

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://mephi.ru>

№ _____
На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио ректора НИЯУ МИФИ
доктор физ.-мат. наук, профессор


М.Н. Стриханов



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Шутова Алексея Викторовича

**«НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ УСИЛЕНИИ МОЩНЫХ
СУБПИКОСЕКУНДНЫХ УФ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В KRF
ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЕ И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИИ В АТМОСФЕРЕ»**

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.21- лазерная физика

Актуальность диссертации

На сегодняшний день лазерное ультрафиолетовое излучение находит свое применение в разнообразных областях человеческой деятельности, начиная от глазной микрохирургии и фотолитографии, заканчивая коммутацией высоковольтных разрядов и перспективными технологиями лазерного термоядерного синтеза. Многие задачи требуют получения мощных УФ импульсов и их последующую транспортировку до области воздействия, как правило, по газовой или конденсированной среде. В ряде случаев высокая интенсивность излучения приводит к взаимодействию лазерного излучения с этой средой, в результате чего могут протекать разнообразные нелинейно-оптические процессы, такие как самофокусировка, ионизация среды, нелинейное поглощение и филаментация излучения. Несмотря на большую привлекательность УФ излучения для прикладных задач, что связано с высокой энергией кванта, большинство работ по нелинейной оптике мощных ультракоротких лазерных импульсов сделаны с использованием инфракрасного

излучения, в первую очередь, по причине широкого распространения лазерных источников ИК длин волн. Работ сделанных в УФ области спектра относительно мало, поэтому сформулированная автором цель работы: экспериментальное исследование нелинейных явлений при распространении в прозрачных средах мощного KrF лазерного излучения, процессов образования и распада плазмы является, безусловно, актуальной в современной лазерной физике, а содержание работы соответствует специальности 01.04.21 «лазерная физика».

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 179 страниц, включая 54 рисунка и список литературы из 194 источников.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту, обсуждается научная новизна и практическая ценность результатов работы, приведены сведения об апробации результатов работы.

В первой главе изложены физические принципы получения мощных ультракоротких УФ лазерных импульсов в гибридных KrF/Ti:сапфировых лазерных системах, а также основные процессы, происходящие в фотоионизационной воздушной плазме, создаваемой УФ лазерным излучением. Проводится анализ современных литературных данных по основным темам работы, выделены имеющиеся в литературе пробелы и противоречия, позволяющие оценить значимость и новизну полученных автором результатов в данной области знаний.

Вторая глава посвящена описанию используемого в работе оборудования, и экспериментальных методик, приводятся характеристики задействованных в работе лазерных систем, регистрирующих приборов и установок.

В третьей главе сообщается о результатах исследований многофотонной ионизации воздуха и его компонентов УФ лазерными импульсами наносекундной и фемтосекундной длительности на длине волны 248 нм, а также последующей эволюции фотоионизационной плазмы. Автором экспериментально исследована концентрация электронов, создаваемая импульсным лазерным излучением на длине 248-нм в воздухе и входящих в его состав газах, и обнаружено, что присутствие водяных паров в воздухе на порядок увеличивает концентрацию электронов в плазме за счет резонансно-усиленной многофотонной ионизации.

Четвертая глава посвящена исследованию нелинейных процессов при усилении 100-фс 248-нм лазерных импульсов в KrF усилителях с накачкой электронным пучком. В этой главе исследуется множественная филаментация субтераваттного УФ импульса в усилительном тракте и её влияние на нелинейные потери при усилении. Обнаружено, что основным фактором,

ограничивающим выходную энергию излучения при многопроходовом усилении, являются нелинейные потери в окнах усилителей из CaF_2 , связанные с множественной филаментацией излучения.

