

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук Смолиной Екатерины Олеговны

на тему: «Структура и динамика локализованных состояний в линейных и
нелинейных топологических фотонных решетках» по специальности

1.3.4. Радиофизика

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Смолиной Е.О. посвящена теоретическому и численному изучению локализованных волновых состояний в топологических фотонных структурах. В настоящее время топологическая фотоника находится на переднем крае исследований по физике, что объясняется недавним появлением экспериментальных платформ для наблюдения топологических волновых состояний, а также потребностью в разработке фотонных интегральных устройств, основанных на новых физических принципах. Решение таких амбициозных задач как миниатюризация ключевых компонент телекоммуникационных линий связи, систем оптических измерений и дата-центров искусственного интеллекта, а также разработка фотонных вычислительных устройств, сталкиваются с вызовами, в ответ на которые приходят на помощь фундаментальные исследования. К числу таких исследований относится диссертационная работа Смолиной Е.О., в которой изложены новые подходы по генерации и управлению локализованными состояниями света, в частности с опорой на нелинейные эффекты распространения импульсов в фотонных решетках. В работе Смолиной Е.О. предложены современные оригинальные методы машинного обучения для определения ключевых свойств фотонных решеток, а также определены некоторые свойства фотонно-фононных состояний, локализованных на топологических дефектах в гибридных метаповерхностях, которые уже получили экспериментальное подтверждение. Проведен подробный теоретический анализ модуляционной неустойчивости в различных фотонных средах с нетривиальной топологией. Таким образом, тема диссертационной работы Смолиной Е.О. *является актуальной и представляет научный и практический интерес*, а применяемые в исследованиях теоретические и численные методы соответствуют современному мировому уровню в данной области.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 180 страниц с 70 рисунками. Дополнительная информация

изложена в 4 приложениях (содержат 6 рисунков). Список публикаций автора по теме диссертации включает 20 наименований. Список литературы содержит 172 наименования. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы основные цели работы и изложены основные положения, выносимые на защиту. В последующих главах приводится обзор состояния исследований в данной научной области, описываются теоретические подходы и численные методы, используемые в работе, приводятся результаты исследований. В заключении изложены наиболее важные результаты диссертационной работы.

Научная значимость работы

Все полученные в диссертации результаты являются новыми. Среди полученных результатов хотелось бы отметить следующие наиболее важные:

1. Построена теория распространения краевых квазисолитонных импульсов, локализованных вдоль доменной стенки топологической фотонной решетки. Предсказано явление укрупнения волнового фронта в рамках нелинейной Дираковской модели решетки волноводов и выведенного авторами приближенного эволюционного уравнения (2.40). Результаты верифицированы численным моделированием параксиального уравнения с реалистичными параметрами решетки волноводов, что подтверждает возможность экспериментального наблюдения предсказанной нелинейной динамики. В дополнение, с помощью разреженной регрессии, примененной к результатам моделирования параксиального уравнения показано, что модель (2.40) действительно является наилучшим приближением исходной системы уравнений.
2. Предложены методы машинного обучения, которые позволяют определять топологические свойства фотонных решеток основываясь на неполном наборе данных, что открывает новые возможности для экспериментального изучения топологически нетривиальных фотонных систем. Так, например, можно узнать о наличии краевых состояний по анализу поведения амплитуды поля в объеме топологически нетривиальной среды.
3. На основании трехуровневой дираковской модели разработана теория углового состояния на Y-образном дефекте кремниевой метаповерхности с Кекуле-структурой, покрытой тонким слоем гексагонального нитрида бора. Важно отметить, что полученные результаты уже нашли свое применение для описания данных эксперимента.

Практическая значимость работы

Полученные результаты открывают возможность для создания фотонных устройств, таких как сенсоры и источники излучения, с улучшенными за счет использования топологических эффектов ключевыми характеристиками. Разработанные программы могут быть использованы в лабораторных исследованиях и на производстве для определения нелинейных и топологических характеристик фотонных устройств.

Личный вклад

Нет сомнений, что результаты, изложенные в диссертации, получены Смолиной Е.О. лично либо при ее непосредственном участии под руководством научного руководителя, что подтверждается солидным списком публикаций с участием Смолиной Е.О., среди которых 7 статей в рецензируемых журналах (журналы рекомендованы ВАК для публикации результатов диссертационных работ), из них в четырех статьях Смолина Е.О. является первым автором. Кроме того, Смолина Е.О. лично представила результаты работы на более чем десяти конференциях и научных школах, что также подчеркивает ее ключевой вклад в представленную работу.

