

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 сентября 2020 г. № 80

О присуждении Шутову Алексею Викторовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Нелинейные процессы при усилении мощных субпикосекундных УФ лазерных импульсов в KrF лазерной системе и их распространении в атмосфере» принята к защите 11 марта 2020 г., протокол № 76 диссертационного совета Д002.023.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Шутов Алексей Викторович, 1989 г.р., в 2011 году окончил специалитет Национального Исследовательского Ядерного Университета Московского Инженерно-Физического Института (НИЯУ «МИФИ») по специальности "Физика конденсированного состояния вещества" с присуждением квалификации инженер-физик. С 2009 г. работает в ФИАН, с 2019 г. - в должности научного сотрудника. В период с 01.05.2012 г. по 30.04.2016 г. обучался в аспирантуре ФИАН по направлению подготовки «03.06.01 - Физика и астрономия» (направленность программы «01.04.21 - лазерная физика»). Справка об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2019 г.

Диссертационная работа Шутова А. В. выполнена в Отделении Квантовой радиофизики ФИАН.

Научный руководитель, кандидат физико-математических наук Зворыкин Владимир Дмитриевич, занимает должность ведущего научного сотрудника Лаборатории Газовых Лазеров Отделения Квантовой Радиофизики ФИАН.

Научный консультант, кандидат физико-математических наук, Устиновский Николай Николаевич, занимает должность старшего научного сотрудника Лаборатории Газовых Лазеров Отделения Квантовой Радиофизики ФИАН.

Официальные оппоненты:

Кандидов Валерий Петрович, д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики и волновых процессов Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ);

Чекалин Сергей Васильевич, д.ф.-м.н., профессор, исполняющий обязанности заведующего лабораторией Спектроскопии ультрабыстрых процессов отдела лазерной спектроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт» (НИЯУ МИФИ), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном профессором кафедры «Лазерная физика» Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук Стариковым Ростиславом Сергеевичем, директором Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук, профессором Кузнецовым Андреем Петровичем, и председателем Совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, доктором физико-математических наук, профессором Кудряшовым Николаем Алексеевичем, и утвержденном временно исполняющим

обязанности ректора Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», доктором физико-математических наук, профессором Стрихановым Михаилом Николаевичем, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликованы 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликованы 11 работ. Вклад соискателя в эти работы является определяющим. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. A.V. Shutov, N.N. Ustinovskii, I.V. Smetanin, D.V. Mokrousova, S.A. Goncharov, S.V. Ryabchuk, E.S. Sunchugasheva, L.V. Seleznev, A.A. Ionin, V.D. Zvorykin, «Major Pathway for Multiphoton air ionization at 248 nm laser wavelength», *Applied Physics Letters*, **111** (22), 224104, 2017.
Erratum: *Applied Physics Letters*, **113** (18), 189902, 2018.
2. V.D. Zvorykin, S.A. Goncharov, A.A. Ionin, D.V. Mokrousova, S.V. Ryabchuk, L.V. Seleznev, A.V. Shutov, I.V. Smetanin, E.S. Sunchugasheva, N.N. Ustinovskii, «Kerr self-defocusing of multiple filaments in TW peak power UV laser beam», *Laser Physics Letters*, **13**, 125404, 2016.
3. V.D. Zvorykin, A.A. Ionin, A.O. Levchenko, L.V. Seleznev, A.V. Shutov, D.V. Sinitsyn, I.V. Smetanin, N.N. Ustinovskii, «Multiple filamentation of supercritical UV laser beam in atmospheric air», *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **355**, 227-231, 2015.
4. В.Д. Зворыкин, А.А. Ионин, А.О. Левченко, Г.А. Месяц, Л.В. Селезнев, Д.В. Сеницын, Н.Н. Устиновский, А.В. Шутов, «Лазерная гибридная Ti : сапфир – K₂F-система, генерирующая пуг субтераваттных УФ импульсов

субпикосекундной длительности», *Квантовая Электроника*, **44** (5), 431-439, 2014.

5. A.V. Shutov, I.V. Smetanin, A. A. Ionin, A.O. Levchenko, L.V. Seleznev, D.A. Sinitsyn, N.N. Ustinovskii, V.D. Zvorykin, «Direct measurement of the characteristic three-body electron attachment time in the atmospheric air in direct current electric field», *Applied Physics Letters*, **103**, 034106, 2013.

На автореферат поступили отзывы от доктора физико-математических наук Казанцева Сергея Юрьевича, исполняющего обязанности главного научного сотрудника Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского технического университета связи и информатики» (МТУСИ) и доктора физико-математических наук, профессора Лосева Валерия Федоровича, главного научного сотрудника Лаборатории Газовых Лазеров Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

В отзыве доктора физико-математических наук Казанцева С. Ю. отмечается актуальность работы, связанная с перспективой использования плазменных каналов и волноводов в воздухе для создания резонансных плазменных антенн, коммутации высоковольтных разрядов, диагностики параметров атмосферы, молниезащиты. Также отмечается, что диссертационная работа Шутова А.В. выполнена на высоком научном уровне. В отзыве доктора физико-математических наук, профессора Лосева В. Ф. отмечается, что автореферат в полной мере отражает содержание проделанной работы, а полученные результаты представляют большой практический и научный интерес.

