

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО"
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.09.2025 г. № 24.

О присуждении Широковой Анастасии Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Трансформация электромагнитных волн при изменении во времени числа частиц в среде Лоренца и графене» по специальности 1.3.19. Лазерная физика принята к защите 04 июня 2025 г. (протокол заседания № 15) диссертационным советом 24.2.340.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом Рособнадзора № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель, Широкова Анастасия Владимировна, 14 сентября 1996 года рождения, в 2020 году окончила магистратуру радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика. В 2024 году окончила аспирантуру радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 1.3.19. Лазерная физика. В настоящее время работает в должности ассистента кафедры общей физики радиофизического факультета в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре общей физики радиофизического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор Бакунов Михаил Иванович, заведующий кафедрой общей физики радиофизического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Официальные оппоненты:

1. Харинцев Сергей Сергеевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.05 Оптика), профессор, заведующий кафедрой оптики и нанофотоники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
2. Емелин Михаил Юрьевич, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.21 Лазерная физика), старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), г. Москва, в своем **положительном** отзыве, утвержденном доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, проректором – начальником управления научной политики А.А. Федяниным 01.09.2025 г., подписанном кандидатом физико-математических наук Новиковым Ильей Алексеевичем, младшим научным сотрудником кафедры нанофотоники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, и Федяниным Андреем Анатольевичем, заведующим кафедрой нанофотоники физического факультета, указала, что диссертация Широковой Анастасии Владимировны удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Широкова Анастасия Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых WoS, Scopus и RSCI, опубликовано 6 работ. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях.

Авторский вклад соискателя в опубликованные в соавторстве работы заключается в участии в постановке задач, выполнении аналитических и численных расчетов, анализе и интерпретации полученных результатов, а также в подготовке их к публикации.

Проверка текста диссертации не выявила неправомерных заимствований. Исследования являются оригинальными и представляются к защите впервые. В диссертации отсутствуют

недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Shirokova, A. V.** Scattering of surface plasmons on graphene by abrupt free-carrier generation / **A. V. Shirokova, A. V. Maslov, M. I. Bakunov** // Physical Review B. – 2019. – V. 100. – № 4. – P. 045424.
2. Bakunov, M. I. Adiabatic invariants for surface plasmons on temporally dynamic graphene / M. I. Bakunov, **A. V. Shirokova, A. V. Maslov** // Journal of Optics. – 2020. – V. 22. – № 9. – P. 095005.
3. Bakunov, M. I. Constitutive relations and adiabatic invariants for electromagnetic waves in a dynamic Lorentz medium / M. I. Bakunov, **A. V. Shirokova, A. V. Maslov** // Physical Review B. – 2021. – V. 104. – № 3. – P. 035112.
4. Bakunov, M. I. Light scattering at a temporal boundary in a Lorentz medium / M. I. Bakunov, **A. V. Shirokova, M. A. Kurnikov, A. V. Maslov** // Optics Letters. – 2021. – V. 46. – № 19. – P. 4988-4991.
5. **Shirokova, A. V.** Surface plasmon transformation on dynamic graphene with a periodic modulation of carrier density / **A. V. Shirokova, A. V. Maslov, M. I. Bakunov** // Physical Review B. – 2023. – V. 108. – № 24. – P. 245139.
6. Bakunov, M. I. Electromagnetic waves in a Lorentzian medium with periodically modulated oscillator density / M. I. Bakunov, **A. V. Shirokova, M. A. Kurnikov, A. V. Maslov** // Physical Review A. – 2024. – V. 110. – № 6. – P. 063532.

На диссертацию и автореферат поступило 2 отзыва от:

1. Фетисова Юлия Константиновича, доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 Физика полупроводников и диэлектриков, профессора, директора научно-образовательного центра «Магнитоэлектрические материалы и устройства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет», г. Москва.
2. Широкова Евгения Алексеевича, кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 Физика плазмы, старшего научного сотрудника федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород.

Оба отзыва **положительные**. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания.

Замечания из отзыва ведущей организации.

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.

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?

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?

Для лучшего понимания сути полученных результатов и оценки их новизны в контексте уже существующих было бы полезно расширить обзор литературы.

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.

Замечания из отзыва официального оппонента Харинцева С.С.

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?

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 двухпотокового 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?

По тексту диссертации автор акцентирует внимание на корректных материальных уравнениях и корректных граничных условиях, правильнее было бы говорить о границах применимости или приближениях.

Утверждение «В диссертации доказана ее справедливость для двумерного плазмоподобного листа (графена) с анизотропным токовым откликом.» было бы понятнее, если его переформулировать как «В диссертации доказана ее справедливость для графена с анизотропной

электрической проводимостью».

Замечания из отзыва официального оппонента Емелина М.Ю.

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.

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.

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.

