

ОТЗЫВ

официального оппонента **Гарнова Сергея Владимировича** на диссертацию **Жвания Ирины Александровны** «*Генерация жесткого рентгеновского излучения и оптических гармоник при воздействии интенсивного лазерного излучения на модифицированные твердотельные мишени и кластерные пучки*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Жвания Ирины Александровны общим объемом 144 страницы состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций по теме диссертации и списка литературы.

В **Первой главе** приведен обзор литературы по взаимодействию интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов с твердотельными мишенями, и по взаимодействию с газокластерными пучками. Рассмотрены процессы ионизации и нагрева мишени, образования высокотемпературной плазмы, генерации рентгеновского излучения и второй гармоники лазерного излучения, а также возможные причины модификации ее спектра. Отмечены особенности, которые могут возникать при лазерном воздействии на мишень при формировании микроканалов. Рассмотрены способы генерации и детектирования кластеров, а также процессы воздействия на кластеры лазерного излучения - генерация рентгеновского излучения, третьей гармоники, филаментация лазерного импульса. Обсуждается возможность создания т.н. двухэнергетического источника рентгеновского излучения с использованием ионизации двухкомпонентных кластеров.

Вторая глава посвящена исследованию взаимодействия интенсивного ($\sim 10^{16}$ Вт/см²) фемтосекундного лазерного излучения с твердотельными мишенями в режиме формирования в них микроканала. Показано, что выход рентгеновского излучения и энергия генерируемой в процессе взаимодействия второй гармоники лазерного излучения, немонотонны и достигают максимума при формировании микроканала в. Приводятся измеренные в работе характеристики генерируемого рентгеновского излучения и второй гармоники. Обсуждаются полученные спектры второй гармоники, как на поверхности, так и в канале мишени. Продемонстрировано, что в сформированном микроканале спектр второй гармоники значительно сдвигается в область коротких длин волн на величину 25 нм. Предлагается объяснение такому аномально большому сдвигу.

В **Третьей главе** обсуждаются существующие экспериментальные схемы генерации кластерных пучков и процессы взаимодействия с ними интенсивного) лазерного излучения. Приводятся результаты, полученные при лазерном воздействии на кластеры аргона, которые в следующей главе используются для сравнения с результатами, полученными для молекулярных кластеров. Демонстрируется спектр характеристического рентгеновского излучения, из которого получена оценка выхода рентгеновских фотонов и эффективности их генерации; освещаются вопросы оптимизации параметров для достижения максимальной эффективности генерации характеристической линии (оптимизация длительности, chirпирования лазерного импульса, положения его перетяжки относительно оси газокластерной струи). Обсуждаются такие сопутствующие процессы

как филаментация и генерация третьей гармоники лазерного излучения в газокластерной струе.

В **Четвертой главе** сформулировано предложение по использованию крупных кластеров многоатомных молекул для создания эффективного источника рентгеновского излучения. Сделан вывод о том, что при использовании крупных кластеров многоатомных молекул (SF_6 , CF_2Cl_2 , CF_3I , в смеси с буферным газом Ar/He), измеренная эффективность генерации характеристического рентгеновского излучения ($\sim 10^{-5}$, энергия квантов 3-5 кэВ) на порядок превышает эффективность получаемую, например, с кластерами аргона. Продemonстрировано, что амплитуда сигнала третьей гармоники из газокластерной струи антикоррелирует с выходом рентгеновского излучения и может использоваться для детектирования образования высокотемпературной плазмы. Исследуется задача генерации смешанных кластеров, состоящих из молекул (CF_2Cl_2) и атомов (буферного газа аргона). Показано, что при использовании смеси CF_2Cl_2 -Ar в рентгеновском спектре, наряду с характеристической линией хлора, появляется линия аргона, что указывает на образование смешанных кластеров.

В целом, представленная к защите диссертация выполнена на высоком, современном научном уровне. Актуальность работы не вызывает сомнения. Постановка задачи и цели работы четко сформулированы. Полученные автором результаты обоснованы, достоверны, новы и значимы для широкого круга специалистов в области лазерной физики, как в России, так и зарубежом. Текст диссертации изложен логически последовательно и ясен для понимания. Материалы проведенных в работе исследований прошли широкую и полную апробацию - неоднократно представлялись на ведущих отечественных и международных научных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых изданиях, в том числе в журналах из перечня ВАК. Все это свидетельствует о том, что соискатель - Жвания Ирина Александровна, является сформировавшимся научным работником с высокой профессиональной квалификацией.

