

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Седова Максима 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.

Тема диссертационной работы М. В. Седова, безусловно, является **актуальной**. Источники сверхкоротких лазерных импульсов представляют большой интерес как с научной точки зрения, так и как новый инструмент для получения лазерной плазмы, обладающей уникальными характеристиками. В частности, в такой плазме возникают горячие электроны, ответственные за генерацию рентгеновского излучения, появление протонов и многозарядных ионов. Это в свою очередь дает возможность создания источников рентгеновского излучения, обладающих высокой яркостью излучения, контрастностью, короткой длительностью импульса, компактностью.

Сложность теоретического описания взаимодействия лазерного излучения с веществом мишени и возникающей при этом плазмы приводит к необходимости разработки методов численного моделирования, наиболее полным из которых является прямое численное решение уравнений Максвелла-Власова для шестимерного фазового пространства, что требует огромных вычислительных ресурсов. Выходом в создавшейся ситуации может быть учет того, что процессы в лазерной плазме могут рассматриваться как протекающие в разных пространственно-временных масштабах. Этот факт определил направление данного исследования, основанного на разработке поэтапного алгоритма гибридного моделирования, и цель работы – исследование зависимости характеристик лазер-плазменного источника рентгеновского излучения от параметров лазерного излучения и мишени и оптимизация параметров источника рентгеновского излучения.

В диссертации получены следующие результаты, обладающие несомненной **новизной**.

1. Разработан комплекс моделирующих программ для расчета взаимодействия сверхкороткого интенсивного (до 10^{20} Вт/см²) лазерного излучения с твердой мишенью и генерации характеристического рентгеновского излучения.

2. Построена аналитическая модель поглощения Р-поляризованного лазерного излучения на основе решения уравнения Гельмгольца в приближении малых столкновений и малого масштаба неоднородности плазмы ($L/\lambda < 1$). Данная модель применима для оценки коэффициента лазерного поглощения при интенсивностях $\sim 10^{12}$ - 10^{15} Вт/см².

3. Построена аналитическая модель, позволяющая рассчитывать двухтемпературную функцию распределения электронов в плазме. Данная модель также учитывает влияние рельефа лицевой поверхности мишени на изменение коэффициента лазерного поглощения, и температуру горячих и холодных электронов. Это позволяет использовать её для расчета высвета в К- α линию в зависимости от структурированных мишеней.

4. Построена аналитическая модель рекомбинационного излучения плазмы в He- α и Ly- α линиях, которая может быть использована в качестве постобработки в гидродинамическом моделировании, а также для проведения быстрых оценок температуры и плотности плазмы по ширине и относительной высоте He- α и Ly- α линий в плазменном спектре.

5. С помощью гибридного моделирования, а также используя аналитическую модель для учета влияния наноструктур на поверхности мишени, проведена оптимизация лазер-плазменного источника рентгеновского излучения по увеличению коэффициента

09/2 - 60 от 28.01.2020

конверсии и яркости, а также уменьшению длительности К- α высвета. Показано, что при использовании фольги в качестве мишени коэффициент конверсии растет с ростом лазерной интенсивности. Определена зависимость максимальной толщины мишени, соответствующей 10% поглощению К- α излучения, в зависимости от атомного номера элемента.

К **достоинствам диссертации** можно отнести широкое использование современной экспериментальной техники (лазеры, сканирующие электронные микроскопы), которые расположены, в том числе, в центрах СПбГУ.

По работе имеется три **замечания**.

1. Диссертация не свободна от грамматических и орфографических ошибок, имеются неточности в подписях к рисункам (см. напр. рисунки 36, 47), оформление текста также страдает недостатками.
2. В уравнениях (81)-(85) введены три подгоночные константы C_1 , C_2 , C_3 (точнее, они введены в предыдущем уравнении (80), стр. 99). Утверждается, что они порядка единицы. Однако, на стр. 102 значения этих констант далеки от единицы: $C_1 = 250$, $C_2 = 0.25$, $C_3 = 0.3$. В связи с этим возникают два вопроса: 1) те же это константы или нет, и 2) как величины этих констант влияют на получаемые результаты.
3. Как можно понять из текста диссертации, проводились экспериментальные исследования и оптимизация лазерной плазмы. Ни в **Заключении диссертации** (приведены основные выводы), ни в начале работы, где формулируются новизна и положения, выносимые на защиту, экспериментально полученные данные не обсуждаются. С моей точки зрения, это досадное упущение, которое обедняет представленную работу.

Сделанные замечания ни в коей мере не умаляют достоинств диссертанта и диссертации, полученные результаты свидетельствуют о высоком уровне проведенных исследований и полученных результатов.

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», 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.

Председатель диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой оптики



Н.А. Тимофеев

25 января 2020 г.