

## 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.

Диссертационная работа М.В.Седова связана с разработкой моделей и программ, позволяющих рассчитать рентгеновскую светимость лазерно-плазменного источника на ярких сильных линиях К-альфа, Lu-альфа и He-альфа ионов плазмы и окружающего холодного вещества. Актуальность данной задачи определяется широкими перспективами применения такого рода источников для исследования сверхбыстрой динамики вещества, в том числе в экстремальных состояниях. Автором создан гибридный пакет программ, включающий гидродинамический код для расчета расширения плазмы под действием предимпульса, кинетический код, реализующий расчет взаимодействия интенсивного сверхкороткого лазерного импульса с плазмой методом частиц в ячейке, и код на основе метода Монте-Карло для расчета рентгеновского высвета. Созданы программные интерфейсы, обеспечивающие последовательную передачу выходных и входных данных между пакетами. Кроме того, проведена модификация и адаптация кодов к задачам работы, а также их верификация. Помимо этого, автором представлен ряд аналитических моделей, существенно упрощающих расчеты и отчасти их заменяющих. Проведенное сравнение показывает разумное согласие с имеющимися экспериментальными данными, в том числе полученными лично автором.

Положения диссертации, выносимые на защиту, хорошо отражают суть выполненных исследований, их достоверность в основном не вызывает сомнений. В целом положения сформулированы несколько непривычно, не как некоторые утверждения, защищать которые намерен автор, а как набор кратких утверждений о том, что сделано в работе. Вместе с тем новизна положений 1 и 2 не совсем очевидна, поскольку сама идея использования комплекса пакетов (гидродинамического, кинетического и вероятностного) ранее неоднократно реализована и опубликована. Автор лишь внес определенные улучшения и упрощения в такие подходы. Выводы по работе вполне обоснованы и достоверны и содержат необходимую степень научной новизны.

Вместе с тем диссертационная работа далеко не свободна от недостатков, часть из которых обсуждается ниже.

09/2-54 от 24.01.2020

1. Автор утверждает, что основным механизмом поглощения и генерации горячих электронов в рассматриваемых режимах взаимодействия является резонансное поглощение. При этом говорится о том, что для проявления обратно-тормозного поглощения необходимы более длинные импульсы. Совершенно непонятно, как связана длительность лазерного импульса и эффективность обратно-тормозного механизма? Почему речь не идет о сравнении периода лазерного поля с обратной частотой столкновений? Как получена приведенная автором оценка на частоту столкновений в несколько соударений в наносекунду? Представляется, что типичная частота столкновений несколько выше. Кроме того, при рассматриваемых градиентах электронной концентрации (порядка и больше длины волны) существенную роль могут играть параметрические процессы – вынужденное комбинационное рассеяние и двухплазменный распад. Эти процессы автор вообще не рассматривает.
2. Существенную роль в развитых автором подходах играет преплазма, формируемая предимпульсом. В этой связи также есть ряд замечаний. Во-первых, расчет ведется автором в рамках одномерной гидродинамики, что вряд ли корректно при наносекундных временах расширения плазмы и наклонном падении фемтосекундного импульса. Во-вторых, автор рассматривает предимпульс в виде одиночного короткого импульса, пренебрегая импульсом усиленной спонтанной люминесценции. Обычно именно УСИ определяет профиль преплазмы, особенно в режиме релятивистских интенсивностей основного импульса. Кроме того, из приведенного описания не ясно, как автор учитывал поляризацию предимпульса. В-третьих, автор сравнивает величину градиента преплазмы, полученную в расчетах с экспериментальными данными. Из приведенных автором результатов видно (рис.17), что экспоненциальная аппроксимация, используемая автором, плохо соответствует рассчитанному профилю. Кроме того, интерферометрические методы способны дать оценку градиента преплазмы лишь в области 0.1 от критической, а не собственно в области критической концентрации.
3. При построении аналитической модели для двухтемпературной функции распределения электронов роль преплазмы опущена. Из приведенных автором результатов аппроксимации расчетных данных аналитической формулой видно, что так называемые холодные электроны моделируются плохо, а ведь именно они дают основной вклад в генерацию К-альфа излучения (рис.30, 31).
4. В тексте работы есть путаница, связанная с терминологией «холодные» и «горячие» электроны. При обсуждении двухтемпературной функции горячими

называются электроны с очень высокой, релятивистской энергией. В последней части работы автор возвращается к более традиционной терминологии и говорит о «температуре» горячих электронов в 20 кэВ – ранее это вроде называлось «холодные». Кроме того, ряд рисунков противоречит друг другу. Например, на рис.42 «температура» горячих электронов достигает примерно 40 кэВ при 10 ПВт/см<sup>2</sup>, а на рис.51 – менее 10 кэВ при 10ПВт/см<sup>2</sup>.

5. При расчете сечение создания вакансии на К-оболочке электронами автор пользуется формулами из цитируемой им работы, однако в этой работе явно указано, что эти формулы справедливы лишь при энергиях электронов, превышающих энергию ионизации не более, чем в 20 раз (что для атома алюминия – всего 20-30 кэВ). В связи с этим справедливость расчетов при релятивистских энергиях электронов вызывает большие сомнения. Кроме того существенный вклад в генерацию К-альфа излучения могут дать вторичные процессы – ионизация генерируемым рентгеновским излучением (тормозным, рекомбинационным, комптоновским), либо вторичными электронами. Автор даже не обсуждает эти каналы ионизации. При обсуждении методов моделирования Монте-Карло автор не упоминает широко распространенный и являющийся стандартом де-факто пакет GEANT в рамках которого можно легко учесть все вторичные процессы.
6. Текст работы изобилует опечатками, погрешностями оформления, и т.п. Например, рис. 37 состоит из двух рисунков, а в подписи и в тексте работы – рисунок один, на рис.31 – по оси абсцисс – температура?? электронов и т.д. и т.п.

Несмотря на отмеченные недостатки 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

А.Б. Савельев-Трофимов



20 января 2020г.

*Александр Савельев-Трофимов*  
Верно:  
*Савельев Е.В.*

Ведущий специалист  
по кадрам