

ОТЗЫВ

официального оппонента д. ф.-м. н. Харинцева Сергея Сергеевича
на диссертационную работу 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

Ведущиеся широким фронтом работы в области метаматериалов в последние годы стимулировали интерес к исследованию электромагнитных явлений в нестационарных средах. Время рассматривается как дополнительная степень свободы, использование которой открывает новые возможности при разработке устройств активной фотоники, такие как широкополосный частотный сдвиг сигналов, невзаимность распространения волн в немагнитных средах, динамическое переключение направления распространения волновых пучков и др. В качестве структурных элементов активных (управляемых) метаматериалов рассматриваются микрорезонаторы с электрическим и оптическим управлением. Для создания устройств активной плазмоники в качестве перспективного материала рассматривается графен в связи с его способностью направлять слабо затухающие поверхностные плазмоны, дисперсионными свойствами которых можно эффективно управлять путем изменения поверхностной проводимости графена.

Перспективы создания активных устройств фотоники и плазмоники поставили проблему теоретического осмысления трансформации электромагнитных волн в нестационарных средах и привели к всплеску теоретических работ в этом направлении. К данному актуальному направлению относится и диссертационная работа Широковой А.В., в которой исследованы особенности трансформации электромагнитных волн в нестационарных диспергирующих средах в условиях, когда структурные элементы среды имеют резонансы или среда является двумерной.

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

Во введении на основе обзора литературы обоснована актуальность диссертационной работы, указаны ее цель и задачи, отмечены научная новизна и практическая

значимость результатов, приведены выносимые на защиту основные положения, дано краткое описание содержания глав диссертации.

В первой главе диссертации сформулированы материальные уравнения для среды Лоренца с изменяющимся во времени параметром – концентрацией структурных элементов среды (осцилляторов) или собственной частотой осциллятора, далее на основе этих уравнений исследована трансформация электромагнитной волны как при плавном, так и резком изменении параметра среды. В случае плавного изменения получены адиабатические инварианты нового вида, но согласующиеся с ранее известными для диэлектрика без дисперсии и плазмы в предельных случаях низких и высоких частот. Наиболее интересные результаты получены для случая резкого изменения параметра, в частности, определена область применимости широко используемой модели нестационарного диэлектрика без дисперсии (модели Моргенталера) для описания реальных (диспергирующих) сред, раскрыты тонкости сохранения энергетического баланса при трансформации волны в нестационарной среде Лоренца.

Во второй главе диссертации исследована трансформация поверхностного плазмона, направляемого листом графена при изменении во времени плотности свободных носителей. Рассмотрение ведется на основе материального уравнения, которое в отличие от ряда предшествующих работ по графеновым плазмонам содержит дополнительный член, учитывающий изменение тока носителей при их удалении из графена. Показано, что учет данного члена принципиален для получения корректных амплитудных и энергетических соотношений. Интересным также является расчет трансформации плазмона в электромагнитное излучение при скачке плотности носителей в графене.

В третьей главе диссертации исследованы параметрические эффекты при периодической модуляции числа осцилляторов в среде Лоренца и свободных носителей в графене. Наиболее важный результат здесь – обоснование отсутствия параметрического усиления волн, предсказанного в ряде предшествующих работ. Также найдены практически интересные режимы удвоения и деления пополам частоты исходной волны с высокой эффективностью по амплитуде.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Широковой А.В. представляет собой цельное и законченное исследование в области фотоники нестационарных сред. Все основные результаты диссертации являются новыми и представляют значительный интерес.

Несомненным достоинством диссертации является общность некоторых ее результатов, например, в диссертации впервые установлены границы применимости широко распространенной модели Моргенталера, сформулированы материальные уравнения для среды с резонансными структурными элементами при немонотонной зависимости числа структурных элементов от времени.

Несмотря на теоретический характер работы, полученные в ней результаты представляют практический интерес и могут быть использованы при разработке активных фотонных и плазмонных устройств с электрической и оптической модуляцией параметров.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается применением надежных теоретических методов, подтверждается апробацией результатов на представительных конференциях и их опубликованием в высоко-рейтинговых рецензируемых журналах.

По содержанию работы имеются следующие замечания:

1. Мимо внимания автора прошли недавние работы, в которых нестационарность среды связана с временной модуляцией энергетических состояний в запрещенной зоне полупроводника (см., например, B. Wu et al., *Sci. Adv.* 9, eadi9347 (2023), A.V. Cohen et al., *J. Phys. Chem. Lett.* 10, 4490 (2019), B. Wang et al., *npj Comput. Mater.* 11, 11 (2025)). Может ли рассмотренная в диссертации модель среды с изменяющимся числом осцилляторов быть использована для описания волн в таком полупроводнике?
2. Некоторые формулировки трудно воспринимать, например: «Показано, что суммарная энергия вторичных плазмонов и переходного излучения меньше энергии исходного плазмона, а разница энергий переходит в кинетическую энергию двухпоточкового равномерного движения фоновых и вновь появившихся электронов. Таким образом, опровергнуто предсказанное в работе [42] усиление плазмона». При этом неясно, что такое «усиление» плазмона, речь идет об увеличении его добротности (Q-факторе), плотности состояний или figure-of-merit?

3. По тексту диссертации автор акцентирует внимание на корректных материальных уравнениях и корректных граничных условиях, правильнее было бы говорить о границах применимости или приближениях.
4. Утверждение «В диссертации доказана ее справедливость для двумерного плазмopodobного листа (графена) с анизотропным токовым откликом.» было бы понятнее, если его переформулировать как «В диссертации доказана ее справедливость для графена с анизотропной электрической проводимостью».

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов и защищаемых положений. 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 правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Широковой Анастасии Владимировны «Трансформация электромагнитных волн при изменении во времени числа частиц в среде Лоренца и графене» является завершённой научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого 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.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой оптики и нанофотоники Казанского федерального университета, доктор физико-математических наук (01.04.05 Оптика)

20 июня 2025 г.



Харинцев Сергей Сергеевич

Я, Харинцев Сергей Сергеевич, даю согласие на обработку моих персональных данных (приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 №662) и на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук Широковой Анастасии Владимировны.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Почтовый адрес: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 16а

Тел.: 8(843) 314-27-91

E-mail: skharint@gmail.com

Подпись С.С. Харинцева заверяю

