

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 представлена на 284 страницах, содержит 98 рисунков и состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, включающего 220 наименований. К работе приложен автореферат на 39 страницах.

Диссертация А.М. Мерзликина посвящена учету влияния поляризации на мезоскопические эффекты, возникающие при распространении и локализации электромагнитных волн.

Актуальность исследования. Схожесть волновых явлений в разных областях физики послужила основой для развития результатов теории твёрдого тела (в частности, мезоскопических эффектов) в акустику и электродинамику. Благодаря этому переносу в электродинамике возникли теории фотонных кристаллов и квазикристаллов, слабой и андерсоновской локализации света.

Тем не менее, несмотря на схожесть волновых уравнений, между электродинамикой и теорией твердого тела есть принципиальное отличие - электрическое и магнитное поля являются векторными величинами и обладают поляризацией, тогда как волновая функция электрона является скалярной величиной. Кроме этого, электрон в свободном пространстве, в отличие от фотона, обладает ненулевой массой покоя, что особенно существенно для описания явлений, связанных с локализацией.

В представленной работе детально исследованы поляризационные эффекты, возникающие при распространении и локализации когерентных волн в неоднородных средах - как периодических, так и неупорядоченных.

Обнаружен ряд новых эффектов, а также разработаны оригинальные теоретические концепции и модели, вносящие существенный вклад в развитие указанной области исследований.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По объему и структуре диссертация Мерзликина А.М. соответствует требованиям «Положения ВАК» к оформлению диссертаций. Изложение логически связано с основными задачами, решенными в диссертации.

В первой главе проведен подробный анализ собственных мод анизотропных фотонных кристаллов, содержащих магнитооптические компоненты. Показано, что при намагничивании таких кристаллов, собственное состояние – блоховская волна формируется за счет гибридизации двух блоховских волн, являющихся в свою очередь собственными решениями ненамагниченного фотонного кристалла. При этом поляризация гибридизованной блоховской волны в разных точках пространства разная, что принципиально отличает рассматриваемый случай от обыкновенного фотонного кристалла из изотропных компонент. Поэтому оказывается невозможным выбрать базис, в котором система уравнений, описывающих гибридизованные решения, разделялась бы на две независимые поляризации. Таким образом, в отличие от любого однородного материала или фотонного кристалла из изотропных компонент, задача распространения излучения в такой среде принципиально не может быть сведена к двум скалярным, описывающим две независимые поляризации.

Вторая глава посвящена формированию запрещенной зоны, возникающей за счет связи блоховских волн различной поляризации. Такая зона может формироваться в магнито-фотонном кристалле, обладающим анизотропией. В таком кристалле, в отсутствие намагниченности, есть две собственные блоховские волны – обыкновенная и необыкновенная. При намагничивании между ними возникает связь, в результате чего и формируется запрещенная зона. Подробно изучены свойства таких зон.

В третьей главе проведено исследование оптического аналога таммовского состояния. Как и парадигма фотонных кристаллов, таммовское состояние пришло в электродинамику из квантовой теории твёрдого тела. Показано, что такое состояние может формироваться на границе фотонного кристалла и слоя металла, обладающего в оптических частотах отрицательной проницаемостью, что является оптическим аналогом потенциального барьера.

Наличие магнитооптических компонентов позволяет наблюдать увеличение фарадеевского вращения на частоте соответствующей таммовскому состоянию.

Четвертая глава посвящена исследованию эффекта суперпризмы, заключающегося в существенном отклонении направления распространения электромагнитной волны в среде при малом отклонении угла падения на границе вакуум/среда. Предложена оригинальная схема – дифракционная решетка на поверхности слоистого фотонного кристалла, позволяющая наблюдать эффект суперпризмы в одномерных фотонных кристаллах. Более того, проведенное сравнение с двумерными фотонными кристаллами, показало, что для создания эффекта суперпризмы одномерные фотонные кристаллы обладают фундаментальным преимуществом – более четко выраженной границей между разрешенной и запрещенной зонами.

В пятой главе подробно исследовано влияние векторной природы электромагнитных волн на андерсоновскую локализацию света. В частности, рассмотрено прохождение поляризованной электромагнитной волны через случайно-анизотропную среду. Показано, что в такой системе происходит стохастизация поляризации, то есть по мере прохождения функция распределения поляризации перестает зависеть от изначальной поляризации падающего излучения. Этот эффект характеризуется новым, не зависящим от длины локализации, масштабом – длиной «забывания» поляризации.

