

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.04, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 26 сентября 2019 года публичной защиты диссертации Кучинской Олеси Ивановны «Множественная филаментация лазерных импульсов при управлении волновым фронтом системами формирования оптических пучков» по специальности 01.04.05 – Оптика на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Присутствовали 21 из 25 членов диссертационного совета, в том числе 7 докторов наук по специальности 01.04.05 – Оптика:

- | | |
|---|----------|
| 1. Майер Г. В., доктор физико-математических наук, профессор,
председатель диссертационного совета, | 01.04.05 |
| 2. Войцеховский А. В., доктор физико-математических наук,
профессор, заместитель председателя диссертационного совета, | 01.04.05 |
| 3. Пойзнер Б. Н., кандидат физико-математических наук,
профессор, учёный секретарь диссертационного совета, | 01.04.03 |
| 4. Артюхов В. Я., доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник, | 01.04.21 |
| 5. Дмитренко А. Г., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 6. Донченко В. А., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 7. Дунаевский Г. Е., доктор технических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 8. Кабанов М. В., член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 9. Козырев А. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 10. Копылова Т. Н., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 11. Лосев В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 12. Лукин В. П., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 13. Самохвалов И. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 14. Соколова И. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 15. Солдатов А. Н., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 16. Соснин Э. А., доктор физико-математических наук, | 01.04.05 |
| 17. Тарасенко В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 18. Фисанов В. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 19. Черепанов В. Н., доктор физико-математических наук, доцент, | 01.04.05 |
| 20. Шандаров С. М. доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 21. Юдин Н. А., доктор технических наук, старший научный сотрудник, | 01.04.21 |

Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Майер Георгий Владимирович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 20, против – 1, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить О. И. Кучинской учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.04,
созданного на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.09.2019 № 162

О присуждении **Кучинской Олесе Ивановне**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Множественная филаментация лазерных импульсов при управлении волновым фронтом системами формирования оптических пучков»** по специальности **01.04.05** – Оптика принята к защите 27.06.2019 (протокол заседания № 161) диссертационным советом Д **212.267.04**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012).

Соискатель **Кучинская Олеся Ивановна**, 1991 года рождения.

В 2018 году соискатель окончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» с выдачей диплома об окончании аспирантуры.

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории нелинейно-оптических взаимодействий в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена кафедре оптико-электронных систем и дистанционного зондирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и в лаборатории нелинейно-оптических взаимодействий в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Кабанов Андрей Михайлович**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория нелинейно-оптических взаимодействий, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Дмитриев Александр Капитонович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра лазерных систем, главный научный сотрудник; по совместительству – Центр коллективного пользования «Оптические и лазерные технологии», руководитель центра

Степанов Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук, лабораторией сверхсильных полей, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Дальневосточный федеральный университет**», г. Владивосток, в своём положительном отзыве, подписанном **Голиком Сергеем Сергеевичем** (кандидат физико-математических наук, лаборатория лазерной спектроскопии кафедры общей и экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник) и **Короченцевым Владимиром**

Владимировичем (кандидат химических наук, доцент, кафедра общей и экспериментальной физики, заведующий кафедрой), указала, что актуальность исследования обусловлена тем, что для задач атмосферной оптики, таких как передача лазерной энергии в заданную точку атмосферы и лазерного зондирования с использованием суперконтинуального свечения, необходимо осуществлять управление начальными характеристиками лазерного пучка. Для этого необходимо создать условия для осуществления самофокусировки световой волны в зависимости от пространственной площадки в поперечном распределении интенсивности лазерного пучка, где локальная мощность излучения превосходит критическую мощность самофокусировки, на дистанцию расположения мишени. Для успешного продвижения технологий управления характеристиками зоны множественной филаментации необходимо иметь представление о закономерностях и потенциальных возможностях различных способов управления. О. И. Кучинской разработана методика экспериментов по исследованию трансформации спектральных характеристик фемтосекундных лазерных импульсов при их филаментации в воздухе и реализованы эксперименты с использованием адаптивного оптического тракта с мощностью импульсов, многократно превышающей критическую мощность самофокусировки в воздухе;. Полученные количественные экспериментальные данные о характере спектрального уширения области постфиламентационных каналов, окружающих их концентрических колец и пучка вне данных световых структур имеют важное значение для анализа возможности создания источников мощного излучения с перестраиваемой шириной спектра для, например, оптоакустической диагностики поглощающих сред. Количественные данные о размерах и положении области филаментации в зависимости от параметров внешней фокусировки и дефокусировки фемтосекундных пучков на атмосферной трассе, полученные впервые, важны для разработки рекомендаций по управлению положением области филаментации на протяжённых атмосферных трассах. Полученные количественные экспериментальные данные о количественных связях между параметрами лазерного излучения (энергия, длительность импульса, степень фокусировки, профиль пучка) и характеристиках области филаментации (длина

области филаментации, положение, количество филаментов) являются основой для построения прогностических моделей множественной филаментации лазерных пучков в средах с кубичной нелинейностью.

