

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Иванова Константина Анатольевича на тему «Роль предимпульса в формировании быстрого электронного компонента при фокусировке субтерраваттного фемтосекундного лазерного излучения на поверхность жидких и твердых мишеней», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Интенсивное развитие фемтосекундной лазерной техники привело к созданию лазеров с длительностью импульса порядка нескольких оптических колебаний и обеспечивающих при фокусировке плотность потока излучения на мишень в диапазоне от 10^{16} до 10^{23} Вт/см². Создаваемая при этом воздействию плазма имеет неравновесное распределение электронов по энергии. Кроме теплового компонента в лазерной плазме происходит генерация потоков быстрых электронов с энергиями от 0.1 до 10 МэВ, которые при взаимодействии с мишенью создают ультракороткий импульс жесткого рентгеновского и гамма излучения. Такие лазерно-плазменные источники рентгеновского излучения используются при создании компактных ускорителей сверхкороткого рентгеновского излучения для задач медицины, инициирования ядерных реакций, развития новых методов диагностики плазмы. В связи с перспективами применения таких источников актуальным является исследование условий оптимизации и эффективности преобразования энергии лазерного излучения в жесткое рентгеновское излучение. Данная актуальная экспериментальная задача решалась в представленной диссертационной работе. В работе исследована роль лазерного предимпульса фемто- и пикосекундной длительности на характер взаимодействия лазерного излучения с мишенью. Исследованы также эффекты влияния материала мишени, длительности лазерного импульса и плотности потока сфокусированного излучения на генерацию высокоэнергетичной электронной компоненты лазерной плазмы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, в двух из которых представлены оригинальные экспериментальные результаты, и заключения.

В первой главе работы приведён обзор механизмов лазерного ускорения электронов в плазме в зависимости от плотности потока лазерного излучения на мишень и параметров плазменного слоя, формируемого предимпульсом лазерного импульса. Показано, что

размер и плотность предплазменного слоя, формируемого фронтом импульса или специально создаваемым предимпульсом, существенно влияют на поглощение энергии лазерного излучения, что приводит к увеличению средней энергии и количества быстрых электронов в плазме. Помимо теоретических основ механизмов ускорения, автором также описаны результаты экспериментальных исследований других научных групп по данной тематике.

Во второй главе работы приводится описание метода оценки средней энергии быстрых электронов на основе измерения спектров жесткого рентгеновского излучения плазмы в режиме счёта квантов сцинтилляционным детектором. Рассмотрены основные эффекты, приводящие к потере энергии жесткими квантами в объеме сцинтиллятора, а также разработаны схемы рентгеновских коллиматоров, не приводящих к искажению регистрируемого спектра при ослаблении потока рентгеновских квантов на детектор. Автором создана оригинальная численная методика восстановления исходных спектров с учётом их искажения при измерении сцинтилляционными детекторами на основе кристалла NaI.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по взаимодействию лазерного излучения с поверхностью мишени в жидкой фазе. Показано, что путём введения короткого фемтосекундного предимпульса, опережающего на несколько наносекунд основной импульс с интенсивностью около 10^{16} Вт/см², можно повысить энергию быстрых электронов в плазме в несколько раз (с 20 до 80 кэВ). Подобный эффект объясняется образованием под действием предимпульса микроструктур в виде плотных струй на поверхности мишени из расплавленного галлия, при взаимодействии с которыми основного лазерного импульса наблюдается, согласно данным численного моделирования, возрастание на них локального электрического поля.

В четвертой главе содержатся экспериментальные результаты исследования плазмы, создаваемой на поверхности твердотельных мишеней с различным порогом пробоя лазерным импульсом с интенсивностью около 10^{18} Вт/см² с варьируемым контрастом. Обнаружено, что в протяженном слое плазмы, формируемым над поверхностью металлических мишеней под воздействием лазерного импульса с высоким уровнем усиленной спонтанной люминесценции, может происходить возбуждение плазменных волн, приводящих к появлению электронного компонента с энергией в сотни кэВ. Увеличение длительности лазерного импульса с 40 до 350 фс сопровождается появлением в плазме металлических мишеней электронного компонента с энергией до 1 МэВ. Подобного эффекта не наблюдается для мишени из плавленого кварца, а также в случае импульса с низким уровнем усиленной спонтанной люминесценции, когда протяженный

плазменный слой не образуется. Наблюдаемый эффект связывается со стохастическим механизмом передачи энергии лазерного излучения электронам.

В заключении сформулированы выводы и приведены основные результаты работы.

По результатам представленной работы необходимо сделать несколько замечаний:

- 1) Экспериментально не определен эффективный размер источника жесткого рентгеновского излучения, возникающего при взаимодействия быстрых электронов с мишенью;
- 2) Во второй главе приведена зависимость сечения комптоновского рассеяния от угла рассеяния, хотя фактически автор правильно использует дифференциальное сечение рассеяния при Комптон эффекте;
- 3) Экспериментально измеренный отклик сцинтилляционного детектора на излучение линии Cs-137 по уровню пьедестала существенно расходиться с расчетным откликом, что связывается с влиянием на измерения фона космического излучения. Учитывая, что данное сравнение экспериментальной кривой отклика детектора на монохроматическое излучение с результатами расчета имеет большое методическое значение, отсутствует обсуждение постановки измерений, при которой возможно исключить фон космического излучения;
- 4) Спектр жесткого рентгеновского излучения зависит не только от энергии быстрых электронов и угла падения на мишень, но и от углового распределения быстрых электронов по отношению к поверхности мишени. В диссертации отсутствует обсуждения этого обстоятельства.

Отмеченные недостатки не являются критическими и не сказываются на общем высоком научном уровне диссертационной работы.

Основные результаты работы опубликованы в ведущих зарубежных и российских научных журналах, а также доложены на отечественных и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Представленная диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам. К.А. Иванов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Старший научный сотрудник
ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
кандидат физико-математических наук

Г. С. Волков

Подпись Г.С. Волкова удостоверяю
Ученый секретарь ФГУП «ГНЦ РФ Троицки»
кандидат физико-математических наук

А.А. ЕЖОВ

