

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.

Взаимодействие мощных сверхкоротких лазерных импульсов с плазмой, формирующейся на поверхности конденсированных мишеней, является в настоящее время предметом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований, направленных на изучение свойств вещества в экстремальном состоянии и создание эффективных компактных источников высокоэнергетичных – быстрых – частиц и сверхкоротких рентгеновских импульсов.

Диссертация М.В. Седова посвящена исследованию взаимодействия фемтосекундного лазерного излучения с веществом и, в частности, моделированию интенсивности нескольких характеристических линий рентгеновского спектра лазерной плазмы. Основное внимание уделено K_{α} линии. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

Во введении и первой главе формулируется постановка задачи, приведен краткий обзор теории взаимодействия сверхсильного лазерного излучения с веществом, методов, используемых в следующих главах данной работы, а также обзор предшествующих работ по данной тематике.

Во второй главе представлен метод гибридного моделирования взаимодействия лазерного излучения с мишенью: в три этапа для K_{α} линии и в два этапа для He_{α} и Ly_{α} линий. Подробно рассмотрен каждый отдельный этап моделирования. В конце главы приведены отличия предложенного метода от предшествующих работ по гибриднему моделированию.

В третьей главе приведены 4 аналитических модели, дополняющие численный расчет. Модель аналитической оценки масштаба неоднородности является обобщением существующих работ. Показано, что для контролируемого предимпульса применима изотермическая модель расширения плазмы. Затем в данной главе рассматривается столкновительная модель поглощения лазерной плазмы. Для не слишком высокой лазерной интенсивности столкновительное поглощение играет важную роль. Для нахождения коэффициента лазерного поглощения обычно решают уравнение Гельмгольца. Решение данного уравнения для плазмы с плавным градиентом плотности хорошо известно (WKB – приближение), однако для крутого градиента плотности аналитического решения не было получено. В диссертационной работе М.В.Седова представлено приближенное

аналитическое решение уравнения Гельмгольца в приближении малых столкновений. Полученное выражение для коэффициента поглощения хорошо совпало с численным решением и экспериментальными измерениями, что говорит о корректности проведенных расчетов. Модель рекомбинационного излучения плазмы в He и Ly линии основана на учете 4 переходов. Она достаточно проста, и имеет по большей части образовательную ценность – из нее наглядно видно, что для расчета интенсивности отдельной линии необходимо учитывать ограниченное количество переходов.

В четвертой главе приведена экспериментальная верификация построенного в данной работе алгоритма гибридного моделирования. Измерялась зависимость светимости K_α линии от интенсивности и угла падения лазерного излучения на мишень. Затем полученные результаты сравнивались с численным расчетом по представленному в главе 2 гибриднему моделированию с аналогичными параметрами лазера и мишени. Показано хорошее совпадение расчетов с экспериментальными измерениями.

В пятой главе проведена теоретическая оптимизация лазер-плазменного источника линейчатого рентгеновского излучения. Приведены кривые зависимости коэффициента конверсии лазерного излучения в энергию K_α линии, и оптимальной толщины мишени от лазерной интенсивности. Показано, как яркость и длительность рентгеновского высвета зависят от толщины мишени. Наглядно показано, что яркость подобного источника сравнима с яркостью синхротронного излучения от ускорителей 3го поколения.

В заключении кратко сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. На рис. 27 (стр. 76) приведено сравнение коэффициента поглощения, рассчитанного с помощью приближенного аналитического решения уравнения Гельмгольца и прямого численного расчета. Аналитическое решение заявлено в приближении малого параметра неоднородности плазмы ($L/\lambda \ll 1$). Однако на графике параметр L/λ изменяется в диапазоне 0.01~10, причем на всей этой области наблюдается хорошее согласие численного расчета и аналитического решения. Хотелось бы услышать пояснение данного факта.
2. Из рисунка рис. 48 (стр. 119) можно увидеть, что полуширина линий на полувисоте больше в случае мишени со структурированной поверхностью, по сравнению со случаем мишеней с гладкой поверхностью. В соответствии с теорией уширения Холцмарка (уравнение (87) в диссертации) ширина линий пропорциональна $N^{2/3}$. Тогда можно ожидать, что электронная плотность плазмы в случае мишени со структурированной поверхностью должна быть больше, чем в случае мишеней с гладкой поверхностью.

Однако, это противоречит данным об электронных плотностях плазмы в таблице 4 (стр. 118), где плотность $2 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$ для мишени со структурированной поверхностью в два раза меньше плотности $4 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$ для мишеней с гладкой поверхностью.

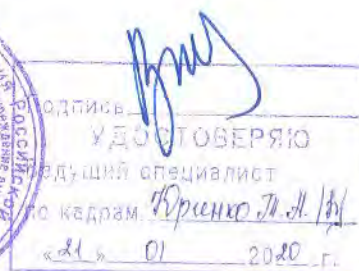
3. Достаточно большие плотности электронов плазменной мишени порядка $(2\sim 4) \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$ требуют оценок возможного самопоглощения излучения или его отсутствия, которое может быть важно для расчета заселенностей He- и H-подобных ионов мишени в возбужденных состояниях (см. например, уравнение (82) на стр. 100 для второго возбужденного уровня).
4. Работа содержит заметное количество опечаток, случаев несогласования падежей, нумерация рисунков, отсутствие некоторых используемых терминов и т.д. Ниже, несколько примеров: «ускорения» на стр. 4; «плазменных колебание» на стр. 6; «Схема моделирования приведена на Рисунок 22Рисунке 22» на стр. 63; на стр. 106 «соответствует $K\alpha_1 + K\alpha_2$ линии меди ($\approx 8.05 \text{ кэВ}$), правый - $K\beta_1 + K\beta_2$ линии ($\approx 8.9 \text{ кэВ}$).» - происхождение этих четырех линий не объясняется в диссертационной работе.

Сделанные замечания не касаются защищаемых положений и не снижают общее положительное впечатление о диссертации. Оценивая содержание работы в целом, можно сказать, что диссертация М.В. Седова представляет собой законченную научную работу на актуальную тему.

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.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский
политехнический университет

Петра Великого»
«21» января 2020 г.



В.Ю. Сергеев