Пятая глава описывает эксперименты по подавлению множественной филаментации 248-нм излучения путем внесения в оптическую трассу ячейки, наполненной ксеноном, газом, имеющим резонансно-индуцированную отрицательную нелинейность Керра. Автором продемонстрировано выглаживание мощного лазерного пучка, а также наблюдалась узконаправленная коническая эмиссия на длине волны 828 нм при распространении УФ филаментов в Хе.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна исследований заключается в том, что в диссертационной работе:

1. Впервые измерено сечение многофотонной ионизации паров воды, показано, что на длине волны 248 нм основным механизмом многофотонной ионизации воздуха является резонансно усиленная многофотонная ионизация молекул воды.
2. Экспериментально показано, что влажность воздуха влияет на скорость гибели электронов относительно трехчастичного прилипания к кислороду, получена зависимость скорости гибели от напряженности электрического поля в воздухе различной влажности.
3. Показано, что нелинейные потери в оптике и активной среде, связанные с множественной филаментацией излучения в усилительном тракте, ограничивают выходную энергию при многопроходовом усилении субпикосекундных УФ импульсов в KrF усилителях с накачкой электронным пучком.
4. Экспериментально наблюдалось подавление самофокусировки и филаментации излучения в среде с отрицательной керровской нелинейностью.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных результатов в следующих задачах:

1. Формирование и усиление ультракоротких УФ импульсов в эксимерных усилителях для ЛТС в схеме ударного зажигания.
2. Выглаживание поперечного профиля лазерного пучка, распространяющегося в режиме множественной филаментации.
3. Численное моделирование процессов распространения УФ излучения в воздухе.
4. Моделирование низкотемпературной плазмы в атмосфере и ионосфере Земли.

5. Калибровка воздушных ионизационных камер.
6. Для создания плазменных каналов и волноводов в воздухе для задач коммутации высоковольтных разрядов и транспортировки длинноволнового излучения.

Достоверность полученных результатов определяется сопоставлением полученных результатов с данными, представленными в литературе, а также результатами численных расчетов. Кроме того, в ряде случаев, достоверность подкрепляется совпадением результатов исследования одного явления различными методиками.

Основные результаты диссертации были опубликованы в 7 материалах международных конференций и в 11 публикациях в рецензируемых журналах, индексируемых в базе данных Web of Science, а также прошли широкую апробацию на 16 международных и российских конференциях и школах.

Недостатки и замечания по содержанию и оформлению диссертации

1. В тексте диссертации не объясняется изменение степени нелинейности процесса резонансно усиленной многофотонной ионизации паров воды при переходе от наносекундных $\sim I^2$ к фемтосекундным $\sim I^3$ импульсам.
2. При измерении профиля пикосекундного тераваттного УФ импульса по люминесценции стеклянной пластины (стр. 118 - 122) используется калибровочная кривая, полученная с использованием 100 фемтосекундных УФ импульсов. Различная длительность импульсов может приводить к различному люминесцентному отклику материала.
3. При исследовании нелинейных потерь в оптических материалах окон усилителей из CaF_2 не приводится сравнение с другими кристаллами с большой шириной запрещенной зоны, такими как LiF , MgF_2 , которые могут быть пригодны для мощного УФ излучения.

Приведенные замечания не влияют на общую **положительную** оценку работы.

Общая оценка диссертации

Диссертация Шутова А.В. является законченным циклом научных работ, выполненных на высоком уровне. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и достоверно отражает основные результаты работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе Шутова А.В. могут найти применение в ФИАН, МИФИ, МГУ, ИОА СО РАН, ИСЭ СО РАН и ряде других научных учреждений, занимающихся нелинейной оптикой мощных лазерных импульсов.

Диссертация Шутова Алексея Викторовича «Нелинейные процессы при усилении мощных субпикосекундных УФ лазерных импульсов в KrF лазерной системе и их распространении в атмосфере» полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21- лазерная физика.

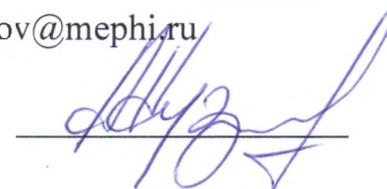
Диссертация и проект отзыва ведущей организации на диссертационную работу заслушаны, обсуждены и одобрены на объединенном вебинаре Института Лаплаз и кафедры лазерной физики НИЯУ МИФИ 20 августа 2020 года, протокол № 4 –от 20.08.2020.

