

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор - начальник Управления научной политики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ), профессор



Федянин А.А.

2021 г.

Отзыв ведущей организации

На диссертационную работу Мартыненко Артема Сергеевича «Сверхплотная плазма в условиях изохорического нагрева пикосекундными лазерными импульсами релятивистской интенсивности», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Диссертация Мартыненко Артема Сергеевича посвящена экспериментальному изучению свойств плазмы твердотельной и околотвердотельной плотности, изохорически нагреваемой в схемах прямого и непрямого воздействия лазерных импульсов. Актуальность темы диссертационной работы, связанной с исследованием экстремальных состояний вещества, формируемого в условиях воздействия на твердотельные мишени пикосекундных лазерных импульсов субпетаваттной мощности и высокого временного контраста и соответствующей необходимостью развития диагностических методов и подходов, не вызывает сомнений.

Оценка актуальности работы

Глубокое понимание поведения вещества в экстремальных условиях, а именно при высоких значениях давления и температуры, требуется как для описания большинства астрофизических явлений, так и для решения практических задач, стоящих перед научным сообществом, таких как создание лазерноиндуцированных источников частиц и мощного рентгеновского

излучения, а также осуществление инерциального термоядерного синтеза (сюда же можно отнести, т.н. быстрое и ударное зажигание термоядерного топлива). В связи с этим изучение свойств, развитие методов получения и диагностики вещества, создаваемого в лабораторных условиях при изохорическом нагреве вещества сверхкороткими лазерными импульсами высокой интенсивности не вызывает сомнений.

Анализ содержания работы

Диссертационная работа Мартыненко А.С. состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 197 источников.

Во введении формулируются цели и задачи работы, её актуальность; даётся характеристика научной новизны, значимости, достоверности; сформулированы основные положения, выносимые на защиту; описана структура диссертации.

В первой главе обсуждаются особенности лабораторного получения горячей плазмы околотвердотельной плотности на лазерных установках субпетаваттной мощности, а также даётся характеристика экспериментальных установок, на которых проводилось исследование. Описывается разработанный в рамках работы рентгеноспектральный метод определения параметров плазмы и оценки момента времени образования преплазмы, основанный на анализе профилей линий Lu -альфа с сателлитами. Разработанный метод имеет большой потенциал применения при характеристике взаимодействия коротких лазерных импульсов (пико- и фемтосекундной длительности) с плотной плазмой.

Во второй главе описывается разработанный подход, позволяющий оценить параметры свободно разлетающейся плазмы по её интегральным по времени рентгеновским эмиссионным спектрам в предположении адиабатического разлёта. Иными словами, учитывается как остывание, так и разлёт мишени. Анализируются профили характеристических линий Lu -бета и He -бета. Подход актуален при анализе рентгеновских спектров многозарядных ионов плазмы.

Третья глава посвящена изохорическому нагреву плотной пикосекундной релятивистской лазерной плазмы при прямом воздействии лазерного излучения на твердотельные мишени, а именно тонкие фольги. Демонстрируется, что использование мишеней с пластиковым покрытием на поверхности при облучении их высококонтрастными лазерными импульсами (высокий контраст был достигнут за счёт применения ОРСРА и плазменного зеркала) способно обеспечить условия нагрева, близкие к изохорическим. Достижение высокой плотности, позволило исследовать эффект понижения потенциала ионизации за счёт анализа особенностей рентгеновских спектров плазмы различных плотностей. Помимо того, была проанализирована возможность использования

лазерной плазмы в качестве эффективного (и достаточно яркого) источника рентгеновского излучения для абсорбционной спектральной диагностики.

В четвертой главе рассматривается непрямой изохорический нагрев плазмы потоком горячих электронов, ускоренных в поле пикосекундных релятивистских лазерных импульсов. В качестве мишеней использовались проводящие проволочки, то есть мишени с ограниченной массой – такая конфигурация позволила обеспечить пространственное разделение области, прогреваемой лазерным импульсом, и области, прогреваемой только горячими электронами. Рентгеноспектральные методы позволили получить температурные профили плотной плазмы вдоль оси проволочки вглубь мишени (по измерению за пространственными изменениями профиля линии К-альфа). Примечательно, что впервые подобная конфигурация исследовалась с одновременным применением теневой радиографии. Это дало возможность охарактеризовать состояние плотной горячей плазмы в момент излучения линий К-альфа, как твердотельное.

В конце диссертации приведено **Заключение**, в котором перечислены основные результаты диссертационной работы.

