

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Санкт-Петербургский

государственный университет

С. В. Микушев

В. В. Степанов 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Ракитиной Марии Александровны «Роль преплазмы мишени в задачах аномального поглощения излучения и лазерного ускорения частиц», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертация посвящена исследованию преплазмы мишеней в задачах лазерного термоядерного синтеза и лазерного ускорения заряженных частиц, с акцентом на аномальные механизмы поглощения излучения и оптимизацию параметров преплазмы для эффективного ускорения электронов и протонов. Работа выполнена на современном уровне лазерно-плазменной физики.

Актуальность темы обоснована через связь процессов в плазменной короне (преплазме) с эффективностью получения энергии от мишени в настоящих и будущих установках для Лазерного Термоядерного Синтеза (ЛТС), а также с задачами современных компактных лазерно-плазменных источников ускоренных частиц, где высок практический потенциал в контексте поиска эффективных механизмов ускорения.

Диссертация состоит из введения, двух оригинальных глав и заключения, общим объёмом 106 страниц, включает 42 рисунка и 119 наименований литературы, что соответствует требованиям к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.19 «Лазерная физика». По материалам работы опубликовано 10 статей в рецензируемых журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также сделаны доклады на российских и международных конференциях, что свидетельствует о высокой степени апробации полученных результатов.

Во введении приведён обзор современного состояния исследований по теме диссертации, обоснована актуальность работы, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая ценность. Указаны данные об апробации результатов, а также сформулированы цель, задачи работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе исследуется ионно-звуковая неустойчивость обратного тока в плазме ЛТС и её роль в аномальном поглощении лазерного излучения. Автором получены условия возникновения этой неустойчивости для плазмы с одним и двумя сортами ионов и проведён анализ поглощения холодными электронами в области существования неустойчивости. Выполнено сравнение результатов для плазмы двух сортов ионов с

приближенными выражениями упрощённых моделей «среднего» и «эффективного» иона, что позволяет количественно оценить корректность этих приближений.

Во второй главе проведено гидродинамическое моделирование разлёта мишени под действием наносекундного пред-импульса и последующее кинетическое моделирование ускорения частиц из мишеней с преплазмой. Показано, что за счёт подбора параметров пред-импульса можно формировать оптимальные профили плотности преплазмы, повышающие эффективность ускорения электронов при лазерных миллиджоульных релятивистских интенсивностях, а также протонов для параметров будущей установки XCELS и других лазеров с энергией в несколько джоулей. Важным достоинством является сопоставление расчётных спектров протонов с имеющимися экспериментальными данными, демонстрирующее физическую достоверность используемых моделей.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Практическая значимость работы связана с возможностью использования полученных результатов при оптимизации параметров пред-импульса и мишеней для лазеров (милли)джоульного уровня. Полученные результаты могут служить основой для рекомендаций по выбору материалов мишени, её толщины и временной структуры лазерного импульса.

Результаты диссертации могут быть использованы при планировании и анализе результатов экспериментов научных центрах с мощными лазерными установками, например, во ВНИИТФ (г. Снежинск), ВНИИЭФ (г. Саров), СПбГУ (г. Санкт-Петербург), МГУ (г. Москва), НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва) и ИПФ РАН (г. Нижний Новгород).

Методический аппарат исследования включает аналитические расчёты, гидродинамическое моделирование и кинетические расчёты ускорения частиц, выполненные с использованием современных и апробированных численных кодов.

Отметим некоторые замечания и комментарии к данной работе:

1. Возбуждение Ионно-Звуковой Неустойчивости, которая рассматривается как положительный фактор для увеличения поглощения лазерного излучения, может также сопровождаться значительным ВРМБ, что приведет к потерям лазерной энергии. Как можно обойти этот момент в рассматриваемых условиях ЛТС?
2. В параграфе 2.3 справедливо отмечено, что «В случае использования в качестве мишени тонких фольг, существует оптимальная толщина мишени, при которой энергия протонов максимальна.... Это отвечает теоретическому скейлингу $I_{op}/\lambda=0.5a_0n_c/n_e$ », однако следовало бы сослаться на публикации предшественников в этом вопросе, смотри, например, пионерскую работу: PRL **101**, 155002 (2008), а также цикл: PHYSICS OF PLASMAS **16**, 013103 (2009); **17**, 123111 (2010) и т. д.
3. Работа с относительно невысоким контрастом лазерного импульса безусловно является упрощением лазерной установки, однако разработанные методы улучшения контраста (например, «двойное плазменное зеркало») позволили достичь рекордных значений максимальных энергий протонов (100 МэВ) в настоящее время.

