

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Международный центр
квантовой оптики и квантовых технологий»

(Российский квантовый центр)

Острась М.И.

«22» ноября 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

общества с ограниченной ответственностью «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий» 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»

Диссертационная работа Е. О. Смолиной посвящена актуальной и быстро развивающейся области современной фотоники – изучению локализованных состояний в топологических фотонных системах. Исследование сочетает разносторонний теоретический подход, включающий аналитические методы, численное моделирование и применение машинного обучения.

К наиболее значимым достижениям и результатам диссертации следует отнести следующее:

- разработка эффективной континуальной модели для описания нелинейной динамики краевых волн, распространяющихся вдоль топологических доменных стенок в волноводных решетках, и аналитическое обоснование эффекта градиентной катастрофы локализованных краевых импульсов;
- установление механизма стабилизации краевых волн по отношению к длинноволновым возмущениям за счёт нелинейной зависимости групповой скорости волны от интенсивности поля;
- предложение оригинального метода вывода эволюционных уравнений для огибающих краевых импульсов на основе данных численного моделирования с применением алгоритмов разреженной регрессии;
- демонстрация возможности определения топологических фаз фотонных решёток с помощью анализа модуляционной неустойчивости объёмных мод и нелинейной динамики псевдоспина;
- разработка и обоснование нейросетевого подхода для классификации топологических состояний по пространственному распределению интенсивности без необходимости измерения фазы поля – метода, имеющего высокий практический потенциал для экспериментальной диагностики;

- аналитическое и численное описание локализованных гибридных фотон-фононных мод на точечных топологических дефектах в Кекуле-структурированных метаповерхностях, включая поляризационные свойства излучения в дальней зоне.

Достоинствами работы являются целостность и логическая завершённость изложения, методологическая строгость, а также междисциплинарный характер исследования, объединяющего методы теоретической радиофизики, топологической физики, нелинейной оптики и машинного обучения.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложений. Во Введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, а также теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена современным подходам в топологической фотонике, включая основные модельные гамильтонианы, экспериментальные платформы и методы теоретического описания локализованных состояний.

Вторая глава посвящена нелинейной динамике краевых импульсов, распространяющихся вдоль топологических доменных стенок. На основе дираковской модели получено эволюционное уравнение для огибающей с учётом влияния нелинейной групповой скорости и пространственной дисперсии. Показаны эффекты градиентной катастрофы, формирования квазисолитонов и устойчивости краевых импульсов к длинноволновым возмущениям. Предложен метод вывода уравнений эволюции на основе данных численного моделирования с использованием разреженной регрессии.

Третья глава посвящена разработке методов определения топологических фаз фотонных решёток. Продемонстрировано, что анализ модуляционной неустойчивости объёмных мод и нелинейной динамики псевдоспина позволяет идентифицировать топологию системы. Реализован нейросетевой алгоритм, определяющий топологический класс по распределению интенсивности без восстановления фазы поля.

Четвёртая глава посвящена исследованию локализованных фотон-фононных мод на точечных топологических дефектах в Кекуле-структурированных метаповерхностях. В рамках эффективной дираковской модели получено аналитическое описание углового состояния, его пространственного профиля и спиральной поляризационной структуры в дальней зоне. Результаты подтверждены численным моделированием уравнений Максвелла и экспериментальными данными.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке комплексного теоретического подхода, объединяющего аналитические дираковские модели, численное моделирование и методы машинного обучения для описания локализованных состояний в линейных и нелинейных топологических фотонных решётках. Практическая значимость в первую очередь обусловлена созданием новых методов диагностики топологических фаз, предложением эффективных алгоритмов выводов эволюционных уравнений, а также перспективой применения полученных результатов в интегральной фотонике, в частности, в проектировании компактных наноисточников излучения с заданной поляризационной структурой. Личный вклад автора в получение всех представленных в диссертации результатов является определяющим.

Все основные положения, выносимые на защиту, подтверждены как аналитическими выкладками, так и численным моделированием в рамках уравнений Максвелла и эффективных моделей (метод сильной связи, дираковские уравнения). Результаты диссертации опубликованы в ведущих международных журналах, включая Physical Review Letters, Nature Communications, Nanophotonics и другие, что свидетельствует об их признании научным сообществом и высокой достоверности.

Автореферат корректно отражает основное содержание и результаты диссертации.

Вместе с тем, работа не лишена отдельных недостатков:

1. В обзоре литературы, представленном в первой главе, не рассмотрены некоторые актуальные достижения в области квантовой топологической фотоники. Кроме того, среди экспериментальных платформ, реализующих топологические фазы, отсутствует упоминание о массивах связанных кольцевых микрорезонаторов – важной и широко используемой платформе для исследования топологических эффектов, в том числе в условиях сильного взаимодействия и нелинейности.

2. В ряде разделов (в частности, в главе 2) недостаточно подробно обсуждаются условия применимости континуального приближения при переходе от параксиальных уравнений к дираковской модели. Представлялось бы полезным более подробно пояснить данный момент и также наглядно показать соответствие структуры поля в решетке волноводов и в приближенных уравнениях.

3. В главе 4 недостаточно раскрыт физический механизм взаимодействия фотонных и фононных степеней свободы в гибридной системе. Требуется дополнительное обсуждение природы связи между дипольными/квадрупольными фотонными модами и оптическими фононами гексагонального нитрида бора.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Научный уровень и значимость диссертационной работы Е. О. Смолиной не вызывает сомнений. Диссертационная работа соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (действует с 01.01.2014 г.) с точки зрения актуальности, новизны, достоверности, практической значимости и личного вклада диссертанта, а ее автор Смолина Е. О. заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 «радиофизика».

Диссертация и настоящий отзыв обсуждены и одобрены на заседании научно-квалификационного семинара Российского квантового центра 5 ноября 2025 г.

Отзыв на диссертацию подготовил заместитель руководителя научной группы «Квантовая оптика», к.ф.м.н. Чермошенцев Д.А.

Заместитель руководителя научной группы «Квантовая оптика»,
к.ф.м.н.

Чермошенцев Д.А.

«18» 11 2025 г.

Председатель научного совета,
Научный директор,
Д.ф.м.н.

Акимов А.В.

«18» ноября 2025 г.

Падисв Намович А.В.
Ведущий НА
Самуилов А.В.



Сведения о ведущей организации

по диссертации Смолиной Екатерины Олеговны «Структура и динамика локализованных состояний в линейных и нелинейных топологических фотонных решётках», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика

Полное наименование	Общество с ограниченной ответственностью «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий»
Сокращенное наименование	РКЦ
Место нахождения	121205, г. Москва, Территория Инновационного Центра «Сколково», Большой бульвар, д. 30, стр. 1
Почтовый адрес	121205, г. Москва, Территория Инновационного Центра «Сколково», Большой бульвар, д. 30, стр. 1
Телефон	(495) 280-12-91
Адрес электронной почты	mail@rqc.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	www.rqc.ru