В отзывах доктора физико-математических наук Казанцева С.Ю. и доктора физико-математических наук Лосева В.Ф. указано, что соискатель Шутов А.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Выбор оппонентов и ведущей организации обоснован их значительным опытом работы по тематике диссертации, что подтверждается большим количеством публикаций в рецензируемых, в том числе ведущих в этой области, печатных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что в диссертационной работе А. В. Шутова впервые показано влияние влажности на многофотонную ионизацию воздуха 248-нм лазерным излучением и на процессы гибели электронов в воздухе, показана роль нелинейных процессов, таких как мелкомасштабная самофокусировка и нелинейное поглощение в оптических материалах при усилении субпикосекундных ультрафиолетовых импульсов в KrF усилителях с накачкой электронным пучком.

В работе получены следующие основные результаты:

1. Впервые показано, что в диапазоне интенсивностей $10^{8 \div 5} \times 10^{12}$ Вт/см² лазерного излучения на длине волны 248-нм, основной вклад в многофотонную ионизацию воздуха даёт резонансно-усиленная многофотонная ионизация (REMPI) паров воды.
2. Измерены сечения многофотонной ионизации основных компонентов воздуха лазерным излучением на длине волны 248 нм. Для импульсов длительностью 170 фс они составили для азота, кислорода и водяного пара соответственно:

$$\sigma_{N_2}^{(3)} = (1.7 \pm 0.8) \times 10^{-30} \text{ см}^6 \text{ с}^{-1} \text{ Вт}^{-3}$$

$$\sigma_{O_2}^{(3)} = (1.2 \pm 0.5) \times 10^{-29} \text{ см}^6 \text{ с}^{-1} \text{ Вт}^{-3}$$

$$\sigma_{H_2O}^{(3)} = (5.6 \pm 3.8) \times 10^{-27} \text{ см}^6 \text{ с}^{-1} \text{ Вт}^{-3}$$

В азоте и парах воды наблюдалась REMPI, а в кислороде прямая трёхфотонная ионизации. Для импульсов длительностью 25 нс сечение (2+1) REMPI молекул воды составило

$$\sigma_{H_2O}^{(2)} = (9.0 \pm 5.5) \times 10^{-16} \text{ см}^4 \text{ с}^{-1} \text{ Вт}^{-2}.$$

3. Измерено характерное время трехчастичного прилипания электронов к кислороду в низкоплотной ($<10^{14} \text{ см}^{-3}$) плазме в воздухе различной влажности в диапазоне приложенных электрических полей $0.3 \div 8 \text{ кВ/см}$, которое с ростом поля возрастало от 5 до 65 нс и уменьшалось с увеличением влажности воздуха.
4. Измерен коэффициент нелинейных потерь 248 нм лазерного излучения 100-фс длительности в CaF_2 $\gamma = (1.1 \pm 0.3) \times 10^{-22} \text{ см}^3 \text{ Вт}^{-2}$, связанный с трёхфотонным поглощением и рассеянием излучения за счет фазовой самомодуляции и вынужденного комбинационного рассеяния.
5. Показано, что при многопроходном усилении фемтосекундных импульсов в KtF усилителях с накачкой электронным пучком в усилительном тракте развивается множественная филаментация пучка, которая приводит к увеличению ненасыщаемых потерь в активной среде и нелинейным потерям в оптических элементах.
6. Впервые экспериментально продемонстрирована самоиндуцированная дефокусировка и подавление множественной филаментации 248-нм лазерного излучения тераваттной пиковой мощности в ксеноне за счет отрицательного коэффициента керровской нелинейности.

Результаты работы Шутова А. В. оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается использованием высокоточных откалиброванных отечественных и иностранных измерительных приборов, многократно примененных в различных экспериментах, использованием различных, дополняющих друг друга экспериментальных методов, согласием полученных результатов с расчетами и работами других авторов, апробацией результатов в публикациях в ведущих рецензируемых журналах и в докладах на российских и международных конференциях.

Научная новизна полученных А. В. Шутовым результатов состоит в следующем: впервые показано, что основным механизмом многофотонной ионизации воздуха лазерным УФ излучением является ионизация водяных паров; продемонстрировано новое нелинейно-оптическое явление подавления множественной филаментации тераваттных УФ импульсов в среде с отрицательной керровской нелинейностью.

Практическая значимость полученных результатов обусловлена возможностью использования измеренных сечений и констант при численном моделировании нелинейного распространения УФ лазерного излучения в атмосфере, моделировании высоковольтных разрядов, плазмы в атмосфере и ионосфере Земли. Обнаруженный высокоэффективный способ ионизации воздуха через REMPI паров воды может быть использован для создания плазменных каналов и волноводов в воздухе в задачах транспортировки СВЧ излучения и управления высоковольтными разрядами. Метод подавления самофокусировки 248-нм излучения за счет отрицательной керровской нелинейности в Хе может использоваться как средство подавления нелинейных потерь в эксимерных лазерных системах тераваттной пиковой мощности.

Полученные автором результаты могут найти применение в задачах управления высоковольтными разрядами лазерным излучением и направленной транспортировки электромагнитных импульсов радио- и СВЧ диапазонов по виртуальным плазменным волноводам.

В диссертации была решена задача измерения сечений многофотонной ионизации компонентов воздуха 248-нм лазерным излучением и подавления мелкомасштабной самофокусировки и филаментации лазерного УФ излучения.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

На заседании 21 сентября 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Шутову А. В. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.21 – Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 22,

против присуждения учёной степени - 0,

недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета,

член корреспондент РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

21 сентября 2020 года