

ОТЗЫВ

официального оппонента Голованя Леонида Анатольевича
о диссертационной работе Рожко Михаила Викторовича
«Широкополосное нелинейно-оптическое преобразование мощных
сверхкоротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Диссертационная работа М.В. Рожко посвящена экспериментальному изучению широкополосного нелинейно-оптического преобразования субтераваттных сверхкоротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона, а именно генерации высоких гармоник в газовых средах и от поверхности твердотельной мишени, а также генерации терагерцового и СВЧ излучения в лазерной плазме. Исследования оптических процессов, обусловленных распространением таких импульсов в различных средах, по этой тематике активно проводятся в различных научных группах во всем мире. Этот интерес обусловлен в том числе возможностью с использованием таких импульсов создать широкополосные источники терагерцового излучения и мультиоктавного суперконтинуума. Таким образом, тема настоящей работы является весьма актуальной задачей современной физики, а ее результаты могут оказаться востребованными современными технологиями.

Работа М.В. Рожко состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы. Объем диссертации составляет 125 страниц, Она содержит 39 рисунков, приведенный список цитированной литературы включает 178 наименований. Во введении к работе кратко изложена актуальность исследования, сформулированы цели исследования, указана научная новизна, приведены защищаемые положения и отмечено соответствие диссертации формальным требованиям, необходимым для ее защиты.

Во **Введении** обоснованы актуальность, новизна и практическая значимость проведенного исследования, сформулированы цель и задачи

работы, подчеркнута степень достоверности и проведенная апробация результатов, а также сформулированы защищаемые положения.

В первой главе обсуждаются современные методики генерации мощных лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона и указана роль среди них систем на основе оптического параметрического усиления chirпированных импульсов. Рассмотрены такие важнейшие примеры широкополосного нелинейно-оптического преобразования излучения, как вторичное низкочастотное излучение лазерно-плазменных источников терагерцового и СВЧ диапазонов и генерация гармоник высокого порядка в газах и от поверхности твердотельных мишеней.

Вторая глава посвящена оригинальной экспериментальной реализации широкополосной генерации высоких гармоник при фокусировке фемтосекундного лазерного излучения на центральной длине волны 3.9 мкм в азотсодержащие газы. Проведен сравнительный анализ спектров ближнего инфракрасного, видимого, ультрафиолетового излучения в азоте, воздухе, а также в одноатомных газах неоне и аргоне в зависимости от давления. В спектрах выявлены черты некогерентного излучения колебательных переходов монооксида азота и гидроксильной группы. В азотсодержащих газах вблизи колебательных переходов второй положительной системы азота обнаружены спектральные особенности, характерные для вынужденного комбинационного усиления и поглощения. Показано, что возникновение данных эффектов происходит за счет резонансного связывания поля высоких гармоник с частотами колебательных переходов молекул. Представлена возможность спектроскопии молекулярных газовых систем на основе вынужденного комбинационного рассеяния и некогерентного излучения плазмы в поле генерируемых высоких гармоник.

В третьей главе описаны проведенные в работе экспериментальные исследования спектрально-пространственных свойств мультиоктавного излучения гармоник высокого порядка при действии сверхкоротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона на поверхность твердотельных

мишеней. Представлены подробные схемы экспериментальных установок для генерации и регистрации высоких гармоник в области вакуумного ультрафиолетового диапазона. Изучено влияние chirпирования лазерных импульсов и материала мишени на спектры гармоник. Показано, что гармоники наивысшего, 51-го порядка регистрируются при выборе мишени из полистирола. На основе полученных результатов установлено, что высокие гармоники генерируются цугами аттосекундных импульсов через механизм когерентного кильватерного излучения.

Четвертая глава посвящена результатам выполненных экспериментов по генерации излучения терагерцового и СВЧ диапазонов при лазерно-плазменном взаимодействии среднего инфракрасного излучения с газовыми средами как в случае одноцветной, так и двухцветной накачки. Продемонстрировано применение целого комплекса различных экспериментальных методик, сочетающих в себе инструменты сверхбыстрой оптики, терагерцовой фотоники и микроволновой электроники, для корректного описания спектральных, пространственных и поляризационных свойств генерируемого широкополосного излучения. Показано, что измерения поляризационных характеристик, зависимостей от давления и диаграмм направленности сверхширокополосного когерентного низкочастотного излучения хорошо согласуются с физической картиной фотоэлектронных токов, вторичное излучение которых описывается моделями импульсной антенны и черенковского излучения.