Отзыв составили:

Стариков Ростислав Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор кафедры «Лазерная физика» Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, rstarikov@mail.ru



Кузнецов Андрей Петрович, директор Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., профессор, arkuznetsov@mephi.ru



Кудряшов Николай Алексеевич, председатель совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., профессор, NAKudryashov@mephi.ru



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ);

115409,

г. Москва, Каширское шоссе, 31.

Тел.: +7 (495) 788-56-99, доб. 9388

Список основных работ сотрудников МИФИ по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Cheremkhin P.A., Evtikhiev N.N., Krasnov V.V., Rodin V.G., Shifrina A.V., Starikov R.S. «Asymmetric image optical encryption under spatially incoherent illumination» *Laser Phys. Lett.* 17 025204, 2020
2. Rozental, R. M., Ginzburg, N. S., Zotova, I. V., Sergeev, A. S., and Tarakanov, V. P. «Generation of ultrashort microwave pulses in the sub-THz and THz range based on the cyclotron superradiance effect» *Technical Physics Letters*, 43(9), 831-834, 2017.
3. Faenov, A. Y., Alkhimova, M. A., Pikuz, T. A., Skobelev, I. Y., Nishiuchi, M., Sakaki, H., & Ogura, K., «The effect of laser contrast on generation of highly charged Fe ions by ultra-intense femtosecond laser pulses». *Applied Physics B*, 123(7), 197, 2017.
4. Makarov, S., Pikuz, S., Faenov, A., Pikuz, T., Fukuda, Y., Skobelev, I., and Kodama, R. «Ion pinhole imaging diagnostics on fast ion source in femtosecond laser plasma of cluster targets». *Optics Express*, 25(14), 16419-16426, 2017
5. Faenov, A. Y., Pikuz, T. A., Vergunova, G. A., Pikuz, S. A., Skobelev, I. Y., Andreev, A., Kodama, R. «Ultra-bright keV X-ray source generated by relativistic femtosecond laser pulse interaction with thin foils and its possible application for HEDS investigations.» *Laser and Particle Beams*, 35(3), 450-457, 2017
6. Bagdasarov, V. K., Bel'kov, S. A., Garanin, S. G., Garnov, S. V., Nikolaev, D. A., Orlov, S. N., & Tsvetkov, V. B. «Two-stage optical parametric amplifier of a low energy nanosecond pulses». *Laser Physics Letters*, 14(5), 055403, 2017
7. Ushakov, A. A., Matoba, M., Nemoto, N., Kanda, N., Konishi, K., Chizhov, P. A., ...and Yumoto, J. «Backward terahertz radiation from the two-color femtosecond laser filament.» *JETP Letters*, 1-4, 2017
8. Rosmej, F. B., Astapenko, V. A., Lisitsa, V. S., & Moroz, N. N. «Nonlinear resonance scattering of femtosecond X-ray pulses on atoms in plasmas». *Physics Letters A*, 381(41), 3576-3579, 2017
9. Kazieva, T. V., Kuznetsov, A. P., Gubskii, K. L., Ponarina, M. V., & Reshetov, V. N. «Determination of the shape of indenters for nanohardness testers via interferometry. *Technical Physics Letters*», 43(2), 148-151., 2017
10. Bagdasarov, V. K., Bel'kov, S. A., Garanin, S. G., Garnov, S. V., Nikolaev, D. A., Orlov, S. N., Tsvetkov, V. B. «The nanosecond optical parametric amplifier of a weak signal based on BBO crystals». *Laser Physics*, 26(9), 095003, 2016
11. Chizhov, P. A., Bukin, V. V., Ushakov, A. A., and Garnov, S. V. «Features of the electron density dynamics in the filamentation of femtosecond laser radiation in air at elevated pressure». *Quantum Electronics*, 46(4), 332, 2016