Новизна и достоверность полученных результатов. Апробация и публикации

В данной работе автором с высокой точностью было определено положение границы рекомбинационного континуума в зависимости от плотности кремниевой плазмы при варьировании её плотности вплоть до околотвердотельных значений. При этом наблюдалось пропадание эмиссионных рентгеновских спектральных линий, соответствующих исчезновению уровней с главным квантовым числом $n \geq 4$ в гелиеподобных ионах кремния.

Автором было впервые охарактеризовано т.н. плотное нагретое вещество, получаемое при прохождении потока быстрых лазерно-ускоренных электронов через пространственно-ограниченные протяжённые мишени, с одновременным применением эмиссионных рентгеноспектральных и абсорбционных рентгенографических методов. То есть впервые было проведено одновременное восстановление температурного профиля разогретого плотного вещества и описание динамики разлёта подобной мишени.

Автор продемонстрировал, что пластиковые мишенные обкладки позволяют повысить плотность получаемой лазерной плазмы в том числе для случая устравысокого лазерного контраста, достигаемого за счёт одновременного использования ОРСПА и плазменного зеркала.

Автором был предложен и разработан метод оценки момента образования преплазмы, основанный на анализе рентгеноспектральных эмиссионных спектров

лазерной плазмы, получаемой при облучении мишеней ультракороткими лазерными импульсами. В своей работе автор также сообщает об разработке и апробации метода восстановления параметров адиабатически разлетающейся плазмы в момент взаимодействия основного лазерного импульса с мишенью по её интегральным по времени эмиссионным рентгеновским спектрам.

Автором обработан большой объем экспериментальных данных, полученных на различных экспериментальных установках при помощи большого числа диагностических методик, при этом, наблюдаемая корреляция данных, и подробное сопоставление экспериментов и соответствующих атомно-кинетических расчётов позволяют не сомневаться в достоверности и новизне представленных результатов.

Достоверность полученных данных подтверждается сопоставлением экспериментальных данных с модельными, полученными на основе общепринятых атомно-кинетических численных кодов.

Основные результаты диссертации опубликованы в 13-ти публикациях (9 из которых опубликованы в журналах, включенных в системы цитирования Web of Science и Scopus), а также докладывались лично на 12-ти всероссийских и международных конференциях

Научная и практическая значимость полученных результатов

Полученные данные имеют важное значение для создания и оптимизации яркого импульсного источника жёсткого рентгеновского излучения на основе лазерной плазмы, который может быть полезным для абсорбционной спектральной диагностики плотной горячей плазмы в контексте фундаментальных исследований в лабораторной астрофизике, физике высоких плотностей энергии и физике плазмы и УТС. Была выполнена экспериментальная верификация существующих теоретических моделей, описывающих изменения атомной структуры веществ при высоких плотностях и температурах (эффект понижения потенциала ионизации). Полученные экспериментальные данные о параметрах твердотельных мишеней, прогреваемых потоком горячих электронов, могут быть использованы для верификации численных моделей, описывающих динамику и структуру возникающих электронных токов, механизмы прогрева вещества. Также, разработанные рентгеноспектральные методы характеризации пьедестала лазерного импульса и параметров плазмы в момент прихода основного лазерного импульса важны для экспериментов на современных лазерных установках. Предложенные в работе методы и полученные результаты могут быть использованы в целом ряде организаций, осуществляющих исследования по физике плазмы, таких как МГУ им. Ломоносова, РФЯЦ ВНИИЭФ, РФЯЦ

ВНИИТФ, ФГУП ЦНИИмаш, ИПФ РАН, НИЯУ МИФИ и др. для рентгеновской диагностики и исследования свойств плазмы.

Личный вклад автора

Как следует из диссертационной работы, все выносимые на защиту положения и результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Оценка работы

Представленная к защите диссертация Мартыненко А.С. является завершенным научным исследованием, содержащим решение задач, имеющих важное научное и практическое значение.

Диссертация состоит из введения, четырех оригинальных глав и заключения. Содержит 122 страницы печатного текста, включающего в себя список литературы, состоящий из 197 наименований. Диссертация написана понятным, легко читаемым языком и хорошо структурирована. Вся цитируемая информация снабжена соответствующими ссылками. Представленное исследование оставляет хорошее впечатление, поскольку обладает внутренней логикой и завершенностью. Тема диссертации соответствует специальности 01.04.08 – Физика плазмы. Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание работы. Цель работы непосредственно связана с поставленными задачами, которые последовательно решаются в каждой из глав диссертации. Основные результаты и выводы, сформулированные соискателем в виде защищаемых положений, соответствуют поставленным задачам и в полной мере опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных научных изданиях, и представлены на престижных международных конференциях.

