

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

Актуальным направлением лазерной физики является разработка физических принципов для создания быстродействующих устройств активной фотоники и плазмоники. В качестве перспективных материалов для фотонных и плазмонных устройств рассматриваются, в частности, метаматериалы и графен, допускающие быструю оптическую и электрическую модуляцию их диэлектрических свойств. В условиях быстрой модуляции возможно проявление специфических нестационарных эффектов, таких, например, как сдвиг частоты широкополосного сигнала, отражение волн от временных границ и др. Создание устройств на основе нестационарных эффектов рассматривается как одно из перспективных направлений активной фотоники и плазмоники. В литературе теоретическое исследование электромагнитных процессов в нестационарных метаматериалах и графене зачастую основано на не вполне корректных материальных уравнениях, что может приводить к неправильным выводам об энергетике электромагнитных волн. Рассмотрению актуальной проблемы формулирования корректных материальных уравнений нестационарных резонансных сред и нестационарного графена, а также исследованию закономерностей трансформации волн в таких средах и посвящена диссертационная работа Широковой А.В.

Диссертационная работа включает введение, три главы, заключение, список цитируемой литературы и список публикаций автора по теме диссертации.

Во введении приведен обзор литературы, обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, указан личный вклад автора в получение результатов.

Первая глава посвящена исследованию динамики электромагнитных волн в среде, состоящей из классических осцилляторов (среде Лоренца), при изменении во времени либо концентрации осцилляторов, либо собственной частоты осциллятора. Для решения этой задачи впервые корректно сформулированы материальные уравнения для среды с произвольной (немонотонной) зависимостью концентрации осцилляторов от времени. Использование данных уравнений позволило получить адиабатические инварианты нового вида для электромагнитной волны в плавно нестационарной среде Лоренца, а также разобраться в вопросе о применимости распространенной модели нестационарного диэлектрика без дисперсии (модели Моргенталера) к реальным средам на основе рассмотрения резкой временной границы.

Вторая глава посвящена исследованию трансформации поверхностного плазмона, распространяющегося вдоль листа графена, при плавных и резких изменениях во времени поверхностной плотности носителей в графене. Для описания нестационарного графена введено материальное уравнение для тока носителей в модели Друде, учитывающее рождение носителей с нулевой осцилляторной скоростью и исчезновение осцилляторного тока удаляемых носителей. Данное уравнение обобщает известное для газовой нестационарной плазмы материальное уравнение на случай двумерного движения безмассовых носителей в графене. Для случая возрастания плотности носителей предсказан интересный эффект возбуждения многопоточкового равномерного движения носителей, в которое может уходить значительная часть энергии исходного плазмона.

Третья глава посвящена исследованию параметрического преобразования электромагнитных волн при периодическом изменении числа частиц в среде Лоренца и графене. В опровержение предсказаний ряда недавних работ показано, что модуляция числа частиц не может приводить к параметрическому усилению волн. В то же время предсказаны интересные для практического использования режимы преобразования исходной волны в волны удвоенной или половинной частоты с эффективностью преобразования до 100% по амплитуде.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Широковой А.В. является законченным исследованием и имеет несомненную научную новизну. Полученные результаты вносят значительный вклад в развитие теории электромагнитных явлений в нестационарных средах, а также могут быть использованы на практике для разработки устройств активной фотоники и плазмоники (частотных преобразователей, модуляторов и пр.).

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается применением апробированных теоретических методов и строгостью применяемого математического аппарата. Результаты диссертации не противоречат имеющимся в литературе теоретическим и экспериментальным данным, прошли рецензирование в высокорейтинговых международных журналах и апробированы на конференциях высокого уровня.

По содержанию работы имеются следующие замечания.

1. В тексте диссертации иногда не хватает математической строгости. В частности, уравнения Максвелла в формуле 1.13 записаны через $\nabla \times \mathbf{B}$, а в формуле 2.6 фигурирует $\nabla \times \mathbf{E} = -c^{-1} \partial \mathbf{H} / \partial t$. При этом по тексту диссертации нигде нет оговорок про магнитные свойства среды.
2. Рисунку 1.7 не хватает наглядности, так как в нем не содержится никакой информации о частотах плазмонов. При этом в подписи к рисунку приводятся рассуждения об этих частотах.
3. После формулы 2.2 делается утверждение, что в случае одновременной генерации и рекомбинации носителей заряда в графене формула 2.2 остается справедливой при $\mu_r = \text{const}$, а при $\mu_r = \mu_r(t)$ может быть использована как приближенная. Однако никаких доказательств в пользу того и другого не приводится.
4. В тексте диссертации встречаются ошибки/опечатки в формулах. В частности, в формуле 2.16 энергия магнитного поля плазмона записана через $\varepsilon |\mathfrak{H}|^2$, а в формуле 2.24, по всей видимости, потеряна правая часть в виде «= const».
5. В третьей главе диссертации встречаются ошибочные ссылки не на те рисунки. В частности, в подписи к рисунку 3.7 есть ссылка на рис. 3.10, а должна быть на рис. 3.11. Далее по тексту еще несколько раз встречаются ссылки не на те рисунки.
6. В тексте диссертации периодически встречаются грамматические ошибки, хотя в целом их количество можно охарактеризовать как незначительное.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов и защищаемых положений. Тематика и содержание диссертации полностью соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика. Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, в том числе 6 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертации. Полученные в диссертации результаты являются новыми, хорошо обоснованными и представляют интерес с теоретической и практической точек зрения. 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:

Старший научный сотрудник

Института прикладной физики РАН,

кандидат физико-математических наук

(01.04.21 Лазерная физика)

27 июня 2025 г.



Емелин Михаил Юрьевич

Я, Емелин Михаил Юрьевич, 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.