Несмотря на положительную в целом оценку диссертационной работы, считаю необходимым отметить и некоторые ее **недостатки**.

1. При указании численных величин полученных значений автор неоднократно использует различные знаки "приблизительно равно" - $\approx$, $\sim$. Это приводит к некоторому недопониманию. Например, говоря о длительности лазерного импульса, автор пишет, что она составляет ~ 100 фс. Вообще говоря, может ли такое представление результата означать, что длительность импульса, а, следовательно, и интенсивность лазерного излучения - одного из ключевых параметров в данной работе, была определена лишь с точностью до порядка величины? Однако, приводя значения интенсивности, автор ставит перед ними знак $\approx$ - приблизительно равно. В других случаях, приведенные численные значения не всегда предваряются какими либо знаками, т.е. иногда просто указывается число без какого-либо указания возможной погрешности полученного значения. (Например, см. Научная новизна п.1.: «Эффективность генерации рентгеновского излучения возрастает с $1 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-6}$ »). Это также вызывает законное недоумение.

2. Формулируя научную новизну работы и приводя множество численных характеристик экспериментальных условий и полученных результатов, автор почему-то

долго умалчивает то, а о каком, собственно, лазере (точнее, лазерах) идет речь - какова, в частности, длина волны излучения которая со спектральным сдвигом 25нм преобразовывается во вторую гармонику? Вообще, то что в работе использовался лазер на хром-форстерите с длиной волны 1.24 мкм в первый раз говорится, например, в диссертации на стр.57, а в автореферате, лишь в Заключении(!) в п.1 на стр.17, где, кстати, приводится точное значение не только длины волны излучения $\lambda=1.24$ мкм, но и точная длительность импульса $\tau=140$ фс, а не ~ 100 фс как везде ранее. Там же, в п.4. впервые упоминается и о другом использованном в работе лазере на титан-сапфире, однако здесь длительность импульса уже предварена значком ≈ 75 фс. Такое, несколько "упрощенное" представление результатов следовало бы всячески избегать.

3. Одним из интересных и заслуживающих внимания полученных в работе результатов, является обнаруженный автором аномально большой спектральный сдвиг индуцированного излучения второй гармоники хром-форстеритового лазера. Автор подробно излагает детали проведения экспериментов и высказывает предположения о механизмах вызывающих столь существенный спектральный сдвиг. Остается, однако, не ясным вопрос, почему на рис.2.7 б спектры сигналов ограничены 580 нм, тогда как явно прослеживается рост спектральных компонент сигналов в еще более коротковолновую область? Можно ли вообще говорить здесь именно о сигнале второй гармоники, если нет аналогичных экспериментальных данных о спектральном сдвиге самого исходного взаимодействующего со средой излучения с длиной волны $\lambda=1.24$ мкм.

В заключение считаю, что представленная к защите диссертация **Жвания Ирины Александровны «Генерация жесткого рентгеновского излучения и оптических гармоник при воздействии интенсивного лазерного излучения на модифицированные твердотельные мишени и кластерные пучки»** является законченной научно-квалификационной работой и соответствует критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней ВАК. Автореферат адекватно отражает основные положения диссертации. Автор диссертации **Жвания Ирина Александровна**, несомненно, заслуживает присуждения ей искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.04.21 –лазерная физика**.

г. Москва, 29 сентября 2014 г.

Официальный оппонент,

доктор физ.-мат. наук,

заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), 119991, г.Москва, ул.Вавилова 38, т.+7 499 135 30 09, e-mail; garnov@kapella.gpi.ru



С.В. Гарнов

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Жвании Ирины Александровны
«Генерация жесткого рентгеновского излучения и оптических гармоник при
воздействии интенсивного лазерного излучения на модифицированные
твердотельные мишени и кластерные пучки»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Диссертационная работа Жвании И.А. посвящена экспериментальному исследованию радиационных процессов в плазме интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов. Исследуются процессы генерации характеристического рентгеновского излучения, филаментации и генерации третьей гармоники лазерного излучения при облучении струи кластеризующихся смешанных атомно-молекулярных газов. Изучаются особенности процесса генерации оптических гармоник и рентгеновского излучения в плазме простых твердотельных мишеней в вакууме и в воздушной среде.