В заключении отражены основные результаты выполненного научного исследования.

Результаты, выносимые на защиту, апробированы на международных конференциях, опубликованы в 11 печатных работах в международных рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных Web of Science, Scopus и РИНЦ, в том числе Optica, ACS Photonics, Journal of Lightwave Technology, Optics Letters, Physical Review A, Journal of Raman Spectroscopy, ЖЭТФ. Экспериментальные исследования проводились на современном

научном оборудовании, их результаты были воспроизводимыми и подтверждались анализом в рамках ранее разработанных и общепризнанных теоретических моделей. Таким образом, анализ всей диссертационной работы и публикаций автора по теме исследования свидетельствуют о **достоверности** результатов и об **обоснованности защищаемых научных положений**.

Результаты обладают безусловной **научной новизной**. Продемонстрирована генерация суперконтинуума при взаимодействии сверхкоротких лазерных импульсов с длительностью порядка 80 фс на центральной длине волны 3.9 мкм с молекулярным азотом. Показано, что спектральная структура сгенерированного излучения состоит из гармоник высокого порядка в диапазоне 125-850 нм. Установлена немонотонная зависимость интенсивности высоких гармоник дальнего ультрафиолетового диапазона от давления азота. Впервые продемонстрирована генерация гармоник высоких (до 51) порядков излучением плазмы, возникающей при облучении твердотельной мишени сверхкороткими лазерными импульсами. Совершенно новыми являются результаты изучения широкополосного СВЧ и терагерцового излучения, генерируемого плазменными токами при возбуждении сверхкороткими инфракрасными импульсами, подтверждающие модели импульсной антенны и черенковского излучения.

Научная и практическая значимость полученных результатов имеет важное значение для создания широкополосных источников излучения (гармоник в диапазоне 75 – 2000 нм), которые могут найти свое применение в том числе для формирования аттосекундных импульсов. Продемонстрированная в работе генерация мультидиапазонного низкочастотного импульсного когерентного излучения в области от 0.1 ГГц до 17 ТГц при взаимодействии мощных сверхкоротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона с газовыми средами важна для создания источников терагерцового и СВЧ излучения.

Стоит отметить, что автор диссертации продемонстрировал высокую квалификацию экспериментатора, позволившую ему создать уникальные

экспериментальные установки, на которых была получена большая часть результатов. Среди результатов специального упоминания, на мой взгляд, заслуживает регистрация когерентного терагерцового и СВЧ излучения при возбуждении плазменных токов в воздухе мощными фемтосекундными лазерными импульсами.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

- 1) Обзор диссертационной работы содержит всю необходимую для понимания результатов и методов измерений информацию. Однако работа существенно выиграла бы, если бы обзорная глава завершалась бы постановкой задач исследования и была бы указана явная взаимосвязь между поставленными задачами.
- 2) В третьей главе не обсуждается выбор материала твердотельной мишени.
- 3) Поляризационные измерения терагерцового излучения, генерируемого двухцветным лазерным полем, свидетельствуют, что оно линейно поляризовано (рисунок 31). Однако в тексте не обсуждается, почему направление поляризации терагерцового излучения отличается от направления поляризации излучения накачки на центральной длине волны 3.9 мкм на 32° .
- 4) Зависимость угла конуса черенковского излучения в терагерцовом диапазоне от частоты излучения, приведенная на рисунке 39, содержит ряд скачков, которые, однако не обсуждаются в тексте работы.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации «Широкополосное нелинейно-оптическое преобразование мощных сверхкоротких лазерных импульсов среднего инфракрасного диапазона» 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. Диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Рожко Михаил Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры общей физики и молекулярной электроники
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Головань Леонид Анатольевич

_____ 2023 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 939-46-57, e-mail: golovan@physics.msu.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.04.21 – Лазерная физика

Адрес места работы:

119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 35,
физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
кафедра общей физики и молекулярной электроники
Тел.: +7 (495) 939-16-82; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись Голованя Л.А. заверяю:

_____ 2023 г.