Шестая глава посвящена макроскопическому описанию неоднородных сред. Глава содержит достаточно обширный обзор литературы касающейся гомогенизации уравнений Максвелла, и исследования, посвященные гомогенизации уравнений Максвелла вне статического приближения.

Научная новизна и достоверность результатов.

Впервые подробно исследован процесс гибридизация двух (ТЕ и ТМ поляризованных) блоховских волн с образованием новой блоховской волны при намагничивании магнито-фотонного кристалла. Показано, что за счет этой гибридизации возможно формирование особой запрещенной зоны, не имеющей аналога в квантовой теории твердого тела. Исследован электродинамический аналог таммовского состояния, возникающего на границе металла и диэлектрического зеркала. Впервые исследовано распространение электромагнитной волны в неупорядоченных случайно-анизотропных средах. Показано, что по мере распространения, за счет

многократных переотражений, поляризованная волна может терять информацию о своей начальной поляризации. При этом скорость «потери информации» характеризуется новым масштабом, не связанным с длиной локализации.

Достоверность обеспечивается использованием комплекса многократно апробированных теоретических методов, проведением предельных переходов к ранее существовавшим теориям, сравнением с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов. Основные положения диссертационной работы, неоднократно обсуждались на семинарах различных научных организаций, а также докладывались на 48 международных конференциях.

Недостатки диссертации:

1. В главе 1 показана возможность компенсации анизотропии двумерного фотонного кристалла с помощью пространственной дисперсии. При этом предполагалось, что поглощение пренебрежимо мало. Возникает вопрос, не осязаемый в диссертации, возможно ли добиться аналогичной компенсации и для значительного поглощения?
2. В главе 3 экспериментально продемонстрировано существенное увеличение угла фарадеевского вращения в случае оптического таммовского состояния (рис. 34d, стр. 102, и рис. 35d, стр. 103), при этом на рисунках не указаны единицы измерения (подразумевается, что угол измеряется в радианах). Существенные значения угла фарадеевского вращения для случая собственных оптических состояний могут сопровождаться изменением степени поляризации (переходом от линейной поляризации к эллиптической), что также является интересным эффектом, однако этот вопрос в диссертации исследован неполно.
3. В главе 5 показано, что функция распределения главной оси эллипса поляризации перестает зависеть от толщины системы. Однако эллипс поляризации определяется не только поворотом угла главной оси, но и эллиптичностью. В диссертации не приведено исследование того, как зависит функция распределения эллиптичности от толщины системы, а также коррелятора эллиптичности и угла поворота эллипса.

4. В главе 5 показано, что эффект «забывания» поляризации можно характеризовать новым, не зависящим от длины локализации масштабом. Наличие второго масштаба ставит под сомнение применимость скейлинговой гипотезы (активно используемой в скалярной теории локализации) для описания локализации векторных полей. В диссертации не уделено этому вопросу достаточно места.

Оценка диссертации в целом. Отдельные вышеуказанные недостатки не снижают ценности полученных научных результатов. Проведенные Мерзликиным А.М. исследования и полученные результаты обладают обширным фундаментальным и прикладным значением и полностью опубликованы в ведущих российских и международных научных изданиях. Список публикаций содержит более чем 30 печатных работ в журналах из перечня ВАК РФ, включая такие авторитетные издания, как ЖЭТФ, УФН, Physical Review Letters, Physical Review B, Applied Physics Letters, JOSA, Optics Express и др. Диссертация написана доходчиво и аккуратно оформлена.

Заключение.

Работа соответствует п. 9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» № 842, а ее автор Мерзликин Александр Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 - «Электрофизика, электрофизические установки».

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник СПбАУ РАН



М.А. Калитеевский

Подпись М.А. Калитеевского удостоверяю
Первый проректор СПбАУ РАН

23. 05. 2016



М.В. Дубина

Почтовый адрес: 194021 Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д.8, корпус 3, лит. А, СПбАУ РАН.

Телефон (рабочий): +7 812 4486982

Электронная почта: m.kaliteevski@mail.ru