В тексте диссертации встречаются ошибки/опечатки в формулах. В частности, в формуле 2.16 энергия магнитного поля плазмона записана через $\epsilon |\mathbf{H}|^2$, а в формуле 2.24, по всей видимости, потеряна правая часть в виде «= const».

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.

В тексте диссертации периодически встречаются грамматические ошибки, хотя в целом их количество можно охарактеризовать как незначительное.

Замечание из отзыва на автореферат Широкова Е.А.

Результаты, полученные для графена на основе уточненной модели Друде (12), по-видимому, справедливы только в том случае, если время релаксации скорости носителей заряда ν^{-1} , с одной стороны, много меньше времени жизни плазмона, а с другой – много больше времени установления функции распределения Ферми. Эти соотношения между указанными временами в общем случае могут выполняться не только в графене, но и в более широком классе сред (и это обстоятельство следовало бы отметить в работе). В то же время эти соотношения не всегда выполняются в графене и было бы полезно провести оценки этих времен, указав необходимые условия, при которых справедливы полученные результаты.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено следующее:

Получены материальные уравнения для среды Лоренца с произвольной немонотонной зависимостью числа осцилляторов от времени при условии, что процессы увеличения и уменьшения

числа осцилляторов происходят одновременно.

Найдены адиабатические инварианты – комбинации энергии и частоты электромагнитной волны, сохраняющиеся при распространении волны в среде Лоренца с медленно изменяющейся во времени концентрацией осцилляторов или резонансной частотой осциллятора.

Установлены границы применимости модели недиспергирующего диэлектрика с зависящей от времени диэлектрической проницаемостью (модели Моргенталера)¹ для описания нестационарных диспергирующих сред с резонансными структурными элементами.

Показано, что известные адиабатические инварианты для поверхностных волн, направляемых планарными структурами с нестационарной объемной плазмой, справедливы также для поверхностных плазмонов, направляемых двумерным плазмоподобным листом (графеном) с переменной во времени поверхностной плотностью свободных носителей.

Установлено, что собственные моды среды Лоренца с периодической ступенчатой модуляцией во времени концентрации осцилляторов являются затухающими, даже в отсутствие потерь в осцилляторах. Показана невозможность параметрического усиления волн в такой среде и указаны механизмы потерь волновой энергии в моменты изменения числа осцилляторов. Найдены практически интересные режимы удвоения и деления пополам частоты волны с эффективностью по амплитуде, близкой к 100%.

Показано, что периодическая модуляция во времени поверхностной плотности носителей заряда в графене не может приводить к параметрическому усилению направляемых графеном плазмонов. Для графена со ступенчатой модуляцией плотности носителей найден режим трансформации бегущего плазмона в модулированный по частоте стоячий плазмон постоянной амплитуды.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации на основе полученных материальных уравнений разработано теоретическое описание динамики электромагнитных волн в среде Лоренца и графене с переменным во времени числом частиц. Результаты по трансформации волн в нестационарной среде Лоренца устанавливают границы применимости широко используемой теоретической модели Моргенталера для описания нестационарных сред. Результаты по трансформации волн в среде Лоренца и графене с периодической модуляцией числа частиц опровергают имеющиеся в литературе теоретические предсказания возможности параметрического усиления волн.

Значение полученных соискателем результатов для практики определяется возможностью использования результатов по трансформации электромагнитных волн в среде Лоренца с переменной во времени концентрацией осцилляторов при разработке фотонных устройств на основе метаматериалов с электрически и оптически управляемыми свойствами (частотных преобразователей, модуляторов и др.). Результаты по трансформации поверхностных плазмонов,

направляемых графеном с переменной во времени поверхностной плотностью носителей, могут быть использованы при разработке устройств активной плазмоники терагерцового и инфракрасного частотных диапазонов.

Оценка достоверности полученных результатов исследования выявила, что изложенные в диссертационной работе результаты обеспечиваются применением апробированных аналитических и численных методов и согласованием результатов диссертационной работы в частных случаях с имеющимися в литературе данными других авторов, а также подтверждается апробацией результатов на научных конференциях и публикациями в высокорейтинговых международных изданиях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении аналитических исследований и численного моделирования, обработке и анализе полученных результатов, подготовке публикаций в научных журналах.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание:

В выступлении не было подчеркнуто различие между определением вектора поляризации, используемым в диссертации, и определением, общепринятым для стационарных сред.

Соискатель Широкова А.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и замечание и привела собственную аргументацию:

“Действительно, определения вектора поляризации различны. В диссертации в векторе поляризации учитывается вклад только осцилляторов, участвующих в колебательном движении, и не учитывается вклад осцилляторов, прекративших колебания, как было отмечено в ходе выступления”.

На заседании 24.09.2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития лазерной физики, присудить Широковой А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек из них 6 докторов наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени — 18, против присуждения ученой степени — 0, действительных бюллетеней — 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

24.09.2025



Гурбатов Сергей Николаевич

Клюев Алексей Викторович