

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Гарматиной Алены Андреевны**

**на тему: «Генерация рентгеновских фотонов при взаимодействии
импульсно-периодического фемтосекундного лазерного излучения
ближнего ИК диапазона с твердотельной мишенью в газовой среде»
по специальности 1.3.19. Лазерная физика**

Диссертация Гарматиной Алены Андреевны «Генерация рентгеновских фотонов при взаимодействии импульсно-периодического фемтосекундного лазерного излучения ближнего ИК диапазона с твердотельной мишенью в газовой среде» посвящена изучению физики взаимодействия лазерных фемтосекундных импульсов с твердотельной мишенью. Тема работы весьма интересная, уникальная и актуальная в лазерной физике.

Особый интерес, несомненно, вызывает цель работы, которая была автором достигнута: использовать рентгеновские фотоны качестве диагностического инструмента процесса абляции мишени, а также, создать источник рентгеновского излучения для задач радиографии. Отметим, что вторая половина – демонстрация изучаемого физического принципа генерации рентгеновских фотонов в качестве источника для радиографии - встречается весьма редко в кандидатской диссертации физико-математических наук. Более того, здесь весьма существенно то, что в работе создан компактный вневакуумный источник рентгеновских фотонов в поле фемтосекундных импульсов малой энергии, тогда как традиционные рентгеновские трубки, относятся к вакуумным элементам. При этом поддув гелием увеличивает (до 50 раз) выход генерации рентгеновских квантов.

Считаю уместным вернуться на 4 декады назад, в год 1984, когда нам, впервые в МГУ, удалось здесь, в корпусе нелинейной оптики физического факультета, осуществить прорыв в фемтосекундный диапазон длительностей лазерных импульсов (С.А. Ахманов, В.А. Выслоух, Л.Х. Мурадян, С.М.

Першин, А.А. Подшивалов, Препринт физического факультета МГУ, №17/1984, М. 1984, с.4). Именно тогда С.А. Ахманов отметил, что эти импульсы обеспечат генерацию рентгеновских фотонов. Существенно, что представленная диссертация материализовала это предвидение на его кафедре в корпусе нелинейной оптики.

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав, заключения, благодарностей и списка литературы. Общий объем работы составляет 136 страниц, список литературы включает 145 ссылок. Диссертация написана хорошим литературным языком. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации и соответствует ее тексту.

Во введении работы обосновывается актуальность выбранной темы, степень разработанности, четко сформулированы цели и задачи работы, предмет исследования, научная новизна и практическая значимость, защищаемые положения, а также приведен список публикаций по теме диссертации и обсуждение работы на публичных мероприятиях. Структура введения соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Первая глава диссертации – литературный обзор по теме взаимодействия фемтосекундного взаимодействия лазерного излучения с твердотельной мишенью в газовой среде. Описаны процессы абляции и генерации рентгеновского излучения в горячей плазме. Особенное внимание уделено проблемам доставки излучения накачки к мишени в газовой среде, когда филаментация может заметно экранировать мишень. Дан анализ работам, по взаимодействию с веществом лазерных импульсов, следующих с высокой частотой повторения. Литературный обзор достаточно полно освещает работы, предшествующие проведенному в диссертации исследованию.

Вторая глава посвящена лазерной абляции и контролю этого процесса по рентгеновскому сигналу. Разрабатывается методика оценки лазерной интенсивности по рентгеновскому сигналу. Используя разработанную методику, проводится оценка интенсивности в фемтосекундном филаменте, воздействующем на медную мишень. А также делается вывод о возможности использования рентгеновского излучения для контроля перехода между слоями с различным атомным номером при создании микроканала в таком многослойном материале. В главе продемонстрирована эффективность использования сигнала рентгеновского излучения для контроля как интенсивности на мишени в условиях формирования микроканала, воздействия излучения на мишень в режиме монофиламентации. Важной особенностью данной методики является то, что при определении интенсивности учитывается возможная трансформация длительности импульса, потери энергии на ионизацию. Данная методика позволяет оценивать интенсивность в тех случаях, где прямое ее измерение затруднено, что является ее большим преимуществом.