Замечания по диссертационной работе:

1. Полученное в работе Смолиной Е.О. приближенное эволюционное уравнение (2.40) имеет вид нелинейного уравнения Шредингера с добавочной деривативной нелинейностью пятого порядка. При этом в работе недостает сравнения этой модели с похожими моделями из других областей нелинейной физики, например с деривативным нелинейным уравнением Шредингера или моделями гидродинамики поверхностных волн. Подобное сравнение могло бы выявить интересные сходства и отличия в динамике градиентной катастрофы импульсов в решетках волноводов и формирования квазисолитонов в нелинейных средах иной природы. Аналогичное замечание касается анализа линейной стадии модуляционной неустойчивости, проведенного в работе Смолиной Е.О. для различных модификаций модели решеточных волноводов. Известны ли другие физические системы, в которых области устойчивости и неустойчивости ведут себя как на Рис. 15 (b)?
2. В разделе 2.6.4 представлены результаты моделирования нелинейной стадии модуляционной неустойчивости в рамках параксиального уравнения, однако анализ поведения волнового поля на больших дистанциях распространения проведен недостаточно подробно. В частности, остается неясным, приводит ли

модуляционная неустойчивость к развитию градиентной катастрофы с последующей ее регуляризацией? Можно ли пронаблюдать формирование описанных в работе краевых локализованных состояний в результате развития модуляционной неустойчивости, как это происходит с солитонами нелинейного уравнения Шредингера?

3. В подписи к рисунку (68) есть опечатка – неверно указана ссылка на уравнение Дирака.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений

В работе используются общепринятые теоретические подходы. Отдельные результаты, полученные различными аналитическими и численными методами, демонстрируют хорошее согласие. Основные выводы находятся в соответствии с известными теориями и публикациями других авторов. *Важно отметить, что используемые в работе методы машинного обучения физически обоснованы.* Так метод линейной регрессии, используемый для вывода модели распространения краевых импульсов, согласуется с анализом параксиального приближения, а метод определения топологических инвариантов фотонных систем обоснован анализом модуляционной неустойчивости блоховских мод гамильтониана. Еще одним примером, указывающим на самосогласованность полученных результатов, служит проведенное Смолиной Е.О. сравнение расчётов поля моды топологического дефекта в рамках уравнения Дирака и полномасштабного трехмерного уравнения Максвелла. *Таким образом, обоснованность научных положений диссертационной работы не вызывает сомнений.*

Заключение

Диссертация Смолиной Е.О. «Структура и динамика локализованных состояний в линейных и нелинейных топологических фотонных решетках» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на современном теоретическом уровне и имеющее практическое значение. Постановка задач актуальна, выводы, сделанные в ходе выполнения работ убедительны. По теме диссертации автором опубликованы 7 статей в рецензируемых журналах высокого уровня (7 из которых входят в перечень изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных материалов диссертации), а также 13 тезисов докладов в сборниках трудов всероссийских и международных

конференций. Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления о проделанной работе. **Автореферат** соответствует тексту диссертации, правильно и полно передаёт её содержание.

Диссертация Смолиной Е.О. «Структура и динамика локализованных состояний в линейных и нелинейных топологических фотонных решетках» отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.4. Радиофизика.

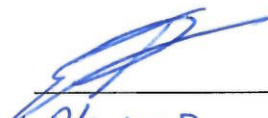
Таким образом, соискатель Смолина Екатерина Олеговна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Согласен на обработку диссертационным советом моих персональных данных, связанных с защитой данной диссертации.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, профессор и руководитель проекта Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»

Гелаш Андрей Александрович


«24» ноября 2025г.

Контактные данные:

Тел.: +7-913-378-54-91 E-mail: A.Gelash@skoltech.ru

Степень и шифр специальности, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация: кандидат физико-математических наук, 01.04.02 – теоретическая физика.

Адрес места работы: Россия, 121205, г. Москва, территория инновационного центра «Сколково», Большой бульвар, д. 30 стр.1.

Подпись официального оппонента Гелаша А.А. удостоверяю:

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
Гук О.С.

