«УТВЕРЖДАЮ»
ДИРЕКТОР
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук
академик И.А. ЩЕРБАКОВ
«23» мая 2013 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу К.А. Иванова на тему «Роль предымпульса в формировании быстрого электронного компонента при фокусировке субтераваттного фемтосекундного лазерного излучения на поверхность жидких и твердых мишеней», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

Тематика диссертационной работы соискателя связана с динамично развивающейся областью исследования плазмы, образующейся при взаимодействии сверхкоротких лазерных импульсов высокой интенсивности (около 10^{18} Вт/см^2) с веществом. В связи с широким распространением компактных лазерных систем субтераваттной мощности и выше, способных генерировать импульсы с высокой частотой повторения, подобная плазма представляет большой интерес как источник релятивистских заряженных частиц и рентгеновского излучения в широком диапазоне энергий квантов, находящий широкое применение в целом ряде прикладных и фундаментальных задач. Основной проблемой, поднимаемой Ивановым К.А. в своей работе, является влияние контраста, то есть предымпульсов, неизбежно появляющихся в импульсных лазерных системах высокой интенсивности и опережающих основной сверхкороткий импульс на различных временах, на формирование плазмы. В современных исследованиях отмечается, что плазма, формируемая фронтом основного импульса или предымпульсами, её размер и температура критически сказываются на поглощении в ней основного импульса (в особенности в области интенсивности импульсов, близкой к релятивистскому порогу, около 10^{18} Вт/см^2), на развитии различных эффектов ускорения заряженных частиц и т.д., поэтому актуальность выбранного направления не вызывает сомнения.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Во введении диссертантом дан обзор литературы по теме работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цели исследований и защищаемые положения.

В первой главе работы рассмотрен вопрос о генерации горячего электронного компонента в плазме, формируемой на поверхности вещества под воздействием мощного сверхкороткого лазерного импульса при различных условиях взаимодействия. Приводится обзор основных механизмов ускорения электронов по мере роста интенсивности лазерного излучения от умеренной (10^{16} Вт/см^2) до релятивистской (свыше 10^{18} Вт/см^2). Обсуждается влияние различных факторов (структуры поверхности мишени и контраста лазерного импульса) на процесс набора электронами энергии. Показано, что, варьируя размер преплазменного слоя, формируемого предымпульсами, можно существенно увеличить поглощение энергии лазерного импульса плазмой, что, в конечном итоге, повышает энергию частиц.

Вторая глава посвящена рентгеновской методике диагностики лазерной плазмы. Автором разработана оригинальная методика оценки параметров плазмы, включающая в себя экспериментальное измерение спектра жёсткого рентгеновского излучения плазмы наиболее распространёнными сцинтилляционными детекторами на кристалле NaI и численное восстановление исходного спектра плазмы методом Монте-Карло с учётом физических процессов взаимодействия рентгеновских квантов с веществом, приводящих к искажениям формы измеряемого спектра относительно исходного спектра плазмы. Методика позволяет восстановить форму исходного спектра плазмы по измеренному и получить оценки на средние энергии горячих электронных компонентов плазмы.

В третьей главе представлены результаты экспериментов по исследованию взаимодействия лазерного импульса с интенсивностью $5x10^{16}$ Вт/см^2 с поверхностью расплавленного металла (галлия). Автором показано, что введение предымпульса, имеющего интенсивность около 40^{-1} от основного импульса приводит существенному росту средней энергии быстрых электронов в плазме по сравнению с случаем без предымпульса (с 20 до 75 кэВ) и увеличению выхода жёсткого рентгеновского излучения почти на два порядка при тех же условиях. Оптическая диагностика облака плазмы, поднимаемого предымпульсом, выявила формирование микроструктур в виде тонких струй, при взаимодействии с которыми основного импульса, согласно данным численного моделирования, происходят эффекты усиления локального поля, приводящие к появлению электронов с аномально высокой энергией.