Третья глава посвящена созданию рентгеновского вневакуумного источника пригодного для время-разрешенных измерений. Кроме уже известного подхода замены воздушной среды для снижения ионизационного влияния, изменяется длительность лазерного импульса. Таким образом, удастся достичь квазивакуумных условий воздействий, доставляя до мишени всю лазерную энергию без потерь на ионизацию среды. При этом размер пучка на поверхности практически соответствует вакуумным условиям. Таким образом, по сравнению со случаем короткого импульса, повышается энергия, которая доставляется до мишени. За счет увеличения плотности энергии увеличивается рентгеновский выход. Главным результатом главы является следующее утверждение: установлено, что при воздействии чирпированных фемтосекундных лазерных импульсов (лазер Ti:Sa) с энергией 6 мДж сфокусированных ($NA = 0.1$) на медную мишень в режиме

гелиевого поддува в зону воздействия, выход рентгеновского излучения при длительности импульса 300 возрастает в 10 раз по сравнению с использованием спектрально-ограниченных импульсов 30 фс. Он достигает $2 \cdot 10^7$ фот/импульс/2πср (или $2 \cdot 10^8$ фот/с/2πср), что является максимальным для вневакуумных условий и отвечает необходимым условиям проведения дифракционных время-разрешенных экспериментов.

Четвертая глава посвящена созданию точечного рентгеновского источника на базе волоконного высокочастотного фемтосекундного лазера. Основными результатами работы являются разработка точечного лазерно-плазменного рентгеновского источника, функционирующего на базе низкоэнергетического волоконного итербиевого фемтосекундного лазера с длительностью импульса 280 фс с выходом рентгеновского излучения $(1,5 \pm 0,5) \cdot 10^9$ фот/с в 2 π при частоте лазерных импульсов 2 МГц, средней мощности 20 Вт при энергии лазерного импульса 10 мкДж. Согласно разработанному методу контроля размера микроплазменной области по второй гармонике, размер микроплазменного пятна, ответственного за генерацию рентгеновских фотонов, составляет $8,5 \pm 1,6$ мкм.

Точечный рентгеновский источник нового поколения на базе фемтосекундного низкоэнергетического высокочастотного волоконного лазера может быть альтернативой лабораторным рентгеновским трубкам, а также рентгеновским источникам на базе милиджоульных лазеров. Показано, что такой источник позволяет проводить рентгеновские абсорбционные измерения микрообъектов, а также получать фазово-контрастные изображения биологических и иных объектов. Несомненно, такой результат работы является важным и новым.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования. Намеченные цели достигнуты, а задачи были полностью решены автором в своей работе. Был получен ряд

принципиально важных результатов, которые были доложены на конференциях. По результатам диссертации было написано более 10 работ в российских и зарубежных журналах. Автореферат соответствует теме диссертации и адекватно отражает её содержание.

Вместе с тем, диссертация не свободна от некоторых замечаний по физике изучаемых процессов взаимодействия и редакционного характера.

1- В обзоре литературы и при исследовании вневакуумного режима генерации рентгеновских фотонов не упомянут способ снижения концентрации воздуха у поверхности при двухимпульсном воздействии на мишень при атмосферном давлении, обоснованный ранее (С.М. Першин, Квантовая электроника, **16**, 2518-2520, (1989));

2- также отсутствует обсуждение возможности проявления фазового перехода металл-диэлектрик (Зельдович Я.Б., Ландау Л.Д., ЖЭТФ, **38**, 32 (1944)), который может сопровождаться волной просветления в кратере в поле лазерных импульсов (Prokhorov A.M., Batanov V.A., Bunkin F.V., and Fedorov V.B., Metal Evaporation Under Powerful Optical Radiation, IEEE J. Quantum Electron., **9**, 503 (1973));

3- оригинальный подход оценки параметров плазмы по генерации второй гармоники оставляет открытым вопрос о возможности генерации гармоники также и в сапфире;

4- некоторые защищаемые положения начинаются с деепричастного оборота и сформулированы не в форме утверждения, например, п.3- «остро фокусируя.....можно создать», но можно и не создать; в п.4 – «..может быть определён по сигналу...»

5- встречаются некоторые опечатки, например, в оглавлении диссертации главы 4 написано «...низкоэнергетичного...», а в п.4.1 – «...низкоэнергетического ..»: первое из филологии, а второе из физики.

Указанные замечания не являются принципиальными и не умаляют значимости результатов диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к кандидатским диссертациям. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19. «Лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о Совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Гарматина Алена Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

главный научный сотрудник лаборатории «Лазерной спектроскопии»
Научного центра волновых исследований Федерального государственного
бюджетного учреждения науки ФИЦ «Институт общей физики им. А.М.
Прохорова» Российской академии наук,

Першин Сергей Михайлович

23.09.2024

Контактные данные:

тел.: +7(499)503-87-77 доб. 8-58, e-mail: pershin@kapella.gpi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 01.04.21 лазерная физика

Адрес места работы:

119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Тел.: +7 (499) 503-8734; e-mail: office@gpi.ru

Подпись сотрудника ИОФ РАН Першина удостоверяю

23.09.2024