

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.

Диссертационная работа А.М. Мерзликина посвящена исследованию поляризационных особенностей распространения и локализации электромагнитных волн в пространственно-неоднородных средах. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, изложена на 284 страницах. К работе приложен автореферат на 39 страницах.

Актуальность исследования обусловлена бурным развитием электродинамики неоднородных сред, связанным в первую очередь с переносом волновых явлений из квантовой теории твердого тела. В результате, в электродинамику прочно вошли такие понятия как когерентное обратное рассеяние, андерсоновская локализация света, фотонные кристаллы, таммовское оптическое состояние и др. При этом, в отличие от волновой функции, описывающей состояние квантовых систем, электромагнитные поля являются векторными величинами. В ряде задач это отличие не играет роли, например, когда собственные решения удастся разделить по поляризации и в результате оказывается возможным свести векторную задачу к двум скалярным. Однако при рассеянии на двумерных и трехмерных объектах, или слоях из анизотропных и/или гиротропных материалов, необходимо учитывать векторную природу электромагнитных волн, что приводит к ряду принципиально новых решений и эффектов. С практической точки зрения для управления распространением электромагнитного излучения особый интерес представляет использование магнитооптических и электрооптических компонентов, которые как раз и проявляют гиротропные и анизотропные свойства. Рассмотрение таких структур проведено в рамках данной работы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. По объему и структуре диссертация Мерзликина А.М. соответствует требованиям «Положения ВАК» к оформлению диссертаций. Изложение подчинено решению основных задач.

В первой главе представлены результаты исследования дисперсионных особенностей и симметрии собственных мод фотонных кристаллов с магнитооптическими включениями. Для двумерных фотонных кристаллов показано существование направлений нулевой эффективной анизотропии, вдоль которых пространственная дисперсия компенсирует анизотропию фотонного кристалла. Вдоль таких направлений может наблюдаться линейный по намагниченности эффект Фарадея. Собственные решения в намагниченном анизотропном фотонном кристалле обладают различной (как по эллиптичности, так и по направлению вращения) поляризацией в разных точках пространства.

Вторая глава посвящена формированию поляризационно-вырожденной запрещенной зоны в анизотропных магнито-фотонных кристаллах. В фотонном кристалле, обладающем анизотропией и содержащем магнитооптические компоненты, формируются особый тип фотонных запрещенных зон — поляризационно-вырожденные запрещенные зоны. Такие зоны возникают одновременно для обоих собственных решений (обеих поляризаций) и формируются внутри бриллюэновской зоны, на их границах не наблюдается эффект Боррманна. Поляризационно-вырожденная зона связана с формированием «замороженной моды» на так называемой вырожденной границе, являющейся одновременно границей бриллюэновской и вырожденной запрещенных зон. Предложен управляемый внешним электрическим полем оптический фильтр на основе планарного гофрированного волновода из электрооптического материала.

Третья глава посвящена исследованию оптического таммовского состояния, являющегося оптическим аналогом электронного состояния на границе кристалла. Под оптическим таммовским состоянием понимается состояние, формирующееся на границе фотонного кристалла и слоя с отрицательной диэлектрической проницаемостью (например, слоя золота на оптических частотах). В оптической области показано усиление фарадеевского вращения в магнито-фотонном кристалле на частоте таммовского состояния. Для СВЧ диапазона показана возможность управления частотой этого состояния при помощи внешнего магнитного поля.

Четвертая глава посвящена эффекту суперпризмы (проявляющемуся в значительном изменении угла преломления при малом изменении угла падения) в фотонных кристаллах. Показано, что данный эффект можно реализовать на слоистой системе с нанесенной на ее поверхность дифракционной решеткой. Показано, что в двумерном магнито-фотонном кристалле возможна реализация эффекта т.н. магнитной суперпризмы, состоящего в существенном отклонении направления распространения света при изменении намагниченности образца.

Пятая глава посвящена исследованию андерсоновской локализации света. Показано, что по мере распространения вглубь системы случайно-анизотропных (со случайной ориентацией осей анизотропии) слоев, волна «забывает» о своей изначальной поляризации. Это явление характеризуется масштабом длины, являющимся характеристикой случайной системы и не зависящим от другого характерного масштаба – длины локализации. В работе показано, что стохастизация поляризации имеет место при наличии сколь угодно малого разброса ориентаций осей анизотропии.

