

Отзыв официального оппонента

кандидата физико-математических наук, Коржиманова Артема Владимировича о диссертации 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.

Работа выполнена в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН под руководством д.ф.-м.н. А.В. Брантова и посвящена теоретическому и численному исследованию преплазмы мишени в контексте лазерного термоядерного синтеза (ЛТС) и лазерно-плазменного ускорения электронов и ионов. **Актуальность** темы определяется тем, что именно свойствами преплазмы во многом определяются как эффективность сжатия термоядерных мишеней, так и параметры лазерно-ускоренных пучков частиц.

Диссертационная работа состоит из введения, включающего обзор литературы, двух оригинальных глав и заключения. Полный объем работы составляет 106 страниц с 42 рисунками. Список литературы содержит 119 наименований.

Во **введении** сформулирована актуальность, научная новизна, цель и задачи работы, приведён обзор современного состояния исследований по теме диссертации, указаны данные об апробации и публикациях, отражающих основные результаты работы. Приведены положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность работы и указан личный вклад автора.

Первая глава посвящена исследованию роли ионно-звуковой неустойчивости обратного тока в поглощении лазерного излучения в плазме ЛТС. Глава логически разделена на две части: для плазмы с одним сортом ионов (раздел 1.1) и с двумя сортами ионов (раздел 1.2). Автором в разделе 1.1 получено аналитическое условие возникновения ионно-звуковой неустойчивости в углеродной плазме и корректно учтен вклад неустойчивости в поглощение излучения на мишени. В разделе 1.2 автор на основе точного численного решения дисперсионного уравнения показывает, что упрощенные модели (среднего и эффективного иона) не позволяют корректно описать инкременты нарастания неустойчивости. Вывод о возможности раскачки медленной звуковой ветви в изотермической плазме является важным теоретическим результатом.

Вторая глава посвящена моделированию преплазмы для задач лазерного ускорения частиц. Она разделена на три части и начинается с гидродинамических расчетов разлета мишени под действием наносекундного предимпульса (раздел 2.1). Автор обосновывает выбор широкодиапазонного уравнения состояния QEOS, сравнивает его с моделью идеальной плазмы и показывает важность учета холодной компоненты для корректного описания сдвига мишени, а также важность учета трехмерного разлета плазмы, сравнивая расчеты в цилиндрической и одномерной геометриях. Далее следуют расчеты методом частиц в ячейках процессов ускорения электронов (раздел 2.2) и протонов (раздел 2.3). Особый интерес представляет раздел 2.3, в котором результаты моделирования сопоставляются с экспериментальными данными, полученными на лазерной установке в РФЯЦ-ВНИИТФ. Показано, что учет преплазмы и оптимальный выбор точки фокусировки позволяют объяснить наблюдаемое в эксперименте увеличение энергии протонов. Также в разделе 2.3 показано, что для ультратонких фольг с толщиной до 1 мкм использование высококонтрастного лазерного импульса позволяет повысить максимальную энергию протонов только для мишеней оптимальной толщины, в то время как для неоптимальных толщин более выгодным оказывается наличие предимпульса.

Заключение содержит четкую формулировку основных результатов работы, которые полностью соответствуют поставленным задачам.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается: использованием фундаментальных уравнений и апробированных численных методов; тщательным обоснованием выбора моделей и согласием результатов моделирования с экспериментальными данными (публикация [A9]).

Практическая значимость заключается в том, что результаты работы могут быть использованы при планировании экспериментов и интерпретации экспериментальных данных. Полученные количественные зависимости (градиентные длины преплазмы от плотности энергии, максимальной энергии протонов от сдвига фокуса и т.д.) могут служить ориентирами при постановке новых экспериментов.

Стоит отметить **новизну** работы: в работе впервые показана возможность возбуждения неустойчивости в изотермической плазме за счет медленной звуковой ветви. Этот результат выходит за рамки классических представлений,

развитых для односортовой плазмы, и имеет значение для прямой схемы облучения лазерного термоядерного синтеза с пластиковыми абляторами. Также предложено уточнение формулы для порогового значения градиента температуры с учетом ион-ионных столкновений. Новым результатом является и установление зависимости эффективности ускорения протонов от положения точки фокусировки основного импульса относительно профиля преплазмы, что имеет значение для повышения эффективности лазерного ускорения частиц.

Тем не менее, по диссертационной работе имеются замечания:

1. В работе никак не обсуждается применимость двухтемпературной гидродинамики для исследуемых процессов. Диссертант достаточно подробно исследует уравнения теплопереноса, подчёркивая, что «в моделировании крайне важен правильный выбор теплового потока», и в том числе используя его нелокальную модель, однако никак не обсуждает возможность радиационного переноса и пренебрежение тепловым излучением плазмы. В то же время известно, что для задач ЛТС зачастую требуется применение трёхтемпературной модели.
2. В разделе 2.3.2 (на с. 86) делается утверждение, что «подобные энергии протонов (порядка 10 МэВ) получались ранее на похожих лазерных установках (с энергией порядка 2 Дж) только с использованием ультратонких фольг». На мой взгляд, данное утверждение является слишком сильным. Так, в работе [Soloviev et al. Sci. Rep. 7, 12144 (2017)] были экспериментально получены протоны с энергиями порядка 10—15 МэВ импульсами с энергией 2,5 Дж в алюминиевых мишенях толщиной 10 мкм (см. рис. 7). Эта работа так же, как и работа диссертанта, связывает такие высокие энергии с ролью преплазмы.
3. В целом, стоит отметить, что в диссертационной работе не хватает более полного сравнения полученных результатов с другими теоретическими и экспериментальными работами. Хотя отдельные ссылки приведены, их число могло бы быть значительно большим, а сравнение с результатами других работ более обстоятельным. Например, роли предимпульса и преплазмы в ускорении частиц посвящены такие известные работы, как [Kaluzza et al. Phys. Rev. Lett. 93, 045003 (2004); Yogo et al. Phys. Rev. E 77, 016401 (2008); Esirkepov et al. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A 745, 150 (2014); Batani et al. New J. Phys. 12, 045018 (2010)] и др.

