

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **Иванова Константина Анатольевича «Роль предимпульса в формировании быстрого электронного компонента при фокусировке субгерцоваттного фемтосекундного лазерного излучения на поверхность жидких и твердых мишеней»**

Актуальность выбранного направления

Диссертационная работа Иванова К.А. посвящена изучению одной из фундаментальных проблем, возникающих при исследовании плазмы, создаваемой сверхкоротким лазерным импульсом высокой интенсивности на поверхности вещества, а именно влиянию предимпульсов, опережающих основной импульс на различных временах, на формирование горячего электронного компонента плазмы. При работе с современными лазерными системами, пиковая мощность которых растёт с каждым днём, вопрос контраста (наличия предимпульсов) стоит особенно остро. Наличие предимпульсов достаточно высокой интенсивности (сравнимой с порогом пробоя вещества) существенным образом влияет на механизмы ускорения заряженных частиц в плазме, на коэффициент поглощения лазерного излучения плазмой, на структуру поверхности мишени в целом к моменту прихода основного импульса. При этом конечный эффект может быть разным в зависимости от условий взаимодействия лазерного излучения с веществом. В особенности, эти обстоятельства проявляются при исследовании взаимодействия лазерного излучения с интенсивностью, близкой к релятивистской (около 10^{18} Вт/см²), где свою роль в генерации горячего электронного компонента может играть целый ряд механизмов, характерных как для области умеренной интенсивности (до 10^{17} Вт/см²), так и для более высокой плотности потока энергии. Поэтому задача, в рамках которой соискателем проведено исследование, безусловно, актуальна.

В работе рассмотрен целый ряд аспектов, связанных с указанной проблемой: влияние формы и амплитуды предимпульсов (контраст на пико- и наносекундном масштабах времени, уровень усиленной спонтанной люминесценции ASE), типа используемой мишени (жидкой/твердотельной, с различным порогом пробоя). К достоинствам работы следует отнести тот факт, что исследование проведено в достаточно широком диапазоне интенсивности лазерного излучения (от 10^{16} до 10^{18} Вт/см²).

Краткое содержание диссертации

Во введении обосновывается актуальность исследований в рамках диссертационной работы, ставятся цели работы, сформулированы научная новизна и практическая ценность представленной работы.

Первая глава работы носит обзорный характер. Автором рассмотрены основные механизмы ускорения электронов лазерным полем в плазме по мере роста интенсивности излучения от умеренной до релятивистской. Проведён обзор полученных ранее экспериментальных результатов исследования влияния преплазмы, формируемой предимпульсами, на ускорение частиц в различных диапазонах интенсивности. Показано также, что использование специально приготовленных мишеней с микромодифицированной поверхностью может привести к росту энергии быстрых электронов. В первой главе обозначены основные аспекты, требующие более детального изучения, которые легли в основу экспериментальных глав диссертационной работы.

Во второй главе приводится описание методики исследования плазмы – измерения рентгеновских спектров плазмы сцинтилляционным детектором NaI в режиме счёта квантов. Автором создана методика экспериментального измерения спектра и численного восстановления параметров плазмы с учётом искажений, появляющихся вследствие особенностей работы рентгеновского детектора.

Третья глава работы содержит в себе данные исследования плазмы, формируемой лазерным импульсом умеренной интенсивности на модифицированной под действием короткого предимпульса поверхности мишени из расплавленного галлия. Обнаружено, что в определённом диапазоне интенсивности предимпульса, опережающего основной на 12 нс, происходит формирование на поверхности плотных струй микронного масштаба, при взаимодействии с которыми основного импульса наблюдается значительное повышение энергии горячих электронов и выхода жесткого рентгеновского излучения. Показано, что эффект может быть связан с возрастанием электростатического поля на остриях струй.

В четвертой главе показано, что наличие протяжённого преплазменного слоя с плотностью близкой к критической, формируемого над поверхностью металлических мишеней высоким уровнем усиленной спонтанной люминесценции ASE лазерного импульса, имеющего пиковую интенсивность около 10^{18} Вт/см², приводит к появлению в плазме горячего электронного компонента с аномально высокой энергией (до нескольких сотен кэВ), отсутствующего в случае низкого уровня ASE, когда граница мишени к моменту прихода основного импульса остаётся резкой. Обнаружено, что при увеличении длительности лазерного импульса с 45 до 350 фс в случае протяжённого преплазменного слоя наблюдается существенный рост энергии заряженных частиц (вплоть до 1 МэВ), что, по мнению автора, может быть связано с появлением в плазме нового компонента горячих электронов.

В заключении приводятся основные результаты и выводы.

Научная новизна диссертации

В работе получен ряд новых результатов, к основным из которых следует отнести следующие:

1. Продемонстрировано, что воздействие двух последовательных импульсов с интенсивностями около 10^{15} и 5×10^{16} Вт/см², отстоящих друг от друга на несколько наносекунд, на мишень из расплавленного металла приводит к значительному росту средней энергии горячих электронов (с 20 до 75 кэВ) и существенному увеличению почти на два порядка выхода жёсткого рентгеновского излучения из плазмы по сравнению с случаем воздействия одного импульса с интенсивностью 5×10^{16} Вт/см².

