

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной работе и цифровому развитию
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
Алексей Александрович Короновский



« 21 » _____ 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Ростунцовой Алёны Александровны** «Нелинейные волновые процессы при усилении и генерации ультракоротких импульсов в системах типа электронный поток – электромагнитная волна» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика, выполненной на кафедре динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ № 190-Д от 14 декабря 2021 г.

В 2021 г. **Ростунцова Алёна Александровна** окончила с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» с присвоением квалификации «Магистр».

В период подготовки диссертации соискатель обучается в аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского» с 1 октября 2021 г. (приказ о зачислении №275-П от 25.08.2021 г.) по настоящее время по группе научных специальностей 1.3. Физические науки. Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории вакуумной микро- и наноэлектроники (СФ-1) Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Справка о сданных кандидатских экзаменах № 11-2025 от 14 апреля 2025 г. выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель – Рыскин Никита Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, заведующий кафедрой

динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденный приказом ректора № 190-Д от 14 декабря 2021 г., представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

На заседании присутствовали:

1. Исаева Ольга Борисовна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
2. Рыскин Никита Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
3. Тюрюкина Людмила Владимировна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
4. Аникин Валерий Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры радиотехники и электродинамики;
5. Стрелкова Галина Ивановна, д.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой радиофизики и нелинейной динамики;
6. Караваев Анатолий Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии;
7. Пономаренко Владимир Иванович, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии;
8. Гришин Сергей Валерьевич, к.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой электроники, колебаний и волн;
9. Слепченков Михаил Михайлович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики;
10. Рожнёв Андрей Георгиевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры нелинейной физики;
11. Титов Владимир Николаевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры электроники, колебаний и волн;
12. Адилова Асель Булатовна, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики открытых систем;
13. Сергеев Константин Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики;
14. Торгашов Роман Антонович, к.ф.-м.н., доцент кафедры нелинейной физики;
15. Григорьева Наталия Вадимовна, к.ф.-м.н., СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Докладчику были заданы вопросы от Титова В.Н., Гришина С.В., Сергеева К.С.

Рецензенты диссертации:

Стрелкова Галина Ивановна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой радиофизики и нелинейной динамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представила положительный отзыв.

Титов Владимир Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Заключение

по диссертации Ростунцовой Алёны Александровны «Нелинейные волновые процессы при усилении и генерации ультракоротких импульсов в системах типа электронный поток – электромагнитная волна» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Диссертация Ростунцовой А.А. посвящена исследованию фундаментальных закономерностей усиления и генерации ультракоротких импульсов микроволнового излучения в системах типа электронный поток – электромагнитная волна. В диссертации проведен поиск и анализ автомодельных решений, описывающих усиление и компрессию импульсов, для различных моделей взаимодействия электронного пучка с прямой и обратной электромагнитной волной и выполнено их сопоставление с результатами компьютерного моделирования. Представлен анализ условий возникновения модуляционной неустойчивости при резонансном циклотронном взаимодействии электромагнитной волны со встречным прямолинейным потоком электронов и определены условия генерации последовательности солитоноподобных импульсов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

В диссертационной работе впервые показано, что эволюция короткого импульса, усиливающегося в черенковской лампе бегущей волны, в приближении малого изменения скорости электронов проходит через две автомодельные стадии. На малых временах эволюция параметров импульса соответствует автомодельным законам, полученным в приближении малого изменения энергии электронов. С течением времени изменение энергии электронов становится значительным, и эволюция импульса выходит на новую автомодельную асимптотику, соответствующую приближению малого изменения скорости электронов.

Автором впервые проведён групповой анализ симметрий уравнений нелинейной нестационарной теории черенковского взаимодействия электронного пучка с бегущей электромагнитной волной и, в частности,

показано, что автомодельное решение является следствием одной из базисных симметрий уравнений. На основе проведенного анализа впервые построено обобщенное автомодельное решение, которое описывает усиление частотно-модулированного импульса.