4. Местами автором используются не совсем точные формулировки. Так, в разделе 2.1.2 (с. 54) отмечается, что «В случае одномерных расчетов градиент плотности низкоплотной плазмы оказывается значительно завышенным по сравнению с расчетами в цилиндрической геометрии», но далее говорится, что «плазменная корона для одномерных расчетов оказывается сильно вытянутой, с пологим градиентом плотности». Эти фразы выглядят противоречащими друг другу, так как «пологий градиент», как правило, ассоциируется с меньшим значением градиента.
5. Другой пример не совсем точной формулировки встречается в названии разделов 2.2.1 и 2.2.2. Эти названия отличаются только тем, что в разделе 2.2.1 идёт речь об импульсе «миллиджоульного уровня», а в разделе 2.2.2 – об импульсе «релятивистской интенсивности». При этом внимательное чтение разделов показывает, что импульсы, исследуемые в разделе 2.2.1, также имеют релятивистскую интенсивность.
6. В разделе 2.3.2 в основном обсуждаются результаты численного моделирования методом частиц в ячейках, при этом упоминается, что «распределение плотности преплазмы» для этих расчётов было получено из «гидродинамических расчетов». Параметры этих расчетов, однако, не приведены. В частности, непонятно, были ли использованы модельные параметры предимпульса или же расчёты были проведены для профиля предимпульса, приведённого на рис. 2.22.

Указанные замечания, однако, не затрагивают фактическую ценность проведенной работы, не ставят под сомнение основные результаты и положения, выносимые на защиту, и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Полученные результаты докладывались на многих международных конференциях, а также опубликованы в 10 статьях научных журналов, входящих в перечень ВАК и индексируемых в Web of Science и Scopus.

Выполненная М.А. Ракитиной диссертационная работа является завершённым научно-квалификационным исследованием, в котором решены актуальные задачи лазерной физики, связанные с влиянием преплазмы на поглощение лазерного излучения и ускорение заряженных частиц. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Содержание автореферата полностью соответствует основным результатам и выводам работы.

Диссертация Ракитиной М.А. «Роль преплазмы мишени в задачах аномального поглощения излучения и лазерного ускорения частиц» соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации (№ 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Ракитина Мария Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
заместитель заведующего по научной работе
отдела сверхбыстрых процессов
Института прикладной физики РАН,

Коржиманов Артем Владимирович

Дата: 24 апреля 2026 г.

603951, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Тел. +7 (831) 416-46-15, эл. почта: artem.korzhimanov@ipfran.ru

Подпись кандидата физ.-мат. наук, заместителя заведующего по научной работе отдела сверхбыстрых процессов, Коржиманова А.В. заверяю:

Учёный секретарь ФИЦ ИПФ РАН

Корюкин И. В.

Список основных работ официального оппонента кандидата физико-математических наук Коржиманова А.В. по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Е.А. Хазанов, А.А. Шайкин, И.Ю. Костюков, В.Н. Гинзбург, И.Б. Мухин, И.В. Яковлев, А.А. Соловьев, И.И. Кузнецов, С.Ю. Миронов, А.В. Коржиманов, Д.Н. Буланов, И.А. Шайкин, А.А. Кочетков, А.А. Кузьмин, М.А. Мартьянов, В.В. Ложкарев, М.В. Стародубцев, А.Г. Литвак, А.М. Сергеев, XCELS–Международный центр исследований экстремальных световых полей //Квантовая электроника. – 2023. – Т. 53. – №. 2. – С. 95-122.
2. Коржиманов А. В., Сладков А. Д., Голубев С. В., Достижение давления более 1 Гбар в мишенях твердотельной плотности при торможении лазерно-ускоренных ионов //Квантовая электроника. – 2023. – Т. 53. – №. 4. – С. 302-306.
3. Sladkov A. D., Korzhimanov A. V., Effect of a femtosecond-scale temporal structure of a laser driver on generation of betatron radiation by wakefield accelerated electrons //Photonics. – MDPI, 2023. – Т. 10. – №. 2. – С. 108.
4. Mikheysev N. A., Korzhimanov A. V., Generation of synchronized x-rays and mid-infrared pulses by Doppler-shifting of relativistically intense radiation from near-critical-density plasmas //Matter and Radiation at Extremes. – 2023. – Т. 8. – №. 2.
5. Mikheysev N. A., Korzhimanov A. V., Efficient Doppler-Effect-Induced Generation of Mid-IR Radiation upon Reflection of Intense Laser Pulses from a Near-Critical Density Plasma //Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2023. – Т. 50. – №. Suppl 8. – С. S863-S868.
6. Korzhimanov A. V., Model for Proton Acceleration in Strongly Self-Magnetized Sheath Produced by Ultra-High-Intensity Sub-Picosecond Laser Pulses //Quantum Beam Science. – 2025. – Т. 9. – №. 1. – С. 4.