – частотой таммовского состояния. Теоретические расчёты А.М. Мерзликина были подтверждены двумя

независимыми экспериментальными группами. Также в четвёртой главе рассмотрено формирование таммовского состояния в системе, где в одном из фотонных кристаллов имеется вырожденная запрещённая зона. С помощью численного моделирования показана возможность управления величиной напряжённости поля Таммовского состояния.

В пятой главе исследована андерсоновская локализация поляризованных электромагнитных волн. В частности, рассмотрено прохождение поляризованной волны через систему со случайной анизотропией. А.М. Мерзликиным впервые показано, что по мере распространения волны функция распределения направлений поляризации асимптотически стремится к функции, которая не зависит от начальной поляризации. Переход к асимптотическому распределению происходит на масштабах порядка длины стохастизации поляризации. С помощью численного моделирования показано, что длина стохастизации не совпадает с длиной локализации и в системе со случайной анизотропией возникает дополнительный масштаб. Показано также, что для случайных анизотропных фотонных кристаллов в значении длины локализации имеется локальный минимум, который находится в разрешенной зоне исходного упорядоченного кристалла.

Шестая глава диссертации посвящена макроскопическому описанию неоднородной среды при помощи эффективных параметров. Показано, что проблема введения эффективных параметров связана с невозможностью описать границу среды в терминах эффективного импеданса. Основное внимание в диссертации уделено свойствам эффективного показателя преломления, который самоусредняется при увеличении размера системы. Показано, что производная эффективного волнового вектора по частоте удовлетворяет соотношениям типа Крамерса-Кронига. В случае сред с беспорядком из них следует известный в квантовой теории твёрдого тела результат, связывающий плотность состояний с длиной локализации.

При изучении диссертации у меня возникли следующие замечания и вопросы:

1. В диссертации встречается неаккуратность в утверждениях, кроме того отсутствует нумерация разделов внутри глав, что затрудняет восприятие материала.
2. Главы 1 и 2 посвящены исследованию непоглощающих фотонных кристаллов с анизотропными и магнитооптическими компонентами. Как изменится зонная структура кристаллов при наличии поглощения?
3. В Главе 3 рассмотрены оптические таммовские состояния в анизотропных и гиротропных кристаллах, не имеющие квантово-механического аналога. В частности, сделано утверждение, что в комбинированном фотонном кристалле имеется таммовское состояние, которое не расщепляется при включении магнитного поля, а, как написано в диссертации "просто возникает" (см. стр. 109). Хотелось бы понять физический механизм возникновения такого состояния и его характеристики, в частности, поляризационные параметры такого нетривиального таммовского состояния. Ответ на этот вопрос трудно получить из текста диссертации (см. стр. 109 и далее).
4. В Главе 5 (см. стр. 170, рис. 63) показано различие между коэффициентами прохождения кросс-поляризованных волн через случайную магнито-диэлектрическую слоистую систему (с нулевым углом Брюстера) при наклонном падении излучения. Далее (см. стр. 171) делается утверждение об эквивалентности задач "на прохождение" для s- и p-поляризованных волн, и, как следствие, равенстве соответствующих коэффициентов прохождения. Не противоречат ли эти утверждения друг другу?
5. В главе 5 при исследовании распространения электромагнитных волн в одномерной системе анизотропных слоёв со случайной ориентацией оптических осей вводится длина стохастизации поляризации (т.е. длина, на которой излучение «забывает» свою исходную поляризацию). В то же время известно, что в теории многократного рассеяния электромагнитного излучения в трёхмерных случайных средах одной из важнейших характеристик является длина деполяризации, т.е. длина, на которой затухает

степень поляризации. Возникает вопрос, можно ли в рассматриваемой соискателем задаче ввести степень поляризации, и если можно, то будут ли совпадать между собой длины стохастизации и деполяризации?

6. В Главе 5 (см. стр. 187) утверждается, что за локализацию в случайной слоистой системе отвечают брэгговские отражатели, которые существуют в системе с отличной от нуля вероятностью. Означает ли это, что в одномерной непрерывной случайной среде режим локализации реализуется не всегда или по другому сценарию?

7. В Главе 6 (раздел "Отклонение в композитных материалах ...") возможность введения эффективных значений показателя преломления и адмиттанса рассмотрена на примере падения волны на образец, слои которого параллельны направлению распространения света. Возникает вопрос: насколько возможность введения эффективных значений опирается на рассматриваемую модель? Что изменится в случае, если рассмотреть другую геометрию, например, расположить слои перпендикулярно направлению распространения волны?

Сформулированные выше замечания не снижают общей высокой оценки представленной работы. Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных теоретических методов, совпадением в случае соответствующих предельных переходов с ранее существовавшими теориями, сравнением с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов.

Диссертационная работа А.М. Мерзликина представляет собой законченное фундаментальное исследование, в котором развита теория когерентного распространения поляризованных волн в фотонных кристаллах и случайных слоистых средах и продемонстрированы её приложения к практическим задачам. Все результаты, выносимые на защиту, являются новыми. Они опубликованы в виде более чем 30 печатных работ в журналах из перечня ВАК РФ, включая такие авторитетные издания, как Physical Review, Physical

Review Letters, Physica B, ЖЭТФ, УФН и др. Тематика диссертационной работы соответствует специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки», а представленный текст диссертационной работы – пункту 9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24 сентября 2013 года. Диссертация написана доходчиво и аккуратно оформлена. Автореферат полно отражает содержание диссертации.

Считаю, что за разработку теории когерентного распространения поляризованных волн в анизотропных и гиротропных фотонных кристаллах и случайных слоистых средах и её применение в задачах транспорта электромагнитного излучения через эти среды А.М. Мерзликин заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент

доктор физ.-мат. наук

23 мая 2016г.

Е.Е. Городничев

Городничев Евгений Евгеньевич,

профессор кафедры теоретической ядерной физики,

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,

Москва, 115409, Каширское шоссе 31

тел. +74957885699(8781)

email: gorodn@theor.mephi.ru