На сегодняшний день развитие мощной фемтосекундной лазерной техники и относительная доступность такого оборудования открывают широкие перспективы практического использования фемтосекундной лазерной плазмы не только в области фундаментальных исследований, но и в технологиях прецизионной обработки материалов, биоинженерии, микрохирургии и др. Значительные усилия научного сообщества направлены на поиск наиболее эффективных и подходящих для радиационных технологий способов конверсии энергии лазерного излучения в потоки ионизирующего излучения. Одним из перспективных направлений в этом аспекте является использование мишеней из газовых кластеров твердотельной плотности, к преимуществам которых в частности можно отнести: - высокую эффективность поглощения лазерного излучения, - возможность обновления мишени с высокой частотой и ее низкую себестоимость, - простоту удаления использованных мишеней и продуктов взаимодействия из объема взаимодействия. В то же время, ведется поиск новых режимов использования плазмы простых твердотельных мишеней. Таким образом, можно сделать однозначный вывод об актуальности тематики рецензируемой диссертационной работы.

Несомненную новизну представляет выбор химического состава кластеризующихся газов, и в частности, использование многоатомных молекулярных газов с тяжелыми элементами (SF_6 , CF_3I , CF_2Cl_2), а также использование смеси молекулярного газа с двумя атомарными компонентами (аргон и гелий). К достоинствам работы следует также отнести тщательность в проведении и представлении результатов эксперимента, полноту выполненного литературного обзора по различным аспектам исследуемой задачи.

На взгляд оппонента, наиболее важными результатами диссертации являются:

- увеличен выход рентгеновского излучения при добавлении в смесь молекулярного и атомарного газов третьего компонента в виде атомарного газа с малым Z (гелия).

- определена зависимость эффективности генерации третьей гармоники и рентгеновского излучения от структуры филаментации лазерного пучка в газовой-кластерной среде.

- достигнута высокая, до 2×10^{-5} , эффективность конверсии лазерного излучения в рентгеновское, впервые зарегистрировано характеристическое излучение в линиях $S K_{\alpha}$, $Cl K_{\alpha}$, $Cl K_{\beta}$, $I K_{\alpha}$, $I K_{\beta}$, при облучении кластерных мишеней в смеси тяжелых молекулярных и атомарного газов.

- установлен эффект смещения спектра второй гармоники лазерного излучения при облучении простых твердотельных мишеней длинной последовательностью фемтосекундных лазерных импульсов, показано, что за счет такого режима облучения достигается рост эффективности генерации рентгеновского излучения.

В качестве основного замечания следует отметить, что в работе не представлены данные численного моделирования исследуемых процессов, подтверждающие экспериментальные результаты и выводы на их основе.

Кроме того: - в экспериментах не было обеспечено тщательной диагностики параметров мишеней в процессе взаимодействия (распределение плотности в газовой струе, профиль микроканала в твердотельной мишени); - не указано, учитывалось ли при анализе выхода рентгеновского излучения поглощение среды мишени (в особенности в экспериментах с многокомпонентной смесью газов). Наличие таких данных позволило бы однозначно подтвердить выводы, сделанные в диссертации, и повысило бы практическую ценность работы.

Результаты работы должным образом представлены диссертантом в научных публикациях и докладах, диссертант является соавтором 6 статей в авторитетных реферируемых изданиях, лично представила доклады по теме диссертации на 6 международных конференциях. Содержание автореферата соответствует положениям и выводам диссертации.

В целом, диссертация свидетельствует о высоком профессиональном уровне Жвании И.А. и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что Жвания И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Зав. лабораторией ОИВТ РАН, к.ф.-м.н.

С.А. Пикуз

Подпись Пикуза С.А. заверяю.

Ученый секретарь ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.

Р.Х. Амиров