Впервые исследован автомодельный характер генерации импульса сверхизлучения на начальной стадии переходного процесса в черенковской лампе обратной волны. Путём детального сопоставления с результатами численного моделирования продемонстрировано, что эволюция параметров импульса сверхизлучения в процессе распространения хорошо соответствует теоретическим законам, полученным из вида автомодельного решения уравнений нелинейной нестационарной теории черенковского взаимодействия электронного пучка с обратной электромагнитной волной.

Найдены новые автомодельные решения, описывающие генерацию коротких импульсов в лазере на свободных электронах с попутной электромагнитной накачкой, когда рассеянное излучение распространяется навстречу электронному потоку.

Впервые показано, что генерация последовательности солитоноподобных импульсов при циклотронном резонансном взаимодействии гармонической волны со встречным прямолинейным потоком электронов связана с развитием модуляционной неустойчивости. Впервые проведён анализ характера модуляционной неустойчивости. Найдены условия, при которых модуляционная неустойчивость является абсолютной или конвективной, и построена граница смены характера модуляционной неустойчивости на плоскости параметров входного сигнала.

Найдены новые точные аналитические решения, описывающие распространение стационарных периодических волн, светлых и тёмных солитонов при взаимодействии прямолинейного электронного потока со встречной монохроматической волной в условиях циклотронного резонанса.

Достоверность полученных результатов обоснована использованием широко апробированных и хорошо зарекомендовавших себя моделей электронно-волнового взаимодействия и методов теоретического анализа нелинейных волновых процессов. Результаты численного моделирования, полученные на основе различных подходов (моделирование усредненных уравнений и 3-D моделирование методом «частиц в ячейке»), согласуются как между собой, так и с теоретическими выводами. Достоверность результатов численного моделирования также подтверждается воспроизведением в качестве тестовых расчётов ряда общепризнанных результатов, известных из литературы.

Научно-практическая значимость. Результаты диссертации существенно расширяют теоретические представления о нелинейных волновых процессах в системах типа электронный поток — электромагнитная волна. В частности, показано, что процессы усиления и компрессии импульсов в подобных системах носят автомодельный характер, и определены основные закономерности их эволюции. Развита теория модуляционной неустойчивости при циклотронном резонансном

взаимодействии электромагнитной волны со встречным прямолинейным электронным пучком и определены условия генерации солитонов. Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что на их основе могут быть улучшены характеристики усилителей и генераторов наносекундных и субнаносекундных электромагнитных импульсов в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн, которые находят применение в радиолокации высокого разрешения, спектроскопии, физике плазмы, ускорительной технике.

Личный вклад соискателя. Все результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены соискателем лично: теоретический анализ моделей электронно-волнового взаимодействия, проведение численных экспериментов и анализ полученных результатов. Постановка задач, планирование проведения исследования, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научным руководителем, а также с соавторами опубликованных работ.

Апробация работы. Результаты, представленные в диссертационной работе, неоднократно докладывались на международных и всероссийских научных конференциях: 23rd International Vacuum Electronics Conference (IVEC), Monterey, CA, USA, 2022; 22nd International Vacuum Electronics Conference (IVEC), Rotterdam, Netherlands, 2021; 47th IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS-2020), Singapore, 2020; XXV, XXVI и XXVIII Международные школы для студентов и молодых ученых по оптике, лазерной физике и биофизике Saratov Fall Meeting. International Symposium "Optics and Biophotonics", Саратов, 2021, 2022, 2024; 16-я Международная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы электронного приборостроения", Саратов, 2024; XII Международная школа-конференция "Хаотические автоколебания и образование структур" (ХАОС-2019), Саратов, 2019; XVII Международная зимняя школа-семинар по радиофизике и электронике сверхвысоких частот, Саратов, 2018; XXIX и XXX Всероссийские научные конференции «Нелинейные дни в Саратове для молодых», Саратов, 2021, 2023; XIV–XVII, XIX Всероссийские конференции молодых ученых «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика», Саратов, 2019- 2022, 2024; XIX–XXI научные школы «Нелинейные волны», Нижний Новгород, 2020, 2022, 2024; V Школа для молодых учёных «Актуальные проблемы мощной вакуумной электроники СВЧ: источники и приложения», Нижний Новгород, 2023.