Несмотря на замечания, диссертация М. А. Ракитиной представляет собой полноценную научно-квалификационную работу, в которой решены значимые задачи лазерной физики, касающиеся роли преплазмы в процессах поглощения лазерного излучения и ускорения заряженных частиц и полностью удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Ракитина Мария Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры общей физики- 1 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Андреевым Александром Алексеевичем.

Доклад по диссертации заслушан, отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры общей физики-1 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» «_7_» апреля 2026 г. протокол № 44/12/6-02-2

Заведующий кафедрой общей физики - 1 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
профессор, доктор физико-математических наук

И.Ч. Машек

Профессор кафедры общей физики - 1 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,
доктор физико-математических наук

А.А. Андреев

Подписи заверяю: *И.Ч. Машек, А.А. Андреев*

И.о. начальника
отдела кадров № 3
И.И. Константинова

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9.

Телефон (812) 328-97-01, e-mail: spbu@spbu.ru

Список основных публикаций работников ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по теме диссертации Ракитиной М.А. «Роль преплазмы мишени в задачах аномального поглощения излучения и лазерного ускорения частиц» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. Zs. Lécz, R. Polanek, A. Andreev, A. Sharma, D. Papp, N. Hafz and C. Kamperidis, "Hybrid acceleration of compact ion bunches by few-cycle laser pulses in gas jets of two atomic species" *Phys. Rev. Research*, 5, 023169 (2023)
2. Z. Lécz, A. Andreev, D. Papp, C. Kamperidis, N.A.M. Hafz, "Three-stage laser wakefield accelerator scheme for sub-Joule few-cycle laser pulses" *Plasma Phys. and Control. Fusion* 65, 105001 (2023)
3. А.А. Андреев, Л.А. Литвинов, К.Ю. Платонов "Влияние лазерного предимпульса на генерацию сверхсильных магнитных полей в кластерной плазме" *Оптика и Спектроскопия*, 131,1694 (2023)
4. А.А. Андреев, Л.А. Литвинов, К.Ю. Платонов "Влияние движения ионов на генерацию и времена жизни магнитных полей в кластерной плазме при облучении интенсивными циркулярно-поляризованными лазерными импульсами" *Квантовая электроника*, 53, 695 (2023)
5. А.А. Андреев, К.Ю. Платонов «Характеристики гармоник генерируемых при наклонном падении релятивистского лазерного пучка на неоднородную плазму» *Оптика и Спектроскопия*, 132, 946 (2024)
6. I. A. Aleksandrov and A. A. Andreev "Positron production in laser plasma for measuring super-high laser intensities" *Phys. Rev. A*, 110,013111 (2024)
7. А.А. Андреев, Л.А. Литвинов, К.Ю. Платонов "Увеличение выхода ядерных реакций в кластерных мишенях, облучаемых циркулярно-поляризованными, короткими и интенсивными лазерными импульсами" *Квантовая электроника*, 54,137 (2024)
8. А.А. Andreev, K. Yu. Platonov, Zs. Lecz, "Ion motion in strongly magnetized cluster laser plasma" *Plasma Phys. and Control. Fusion*, 66,125012 (2024)
9. А.А. Андреев, Л.А. Литвинов, К.Ю. Платонов «Нелинейное рассеяние короткого интенсивного лазерного импульса протяженными мишенями субмикронного размера» *Оптика и Спектроскопия* 132, 1280 (2024)
10. А.А. Андреев, Л.А. Литвинов, К.Ю. Платонов, «Генерация сильных магнитных полей в цилиндрических оболочечных мишенях интенсивным циркулярно-поляризованным лазерным импульсом» *Квантовая электроника*, 54, 472 (2024)

11. А.А. Андреев, К.Ю. Платонов, М.А. Седов "Рассеяние релятивистского лазерного импульса плотной плазмой малого размера" Квантовая электроника 54, 717 (2024)
12. А.А. Андреев, Л.А. Литвинов, К.Ю. Платонов, «Генерация сверхсильных магнитных полей интенсивным циркулярнополяризованным лазерным импульсом в наноструктурированных мишенях» ЖЭТФ, 167, 172 (2025)
13. А. А. Андреев, К.Ю. Платонов «Генерация коротковолновых аттоимпульсов в лазерной плазме и их усиление при помощи ЛСЭ» Квантовая электроника, 55, №3, 163 (2025)
14. I.A. Aleksandrov, A.A. Andreev "Breit-Wheeler pair production in circularly polarized laser pulses seeded by a noble gas: Magnetic field effects" Phys. Rev. A 112, 043122 (2025)
15. А.А. Андреев, К.Ю. Платонов "Усиление аттоимпульсов генерируемых релятивистскими лазерными пучками в неоднородной плотной плазме" Квантовая электроника 55, 739 (2025)