Шестая глава посвящена вопросам макроскопического описания неоднородных сред, в частности, так называемой задачи гомогенизации уравнений Максвелла. Показано, что в слоистых системах (как в случайных, так и в упорядоченных) эффективный показатель преломления самоусредняется при любых соотношениях длины волны и размера неоднородности. При этом для случайных непоглощающих сред мнимая часть эффективного показателя преломления соответствует индексу Ляпунова. Выведено соотношение, аналогичное соотношению Крамерса-Кронинга, связывающее действительную и мнимую часть эффективного волнового вектора в неоднородной среде.

Научная новизна и достоверность результатов.

1. Впервые исследованы свойства собственных мод и особенности формирования запрещенных зон в магнитофотонных кристаллах, содержащих анизотропные компоненты. Показано существование особого типа запрещенных зон – поляризационно-вырожденных, проведен последовательный анализ их свойств.
2. Предсказано существование оптического аналога таммовского состояния на границе фотонного кристалла и слоя с отрицательной диэлектрической проницаемостью. Для магнито-фотонного кристалла предсказано усиление эффекта Фарадея на частоте оптического таммовского состояния. Впервые исследовано формирование аналогичного состояния для СВЧ диапазона.
3. Впервые исследована возможность управления частотой, интенсивностью и поляризацией таммовского состояния, а также эффектом суперпризмы в магнито-фотонных кристаллах при помощи внешнего магнитного поля.
4. Впервые исследовано распространение волны в случайно-анизотропной системе. Показано, что волна, по мере распространения забывает свою изначальную поляризацию.
5. Показано, что андерсоновская локализация в одномерных средах может быть описана в рамках теории гомогенизации. Впервые исследованы аналитические свойства эффективного показателя преломления.


Достоверность представленных в работе результатов подтверждается сравнением аналитических выводов с результатами численных расчетов и экспериментальными данными. Основные положения диссертационной работы неоднократно обсуждались на семинарах различных научных организаций, а также докладывались более чем на 40 международных конференциях; представлены в 72 работах, из которых 34 – статьи в высокорейтинговых научных журналах.

Несмотря на общий высокий уровень, можно отметить некоторые недостатки диссертационной работы А.М. Мерзликина:

1. В главах 1, 2 и 4 представлены только результаты, полученные аналитическими или полуаналитическими методами. В то же время, практически не были применены численные методы, которые могли бы дать дополнительную информацию о рассматриваемых структурах - фотонных кристаллах и неупорядоченных слоистых средах. Сравнение результатов, полученных различными методами, как представляется, усилило бы достоверность полученных результатов.
2. В главе 2, описано формирования вырожденной по поляризации запрещенной зоны и эффектов, связанных с этой зоной в различных типах фотонных кристаллов, в том числе – в структурах на основе ферритов гранатов, однако не обоснован выбор именно таких фотоннокристаллических структур. Также в работе не проведен анализ оптимальных магнитных свойств материалов, образующих фотонный кристалл, для достижения оптимальных эффектов локализации оптического поля.
3. В главе 4 рассматривается эффект суперпризмы в магнитофотонных кристаллах и показана возможность управления этим при помощи внешнего магнитного поля. С практической точки зрения существенно больший интерес представляет возможность управлять эффектом суперпризмы при помощи электрического поля. Вероятно, этого можно было бы добиться, рассматривая фотонный кристалл, одна из компонент которого является электрооптическим материалом. Однако этот вопрос не был рассмотрен в диссертации.
4. В целом в тексте диссертации хотелось бы более подробного сравнения полученных результатов теоретического описания с наблюдаемыми в эксперименте, рассмотрения требований к экспериментальным структурам, в которых обсуждаемые эффекты будут наиболее выраженными.

Заключение. Отмеченные недостатки являются формальными и не умаляют достоинств диссертации. Работа соответствует п. 9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» № 842, а ее автор, Мерзликин Александр Михайлович, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 - «Электрофизика, электрофизические установки».

Доцент физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.ф.-м.н.

 — Т.В. Мурзина

Сведения об оппоненте:

Почтовый адрес:

119991, Москва Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, дом 1, строение 2,
Физический Факультет

Телефон (рабочий): +7 495 939 36 69

Электронная почта: murzina@mail.ru

Декан
физического факультета МГУ,
профессор





Н.Н. Сысоев