Результаты диссертации получены при выполнении научно-исследовательских работ, поддержанных грантами Российского научного фонда (проекты № 19-72-10119 и № 23-12-00291), а также в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы, из которых 5 статей в реферируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук или индексируемых в реферативных базах данных и системах цитирования Web

of Science и/или Scopus, 4 статьи в материалах международных конференций, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus, 14 тезисов докладов в сборниках трудов всероссийских и международных конференций:

1. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Об автомодельном характере генерации импульсов сверхизлучения в электронно-волновом генераторе обратной волны // ЖЭТФ. 2018. Т. 154, № 4 (10). С. 691–697.
2. **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M., Ginzburg N.S. Self-similar amplification and self-compression of short microwave pulses during Cherenkov-type interaction with relativistic electron beams // Phys. Plasmas. 2020. Vol. 27, № 5. P. 053108.
3. Sergeev A.S., Yurovskiy L.A., Ginzburg N.S., Zotova I.V., Zheleznov I.V., Rozental R.M., **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M. Entrainment, stopping, and transmission of microwave solitons of self-induced transparency in counter-propagating magnetized electron beam // Chaos. 2022. Vol. 32, № 5. P. 053123.
4. **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M., Zotova I.V., Ginzburg N.S. Modulation instability of an electromagnetic wave interacting with a counterpropagating electron beam under condition of cyclotron resonance absorption // Phys. Rev. E. 2022. Vol. 106, № 1. P. 014214.
5. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Исследование характера модуляционной неустойчивости при циклотронном резонансном взаимодействии излучения со встречным прямолинейным пучком электронов // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2023. Т. 31, №5. С. 597-609.
6. **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M., Ginzburg N.S. Self-similar analysis of short pulse amplification and generation in Cherenkov-type devices // 2019 International Vacuum Electronics Conference (IVEC). Busan, South Korea, April 28–May 1, 2019. P. 1-2.
7. **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M., Ginzburg N.S., Zotova I.V., Fedotov A.E., Zheleznov I.V. Formation of microwave soliton trains due to modulation instability under cyclotron resonance interaction of an initially rectilinear electron beam with a backward electromagnetic wave // 2021 22nd International Vacuum Electronics Conference (IVEC). 27-30 April 2021. P. 1-2.
8. **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M. Interaction of an electromagnetic wave with a counter-propagating electron beam under the condition of cyclotron resonance absorption: nonlinear periodic waves, modulation instability, and generation of solitons // 2022 23rd International Vacuum Electronics Conference (IVEC). 25-29 April 2022. Monterey CA, USA. P. 292-293.
9. **Rostuntsova A.A.**, Ryskin N.M. 3-D Particle-in-Cell Simulation of an Electromagnetic Wave Cyclotron Resonance Interaction with a Counterpropagating Electron Beam // 2024 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE'2024). Materials of the International Scientific and Technical Conference. Saratov State Technical University, September 26-27, 2024. Saratov, Russia. P. 29-32.
10. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Об автомодельном характере генерации коротких импульсов в лампе обратной волны // Материалы XVII международной зимней школы-семинара по радиофизике и электронике сверхвысоких частот. 05-10 февраля 2018 г. Саратов. С. 97.

11. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Автомодельные режимы усиления и генерации коротких импульсов электронными потоками // Материалы XII Международной школы-конференции «Хаотические автоколебания и образование структур» (ХАОС-2019), 1–6 октября 2019, Саратов. Саратов: ООО «Издательский центр «Наука». С. 42.
12. **Ростунцова А.А.** Автомодельные режимы усиления и компрессии коротких импульсов в приборах черенковского типа // «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: сборник трудов XIV Всерос. конф. молодых ученых. Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2019. С. 210-211.
13. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Анализ автомодельных процессов усиления и генерации импульсов в приборах черенковского типа // Нелинейные волны – 2020. XIX научная школа. 29 февраля – 6 марта 2020 года, Нижний Новгород. Тезисы докладов. Ниж. Новгород: ИПФ РАН. С. 206-207.
14. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Исследование модуляционной неустойчивости при циклотронном резонансном взаимодействии излучения со встречным электронным пучком // «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: тез. докл. XV Всерос. конф. молодых ученых. Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2020. С. 216-217.
15. **Rostuntsova A.A.**, Ginzburg N.S., Ryskin N.M. Self-similar character of short pulse amplification and generation by rectilinear electron beams // 2020 IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS). 6-10 Dec. 2020.
16. **Rostuntsova A.A.**, Ginzburg N.S., Zotova I.V., Fedotov A.E., Rozental R.M., Zheleznov I.V., Zaslavsky V.Yu., Ryskin N.M. Formation of microwave solitons trains due to modulation instability under cyclotron resonance interaction of initially rectilinear electron beam with backward electromagnetic wave // 2020 IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS). 6-10 Dec. 2020.
17. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Формирование солитонов самоиндуцированной прозрачности в потоке циклотронных электронов-осцилляторов при возбуждении непрерывным сигналом // В сб. Нелинейные дни в Саратове для молодых. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2021. Вып. 29: Материалы XXIX Всероссийской научной конференции, 26–29 апреля 2021. С. 86-87.
18. **Ростунцова А.А.**, Рыскин Н.М. Модуляционная неустойчивость и формирование солитонов самоиндуцированной прозрачности в потоке циклотронных электронов осцилляторов при возбуждении непрерывным сигналом // «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: тез. докл. XVI Всерос. конф. молодых ученых. Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2021. С. 155-156.
19. **Ростунцова А.А.**, Торгашов Р.А., Рыскин Н.М. 3D PIC моделирование распространения электромагнитной волны при взаимодействии со встречным прямолинейным потоком электронов в условиях циклотронного резонанса // «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Докл. XVII Всерос. конф. молодых ученых. Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2022. С. 165-166.

20. **Ростунцова А.А., Рыскин Н.М.** Взаимодействие электромагнитной волны со встречным пучком электронов в условиях циклотронного резонанса: нелинейные волны, модуляционная неустойчивость и генерация солитонов // Нелинейные волны–2022. XX Научная школа. Тезисы докладов. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 7–13 ноября 2022 г. С. 218-219.
21. **Ростунцова А.А.** Исследование характера модуляционной неустойчивости при циклотронном резонансном взаимодействии излучения со встречным прямолинейным пучком электронов // Нелинейные дни в Саратове для молодых: сборник научных трудов. Саратов: Изд-во СГУ, 2023. 162 с. Вып. 17: материалы XXX Всероссийской научной конференции, 15–19 мая 2023, Саратов. С. 73-74.
22. **Ростунцова А.А., Рыскин Н.М.** Генерация солитонных частотных гребенок в процессе нелинейного циклотронно-резонансного взаимодействия электромагнитной волны со встречным потоком электронов // Нелинейные волны–2024. XXI Научная школа. Тезисы докладов. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 5–11 ноября 2024 г. С. 205-206.
23. **Ростунцова А.А.** Автомодельный характер генерации импульсов сверхизлучения в лазерах на свободных электронах с электромагнитной накачкой // «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: Докл. XIX Всерос. конф. молодых ученых. Саратов: Изд-во «Техно-Декор», 2024. С. 99-100.

Общая оценка диссертации. Диссертация Ростунцовой Алёны Александровны «Нелинейные волновые процессы при усилении и генерации ультракоротких импульсов в системах типа электронный поток – электромагнитная волна» представляет собой целостное, законченное исследование, заключающееся в решении актуальных задач современной радиофизики по выявлению фундаментальных закономерностей усиления и генерации мощных импульсов микроволнового излучения при взаимодействии с электронными потоками. Материалы диссертации полностью отражены в научных работах, опубликованных автором. Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылок на авторов, а также материалов совместных работ без ссылок на соавторов. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация Ростунцовой Алёны Александровны «Нелинейные волновые процессы при усилении и генерации ультракоротких импульсов в системах типа электронный поток – электромагнитная волна» рекомендуется к защите на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А.

Котельникова РАН института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Присутствовало на заседании 15 человек, из них 5 докторов наук, 10 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – нет, воздержались – нет (протокол № 5 от 22 апреля 2025 г.).

Председательствующий:

Доцент кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

к.ф.-м.н., доцент



Исаева Ольга Борисовна