Замечания по работе

1. В большей части разделов диссертации при изложении выполненных экспериментов отсутствует описание экспериментальных схем и используемых рентгеновских спектрометров (в частности – такого важного параметра, как спектральное разрешение). Это существенно затрудняет оценку достоверности полученных рентгеноспектральных данных.
2. В Главе 1 автором описана оригинальная методика оценки временного контраста и даже длительности предимпульса. Как представляется, оценивается все-таки лишь факт, взаимодействует ли фронт

- интенсивного лазерного импульса с разлетевшейся плазмой (вследствие наличия предимпульсов разного рода), либо с почти неповрежденной мишенью. Оценка длительности основывается на достаточно грубой модели разлета. В любом случае такая оценка требует погрешности. В этом смысле защищаемое положение об определении момента плазмообразования не вполне корректно.
3. В работе в целом не приведено обсуждение механизмов уширения спектральных линий в плотной плазме, зависимости роли того или иного механизма уширения от ее параметров. Необходимо обосновать используемые модели. Кроме того, существенная часть результатов получена при сравнении с моделированием различными спектральными пакетами. Описание этих пакетов и обоснование возможности их использования для моделирования в экспериментальных условиях, соответствующих проведенным измерениям, в работе отсутствует.
 4. В Главе 2 автором обсуждается возможность восстановления условий в плазме в момент ее формирования по интегральным по времени измерениям. Здесь также возникает ряд вопросов. Во-первых, для расчетов взята простая адиабатическая модель. Как минимум, необходимо было бы для начала сравнить расчеты разлета по этой модели с численным моделированием «реального» разлета. Во-вторых, автор разбивает процесс разлета на 6 стадий. Почему именно 6? Насколько сходящейся является используемая процедура? Это все следовало описать в работе.
 5. В Главе 3 речь идет об интересном эффекте понижения потенциала ионизации в плотной плазме. Обсуждается применимость нескольких моделей такого эффекта. Вместе с тем хотелось бы в тексте увидеть описание этих моделей, их физической сущности, а не только названия.
 6. В тексте присутствует ряд спорных утверждений. Например, в начале раздела 3.1.2. можно прочитать, что «Отражение от кристаллического слоя с номером m происходит в соответствии с условием Вульфа-Брегга: ...». Вроде бы величина m – это порядок дифракции, а не номер слоя??? На стр. 75 говорится об обратнo-тормозном поглощении релятивистских?? электронов. Традиционно этот механизм поглощения рассматривается для малых интенсивностей лазерного излучения. Вместе с тем известный релятивистский механизм $J \times B$ не отмечен.
 7. В тексте присутствуют довольно многочисленные орфографические, грамматические и стилистические ошибки и опечатки. Так, например, слово «предимпульс» зачастую пишется через «и», но иногда – через «ы». Большинство рисунков имеют надписи на английском языке.

8. Представленные результаты получены на больших установках, а их обработка – достаточно сложный и трудоемкий процесс. Поэтому хотелось бы в тексте работы видеть четкие указания на вклад соискателя – что именно им сделано по эксперименту, что – по обработке и моделированию в каждом конкретном эксперименте.

Сделанные замечания почти не затрагивают защищаемых положений и не оказывают заметного влияния на общую положительную оценку работы, которая выполнена на высоком профессиональном уровне.

Заключение



Диссертационная работа Мартыненко А.С. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней» № 842 от 24.09.2013г. (ред. 01.10.2018г.), а ее автор Мартыненко Артем Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Доклад по теме диссертации заслушан на заседании научного семинара кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова 22 апреля 2021 г.

Отзыв подготовил профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова).

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Физический факультет; +7(495) 939-53-18, www.msu.ru, abst@physics.msu.ru; доктор физико-математических наук (научная специальность – 01.04.21 – Лазерная физика) Савельев-Трофимов Андрей Борисович.

Зав.кафедрой
общей физики и волновых процессов
профессор


Савельев-Трофимов А.Б.

В.А.Макаров
" _ " _____ 2021 г.

Физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Почтовый адрес: ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Физический факультет, г. Москва, 119991

Телефон: +7 495 939-16-82,

e-mail: info@physics.msu.ru