В четвёртой главе показано, что существенную роль в генерации быстрых частиц играет преплазменный слой, образующийся под воздействием усиленной спонтанной

люминесценции импульса на поверхности твердотельных металлических мишеней. Высокий уровень усиленной спонтанной люминесценции ASE лазерного импульса с интенсивностью около 10^{18} Вт/см^2 приводит к появлению в плазме быстрых электронов с средней энергией до нескольких сотен кэВ, отсутствующих в случае низкого уровня ASE, когда граница мишени к моменту прихода основного импульса остаётся резкой. Увеличение длительности лазерного импульса с 45 до 350 фс в случае формирования преплазмы высоким уровнем ASE лазерного импульса приводит к существенному росту энергии заряженных частиц (до 1 МэВ), что может быть связано с появлением в плазме нового горячего электронного компонента.

В заключении автором приводятся основные результаты и выводы работы.

Замечания и недостатки диссертационной работы:

1) сравнение работы разработанной программы расчёта взаимодействия рентгеновских квантов с веществом с кодом GEANT проведено лишь для одного конкретного случая (источника Cs-137). Необходимо провести анализ работы оригинального кода в более широком диапазоне энергий (до нескольких МэВ).

2) основным методом оценки параметров плазмы является измерение спектров жёсткого рентгеновского излучения. Использование других методик (более широкое применение ионной диагностики плазмы, непосредственное измерение электронов, летящих из мишени) позволило бы получить больше информации о механизмах ускорения заряженных частиц в плазме.

3) остается неясным вопрос о том, какую долю от всех электронов составляют электроны, входящие в состав самой высокоэнергетичной компоненты.

Отмеченные недостатки не понижают общий высокий научный уровень работы К.А. Иванова и носят рекомендательный характер. Диссертация представляет собой цельную работу, в рамках которой рассмотрен целый ряд вопросов, связанных с влиянием формы и амплитуды предымпульсов (контраста на пико- и наносекундном масштабах времени, уровня усиленной спонтанной люминесценции), типа мишени на формирование горячих электронов в плазме в широком диапазоне интенсивности лазерного излучения (от 10^{16} до 10^{18} Вт/см^2). Автору удалось получить ряд результатов, которые имеют важное научное значение и встают в один ряд с результатами ведущих мировых лабораторий по данной тематике. В России подобных исследований почти нет. Предложенный способ повышения выхода жёсткого рентгеновского излучения из плазмы за счёт микроструктурирования поверхности мишени из расплавленного металла путём введения предымпульса может найти широкое применение при создании стабильных рентгеновских источников высокой эффективности. Генерируемые гамма-кванты с энергией свыше 4 МэВ в плазме,

создаваемой на поверхности металлических мишеней лазерным импульсом субрелятивистской интенсивности с высоким уровнем усиленной спонтанной люминесценции, могут быть использованы при исследовании ядерных процессов, получении пучков электронов, ионов и нейтронов с помощью компактных лазерных систем субтераваттной мощности. Высокий уровень научных публикаций, в которых представлены результаты работы, не вызывает сомнения в их достоверности.

Результаты, полученные в диссертации, могут найти применение в Институте общей физики имени А.М. Прохорова РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, Троицком институте инновационных и термоядерных исследований, Центральном научно-исследовательском институте машиностроения, Институте прикладной физики РАН, Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН, Институте ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Институте спектроскопии РАН, Институте ядерных исследований РАН, Московском инженерно-физическом институте, Санкт-Петербургском государственном университете, Объединённом институте высоких температур, Государственном оптическом институте имени С.И. Вавилова и других организациях.

Основные результаты работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, а также представлены на ряде отечественных и международных конференций. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Представленная диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор К.А. Иванов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Отзыв составил: доктор физ.-мат. наук, профессор В.В. Коробкин.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

Заведующий Отделом когерентной и нелинейной оптики
Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН
доктор физ.-мат. наук, профессор В.В. Коробкин