

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор – начальник управления научной

политики МГУ имени М.В. Ломоносова



Федянин А.А.

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Широковой Анастасии Владимировны «Трансформация электромагнитных волн при изменении во времени числа частиц в среде Лоренца и графене», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Разработка устройств для преобразования и быстрого управления светом является актуальным направлением лазерной физики. Результаты недавних исследований по созданию электрически и оптически управляемых метаматериалов указывают на перспективность использования в фотонике эффектов нестационарной электродинамики, таких как преобразование частоты широкополосного сигнала, невзаимность немагнитных сред, быстрое управление волновыми пучками и др. Благодаря возможности быстрого управления плотностью носителей заряда, перспективным материалом для реализации нестационарных плазмонных эффектов является графен. В настоящее время публикуется большое количество теоретических работ, посвященных техническому расчету трансформации волн в нестационарных метаматериалах на базе графена, в которых, однако, недостаточное внимание уделяется правильному выбору исходных материальных уравнений. Между тем при теоретическом описании нестационарных сред важно использовать корректные материальные уравнения, учитывающие конкретный физический механизм возникновения нестационарности в среде. Решению актуальной задачи формулирования материальных уравнений нестационарных сред с резонансными (мета-) атомами и нестационарного графена, а также исследованию закономерностей трансформации волн на основе полученных уравнений и посвящена диссертационная работа Широковой Анастасии Владимировны.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы и списка публикаций по диссертации.

Во введении дан краткий обзор литературы по теме диссертации и обоснована ее актуальность, определены цель и задачи работы, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены выносимые на защиту положения, кратко описано содержание диссертации по главам.

В первой главе рассматриваются электромагнитные процессы в среде Лоренца, состоящей из классических осцилляторов, в условиях нестационарности, вызванной изменением во времени концентрации осцилляторов или собственной частоты осциллятора. Впервые показано, что материальные уравнения среды Лоренца имеют различный вид на временных интервалах увеличения и уменьшения концентрации осцилляторов. В случае плавной нестационарности среды получены адиабатические инварианты нового вида, связывающие временные изменения частоты и энергии волны. Условия применимости модели недиспергирующей среды с зависящей от времени диэлектрической проницаемостью (модели Моргенталера) расширены на случай резкого изменения (как увеличения, так и уменьшения) числа свободных носителей в среде.

Во второй главе исследована динамика поверхностного плазмона на графене с переменной во времени плотностью свободных носителей. Для описания графена введено материальное уравнение, учитывающее уменьшение осцилляторного тока свободных носителей при их рекомбинации или удалении из графена. Указаны механизмы потерь волновой энергии как при уменьшении, так и увеличении плотности носителей. В частности, предсказана возможность возбуждения многопоточного движения носителей в графене, которое может выступать как канал диссипации для энергии поверхностного плазмона. Также проведен расчет эффективности преобразования поверхностного плазмона в объемное излучение в условиях резкого изменения числа носителей.

В третьей главе исследовано параметрическое преобразование электромагнитных волн при периодической модуляции числа осцилляторов в среде Лоренца и свободных носителей в графене. Одним из ключевых результатов данной главы является опровержение эффекта параметрического усиления волн, предсказанного в

ряде недавних статей, а также предсказание возможности эффективного удвоения и деления частоты волны.

В заключении сформулированы основные полученные результаты.

Диссертационная работа Широковой А.В. является цельным и законченным научным исследованием. Полученные в ней результаты обладают всеми признаками научной новизны и вносят заметный вклад в понимание физических механизмов взаимодействия электромагнитных волн с нестационарными средами с зависящим от времени числом свободных носителей. Представленные в диссертации результаты представляют интерес в контексте разработки новых микро- и нано- фотонных устройств (модуляторов, преобразователей частоты, дефлекторов и др.) на базе графена и других материалов с управляемыми (оптически или электрически) свойствами.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации, а также сформулированных в ней научных положений и выводов обеспечивается использованием апробированного теоретического аппарата, согласием, где возможно, с имеющимися литературными данными и их внутренней непротиворечивостью. Полученные в диссертации результаты были представлены на ведущих всероссийских и международных научных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях.

По содержанию работы имеются следующие замечания:

1. В первой главе диссертации представлен детальный анализ распространения электромагнитных волн в среде Лоренца с переменным числом частиц. Однако обсуждение возможных приложений разработанного математического аппарата к реальным физическим системам сведено к кратким упоминаниям и ссылкам на отдельные явления. Хотелось бы увидеть применение предложенной модели на более конкретных примерах.
2. В любом реальном веществе собственная частота осцилляторов имеет не фиксированное значение, а распределена по некоторому закону вследствие неоднородного уширения. Будут ли в этом случае сохраняться инварианты, представленные в первой главе?

3. Во второй главе рассматривается динамика поверхностных плазмонов в графене с переменным числом носителей. Теоретическое описание и предложенные инварианты во многом совпадают с результатами, опубликованными в работах [8], [45], за исключением выбранной геометрии системы. Возникает вопрос: связаны ли результаты, полученные в рамках диссертационной работы, с принципиально новыми физическими явлениями или различия носят главным образом геометрический характер?
4. Для лучшего понимания сути полученных результатов и оценки их новизны в контексте уже существующих было бы полезно расширить обзор литературы.
5. В тексте диссертационной работы встречается небольшое количество опечаток – например, в формуле (2.24) на стр. 59 и в текстовом описании после формулы (3.3) на стр. 84.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не уменьшают ее значимость. Тематика и содержание диссертации полностью соответствуют специальности 1.3.19. Лазерная физика. Основные результаты работы опубликованы в 16 научных работах, в том числе 6 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Широковой Анастасии Владимировны «Трансформация электромагнитных волн при изменении во времени числа частиц в среде Лоренца и графене» является завершенной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Широкова Анастасия Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Диссертационная работа и настоящий отзыв, подготовленный кандидатом физико-математических наук Новиковым Ильей Алексеевичем, обсуждались на за-

седании кафедры нанوفотоники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (протокол № 3 от 25.06.2025) и получили положительную оценку.

Младший научный сотрудник
кафедры нанوفотоники
физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
кандидат физ.-мат. наук (1.3.19 Лазерная физика)
тел. +7 (925) 715-40-49
email: novikovia@my.msu.ru



Новиков И.А.

Заведующий кафедрой нанوفотоники
физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физ.-мат. наук (01.04.21 Лазерная физика)
профессор, член-корреспондент РАН
тел. +7 (495) 939-11-45
email: fedyanin@nanolab.phys.msu.ru



Федянин А.А.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова)

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

E-mail: info@rector.msu.ru

Web: <https://www.msu.ru/>

Тел.: +7 (495) 939-1000/0126

« 1 » 09 2025 г.