2. Обнаружено, что при увеличении длительности лазерного импульса с 45 до 350 фс с сохранением его энергии (интенсивность около 10^{18} Вт/см² при длительности 45 фс) наблюдается значительное возрастание средней энергии горячих электронов (от нескольких сотен кэВ до МэВ) при взаимодействии лазерного излучения с протяженным преплазменным слоем, образующимся под действием усиленной спонтанной люминесценции (ASE, относительный уровень около 10^{-5}) на поверхности твердотельных металлических мишеней. Подобного эффекта не наблюдается при использовании импульса с уровнем ASE около 10^{-8} , а также для мишени с высоким порогом пробоя (плавленого кварца), когда пространственный масштаб преплазменного оказывается значительно меньше.

Обоснованность и достоверность научных результатов

Сравнение работы программного кода, разработанного в рамках методики измерения и численного восстановления рентгеновских спектров плазмы для исследования параметров лазерной плазмы, с широко распространенным программным пакетом GEANT показало хорошее совпадение, что позволяет судить о высокой степени точности полученных экспериментальных результатов.

Достоверность результатов также определяется тем, что экспериментальные данные диагностики плазмы, изложенные в работе, были подтверждены данными численного моделирования лазерно-плазменного взаимодействия с помощью PIC кода, проведённого учёными из Физического института им. П.Н. Лебедева РАН для аналогичных экспериментальных условий.

Научная и практическая значимость работы

Результаты работы могут найти применение при исследовании лазерно-плазменного взаимодействия, физики плазмы, а также для решения целого ряда прикладных и фундаментальных задач:

1. Оригинальная численная методика обработки и восстановления рентгеновских спектров плазмы, измеренных в режиме счёта квантов с помощью сцинтилляционных

детекторов на кристалле NaI, позволяет оценить искажения формы спектров плазмы при их регистрации и получить оценки на среднюю энергию быстрых электронов в плазме.

2. Предложенный способ повышения выхода жёсткого рентгеновского излучения из плазмы за счёт микроструктурирования поверхности мишени из расплавленного металла путём введения предимпульса, опережающего основной на несколько наносекунд, может найти широкое применение при создании стабильных рентгеновских источников высокой эффективности, способных работать на большой частоте следования лазерных импульсов.

3. Гамма кванты с энергией до нескольких МэВ, генерируемые в плазме, создаваемой на поверхности металлических мишеней с протяжённым преплазменным слоем лазерным импульсом субрелятивистской интенсивности, могут быть использованы при исследовании ядерных процессов, иницировании низкопороговых реакций и других задачах.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении исследований в следующих научных организациях: МГУ им. М.В. Ломоносова, Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Объединённый институт высоких температур РАН, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Институт прикладной физики и других организациях.

Публикации по теме диссертации

Основные результаты работы опубликованы в пяти рецензируемых журналах (Квантовая Электроника, Физика Плазмы, Physics of Plasmas, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Contributions to Plasma Physics) из списка ВАК России и включенных в международные системы цитирования, а также были представлены как непосредственно самим автором, так и при его соавторстве на отечественных и зарубежных конференциях. Всего по теме диссертации опубликовано 18 научных работ.

В целом, диссертационная работа К.А. Иванова свидетельствует о высокой квалификации автора в области лазерной физики. Тем не менее к работе можно предъявить **ряд замечаний:**

1. Автором отмечается, что наблюдаемые эффекты роста средней энергии частиц, возникающие при варьировании преплазменного слоя на поверхности твердотельных мишеней предимпульсами лазерного импульса, могут быть связаны с возросшим коэффициентом поглощения плазмы. Измерений последнего не проводилось, хотя подобные исследования помогли бы более детально понять механизм генерации быстрых частиц.

2. В четвертой главе работы подробные исследования влияния формы преплазмы и интенсивности лазерного излучения на ускорение электронов приведены для мишени из железа, в то время как результаты для мишеней из плавленого кварца и свинца получены лишь в определённых условиях. Учитывая то, что согласно данным оптической диагностики размер и форма облака преплазмы существенным образом зависят от типа мишени, необходимо проведение измерений в различных условиях для всех трёх мишеней.

3. Учитывая сложности измерения с помощью сцинтилляционных детекторов квантов с энергией свыше 2 МэВ, наблюдавшихся в экспериментах с длинным импульсом, необходимо привлечение дополнительных методик количественных оценок параметров плазмы, таких как, например, иницирование низкопороговых фотоядерных реакций.

Общая оценка работы

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общий высокий уровень диссертационной работы. В диссертации представлено решение актуальной научной задачи по исследованию влияния предимпульсов лазерного импульса на ускорение электронов в плазме в широком диапазоне параметров. Полученные результаты могут найти применение в целом ряде задач, среди которых создание стабильных лазерно-плазменных источников, исследование ядерных процессов и другие. Диссертация написана грамотным научным языком и хорошо оформлена. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Считаю, что диссертация и автореферат соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Иванов К.А. заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании подсекции № 4 секции № 1 НТС ФГУП ЦНИИмаш (протокол № 15 от 23.05.13).

Официальный оппонент:

**Заместитель начальника отдела ФГУП ЦНИИмаш
доктор физико-математических наук**

 **А. П. Матафонов**

Подпись А.П. Матафоновна удостоверяю.

**Главный учёный секретарь
ФГУП ЦНИИмаш
доктор технических наук**



Б.В. Бодин