

ОТЗЫВ

Члена диссертационного совета

на диссертацию Седова Максим Владимировича на тему:

“Моделирование характеристического рентгеновского излучения фемтосекундной лазерной плазмы”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

В исследованиях по физике взаимодействия интенсивных лазерных импульсов с веществом и ее приложениям важное место занимают исследования по вторичному электромагнитному излучению, к которым относится диссертация М. В. Седова, посвященная моделированию рентгеновского излучения из фемтосекундной лазерной плазмы. Такое генерируемое рентгеновское излучение обладает рядом преимуществ по сравнению с получаемым традиционными методами, прежде всего, такими как короткая длительность и малый размер источника. Это обуславливает высокое временное (суб-пикосекундное) и пространственное (мульти-микронное) рентгеновское разрешение, что можно использовать для изучения как быстротекущих процессов в веществе, так и его структуру на микро-масштабах.

Моделирование генерации рентгеновского излучения предполагает полное понимание и умение описывать взаимодействие интенсивных коротких лазерных импульсов с веществом, включая ионизацию, процессы поглощения лазерного света, механизмы генерации и распространение горячих электронов в мишени. В связи с этим, содержание диссертации выглядит логически оправданным, охватывая описание процессов лазерно-плазменного взаимодействия, его моделирование, моделирование генерации определенных линий рентгеновского излучения, верификацию развитой модели по экспериментальным результатам и оптимизацию лазерно-плазменного источника характеристического рентгеновского излучения, с позиций получения максимальных значений коэффициента конверсии лазерного света в K- α линию и соответствующей яркости.

Среди выше отмеченного я бы выделил ряд интересных результатов. Так, при определенных сведениях о распределениях плотности и температуры плазмы развитая модель позволяет проводить простые и сравнительно точные оценки длительности рекомбинационного рентгеновского излучения (Ne α и Lu α линии) и соответствующего распределения светимости по объему плазмы. Это может быть использовано, например, в рентгенографии и фотолитографии. С другой стороны, построенная в диссертации модель излучения плазмы позволяет дать оценку параметров плазмы (температуры и плотности) по относительной светимости и ширине линий с помощью данных из эксперимента.

Отмечу также, что построенный алгоритм гибридного моделирования позволяет рассчитывать K- α излучение от тонких фольг. Это отличается от предшествующих работ, посвященных подобному моделированию, поскольку их результаты фактически применимы только к достаточно толстым мишеням и фольге на подложке и не учитывали эффект рециркуляции лазерно-ускоренных электронов. В данной работе

09/2-56 от 24.01.2020

расчет К- α излучения тонких фольг реализован двумя способами, когда расчет числа ионизаций К-оболочки включается непосредственно в РС («частица-в-ячейке») моделирование или при расчете прохождения горячих электронов сквозь мишень методом Монте-Карло. Оба этих подхода имеют свои недостатки. Используемый РС расчет одномерный, т.е. не учитывает расплывание электронного пятна в мишени, а Монте-Карло расчет хотя и трехмерен, но в нем воздействие ионов на отражение электронов от электростатического барьера учтено не самосогласованно (как в РС расчете), а посредством полуэмпирической оценки влияния амбиполярного поля на энергию электронов. В диссертационной работе показано, что проведение расчетов обоими способами с их последующим сравнением позволяет получить достаточно аккуратную оценку К- α излучения от тонкой фольги.

Для рентгенографии с экстремально высоким временным разрешением требуются рентгеновские импульсы минимальной длительности, одновременно с очень высокой яркостью. Результаты диссертации по лазерно-плазменному источнику характеристического рентгеновского К- α излучения позволяют оценить его конкурентоспособность для этой цели. Приведенный в диссертационной работе алгоритм гибридного моделирования позволяет моделировать временной профиль К- α излучения и может быть использован для подбора параметров мишени и лазерного излучения, которые приводили бы к максимально возможному короткому рентгеновскому импульсу (вплоть до 50-100 фс) при достижимых параметрах яркости и коэффициенте конверсии.

Диссертация М. В. Седова выглядит как новое, добротное, достоверное и завершенное исследование, в котором решены важные задачи, имеющие существенное значение для лазерно-плазменной физики генерации вторичного излучения под действием коротких лазерных импульсов. Результаты диссертации обоснованы. Вместе с тем, диссертация не лишена и некоторых недостатков: 1) Используемый подход к учету в методе Монте-Карло рециркуляции электронов при отражении от электростатического барьера с помощью вводимой критической энергии, E_{max} , стоило бы проверить на качественное соответствие самосогласованному подходу, хотя бы в простейших модельных задачах. 2) Диссертация только выиграла бы от сравнения средней по времени яркости оптимизированного лазерного К- α рентгеновского источника для практически достижимой частоты повторения импульсов с яркостью, достигаемой в традиционных, стационарных, широко используемых источниках.

Разработанные в диссертации алгоритмы и программы моделирования излучения лазерной плазмы были протестированы и откалиброваны по экспериментальным измерениям. Результаты работы также прошли апробацию на международных конференциях. Основные результаты исследований, представленные в диссертации, опубликованы в пяти статьях. Диссертация является оригинальным научным исследованием, а ее результаты и предложенные методы актуальны для применения в дальнейших исследованиях по взаимодействию интенсивных лазерных импульсов с веществом.

Диссертация Седова Максима Владимировича на тему: "Моделирование характеристического рентгеновского излучения фемтосекундной лазерной плазмы "

соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 “О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете”, а соискатель Седов Максим Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета.

Доктор физико-математических наук, профессор,

Главный научный сотрудник ФИАН

В.Ю. Быченков
23 января 2020г.

Подпись В.Ю. Быченкова заверяю:

Ученый секретарь ФИАН

А. В. Колобов

