

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПФ РАН,
академик РАН Г.Г. Денисов



«10» июля 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Смолиной Екатерины Олеговны «Локализованные состояния в нелинейной топологической фотонике» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Работа выполнена в отделе нелинейной электродинамики (отд. 170) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Смирнова Дарья Александровна, старший научный сотрудник отдела нелинейной электродинамики ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук.

В 2021 г. соискатель учёной степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки 03.04.02. Физика.

Сроки обучения в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»: с 1 сентября 2021 года по 31 августа 2025 года.

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000034 от 10 июля 2025 года.

В период подготовки диссертации соискатель Смолина Екатерина Олеговна работал младшим научным сотрудником в отделе нелинейной электродинамики (отд. 170) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации

Все приведённые в диссертации результаты получены либо лично аспирантом, либо при его непосредственном участии. В частности, аспирантом выполнены все присутствующие в работе численные и аналитические расчёты и реализованы алгоритмы разработанных методов.

Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования

1. Продemonстрировано, что краевой импульс, распространяющийся вдоль доменной стенки в топологической фотонной решётке, представляет собой нелинейную простую волну с укручающимся по мере распространения задним фронтом при пренебрежении пространственной дисперсией.

2. Установлено, что учёт нелинейной поправки к скорости в эволюционных уравнениях позволяет описывать устойчивость краевых волн в топологических фотонных решётках относительно длинноволновых возмущений.

3. Предложен алгоритм на основе метода разреженной регрессии, позволяющий вывести корректные уравнения распространения огибающей краевого импульса вдоль топологической доменной стенки.

4. Разработан подход, основанный на анализе инкремента модуляционной неустойчивости объёмных мод и нелинейной динамики псевдоспина, позволяющий определять топологический класс фотонных решёток, описываемых двухзонным Гамильтонианом.

5. Впервые показана возможность классификации топологических фаз в фотонных системах с радиационными потерями с использованием методов машинного обучения на основе только пространственного распределения интенсивности, без необходимости восстановления фазового профиля.

6. Продemonстрировано, что топологические дефекты в форме Y-образного соединения трёх доменов в кремниевой метаповерхности с Кекуле-структурой, покрытой тонким слоем гексагонального нитрида бора, обеспечивают эффективную локализацию фонон-поляритонов в среднем ИК-диапазоне.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Все результаты работы получены хорошо известными и обоснованными методами, являются достоверными. Аналитические выводы согласуются с численным моделированием и экспериментальными данными из литературы. Экспериментальные подтверждения результатов главы 4 приведены в работе [6] (см. «Список работ» ниже).

Положения и основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных журналах и подвергались оценке независимых международных экспертов. Результаты докладывались на всероссийских и международных симпозиумах, конференциях, школах и обсуждались на научных семинарах.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследования

Развитый комплексный теоретический анализ топологических систем охватывает как фундаментальные аспекты поведения электромагнитных волн в фотонных материалах, так и прикладные методы их описания и классификации. Рассмотренные аналитические модели и численные подходы позволяют более глубоко понять нелинейные эффекты в топологических фотонных структурах. Кроме того, результаты этого исследования могут быть также полезны для описания нелинейных динамических явлений в других экспериментально реализуемых топологических системах, сконструированных на базе

метаматериалов, оптических решеток и экситон-поляритонного конденсата в силу общности развитого в диссертации аналитического подхода.

Предложенные устройства, а также разработанные программы применимы и в научных лабораториях, и на предприятиях электронной промышленности. Например, алгоритм машинного обучения, позволяющий определить топологическую фазу материала, исходя из распределения интенсивности, максимально адаптирован для использования в реальных лабораторных условиях.

Изученные топологические фотонные платформы в дальнейшем могут стать функциональными элементами интегральных фотонных схем (соединительные линии, модовые конвертеры, переключатели, резонаторы, наноразмерные излучатели и т.д.), использованы для повышения эффективности уже существующих фотонных интегральных схем, а также для создания новых функциональных элементов, основанных на топологических устройствах. В частности, топологическая метаповерхность, рассмотренная в диссертации, может быть применена в интегральной оптике для создания компактных источников излучения с заданной поляризационной структурой, а также в высокочувствительных сенсорах.

Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. Smirnova D. A., Smirnov L. A., Smolina E. O., Angelakis D. G., Leykam D. Gradient catastrophe of nonlinear photonic valley-Hall edge pulses // *Physical Review Research*. — 2021. — Vol. 3, no. 4. — P. 043027.
2. Leykam D., Smolina E., Maluckov A., Flach S., Smirnova D. A. Probing band topology using modulational instability // *Physical Review Letters*. — 2021. — Vol. 126, no. 7. — P. 073901.
3. Maluckov A., Smolina E., Leykam D., Gündoğdu S., Angelakis D. G., Smirnova D. A. Nonlinear signatures of Floquet band topology // *Physical Review B*. — 2022. — Vol. 105, no. 11. — P. 115133.
4. Smolina E. O., Smirnov L. A., Leykam D., Smirnova D. A. Self-steepening-induced stabilization of nonlinear edge waves at photonic valley-Hall interfaces // *Physical Review A*. — 2023. — Vol. 108. — P. L061501.
5. Smolina E., Smirnov L., Leykam D., Nori F., Smirnova D. Identifying topology of leaky photonic lattices with machine learning // *Nanophotonics*. — 2024. — Vol. 13, no. 3. — P. 271-281.
6. Smirnova D., Komissarenko F., Vakulenko A., Kiriushchikhina S., Smolina E., Guddala S., Allen M., Allen J., Alù A., Khanikaev A. B. Polaritonic states trapped by topological defects // *Nature Communications*. — 2024. — Vol. 15, no. 1. — P. 6355.
7. Smolina E., Smirnov L., Leykam D., Nori F., Smirnova D. Data-driven model reconstruction for nonlinear wave dynamics. // *Physical Review Research* (accepted) — 2025.

Ценность научных работ диссертанта отражается высоким уровнем публикаций в рецензируемых международных журналах. Они неоднократно обсуждались на различных

конференциях и семинарах, получили высокую оценку ведущих специалистов и имеют высокую цитируемость.

Результаты, представленные в диссертационной работе, в полной мере изложены в статьях, опубликованных соискателем учёной степени. Формулировки результатов изложены в соответствии с личным вкладом автора в каждую из опубликованных статей. Ссылки на источники заимствования материалов оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.4. Радиофизика.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

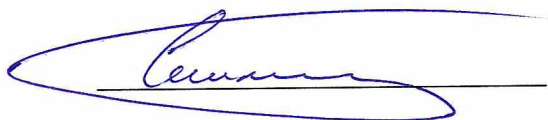
Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Локализованные состояния в нелинейной топологической фотонике» Смолиной Екатерины Олеговны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Настоящее заключение составлено на основании решения Учёного совета отделения физики плазмы и электроники больших мощностей ИПФ РАН по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Присутствовало на заседании 21 чел.

Результаты голосования: «за» — 21 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел.
протокол № 2 от « 23 » июня 2025 г.



Скалыга Вадим Александрович,
доктор физико-математических наук,
Председатель Учёного совета отделения физики
плазмы и электроники больших мощностей



Моченева Ольга Станиславовна,
кандидат физико-математических наук,
Учёный секретарь отделения физики плазмы и
электроники больших мощностей, н.с. отдела 170