Соискатель имеет 76 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликована 31 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 13 работ (из них в российском научном журнале, входящем в Web of Science, опубликована 1 работа; в российском научном журнале, входящем в Scopus, опубликована 1 работа, в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science, опубликовано 8 работ), в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в базу Web of Science, опубликовано 16 работ; свидетельств о регистрации баз данных получено 2. Общий объём публикаций – 9,58 а.л., авторский вклад – 1,05 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации опубликованы в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук:

1. Апексимов Д. В. Глобальная самофокусировка и особенности множественной филаментации излучения субтераваттного титан-сапфирового лазера с сантиметровым диаметром выходной апертуры на 150-метровой трассе / Д. В. Апексимов, А. А. Землянов, А. Н. Иглакова, А. М. Кабанов, **О. И. Кучинская**, Г. Г. Матвиенко, В. К. Ошлаков, А. В. Петров // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30, № 9. – С. 727–732. – DOI: 10.15372/AOO20170901. – 0,38 / 0,05 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Apeximov D. V. Global self-focusing and features of multiple filamentation of radiation of a subterawatt Ti: Sapphire laser with a centimeter output aperture along a 150-m path / D. V. Apeximov, A. A. Zemlyanov, A. N. Iglakova, A. M. Kabanov, **O. I. Kuchinskaya**, G. G. Matvienko, V. K. Oshlakov, A. V. Petrov // Atmospheric

and Oceanic Optics. – 2018. – Vol. 31, № 1. – P. 31–35. – DOI: 10.1134/S1024856018010037.

2. Апексимов Д. В. Локализованные световые структуры с высокой интенсивностью при множественной филаментации фемтосекундного импульса титан-сапфирового лазера на воздушной трассе / Д. В. Апексимов, А. А. Землянов, А. Н. Иглакова, А. М. Кабанов, **О. И. Кучинская**, Г. Г. Матвиенко, В. К. Ошлаков, А. В. Петров, Е. Б. Соколова // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30, № 11. – С. 910–914. – DOI: 10.15372/AOO20171102. – 0,31 / 0,04 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Apeximov D. V. Localized high-intensity light structures during multiple filamentation of Ti:Sapphire-laser femtosecond pulses along an air path / D. V. Apeksimov, A. A. Zemlyanov, A. N. Iglakova, A. M. Kabanov, **O. I. Kuchinskaya**, G. G. Matvienko, V. K. Oshlakov, A. V. Petrov, E. B. Sokolova // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2018. – Vol. 31, № 2. – P. 107–111. – DOI: 10.1134/S1024856018020033.

3. Апексимов Д. В. Множественная филаментация лазерных пучков в различных средах / Д. В. Апексимов, А. А. Землянов, А. Н. Иглакова, А. М. Кабанов, **О. И. Кучинская**, Г. Г. Матвиенко, В. К. Ошлаков, А. В. Петров // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2017. – Т. 60, № 12/2. – С. 135–138. – 0,31 / 0,04 а.л.

4. Апексимов Д. В. Влияние фазовых aberrаций на положение и протяженность области филаментации / Д. В. Апексимов, Ю. Э. Гейнц, А. А. Землянов, А. Н. Иглакова, А. М. Кабанов, **О. И. Кучинская**, Г. Г. Матвиенко, В. К. Ошлаков, А. В. Петров // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 12. – С. 941–947. – DOI: 10.15372/AOO20181201. – 0,5 / 0,06 а.л.

5. Apeximov D. V. Multiple filamentation various diameters laser beams at an atmospheric path / D. V. Apeksimov, A. A. Zemlyanov, A. I. Iglakova, A. M. Kabanov, **O. I. Kuchinskaya**, G. G. Matvienko, V. K. Oshlakov, A. V. Petrov // Optical Memory and Neural Networks. – 2018. – Vol. 27, № 1. – P. 53–57. – DOI: 10.3103/S1060992X18010083. – 0,31 / 0,04 а.л. (*Scopus*).

На автореферат поступило 3 положительных отзыва. Отзывы представили:

1. **М. А. Казарян**, д-р физ.-мат. наук, проф., ведущий научный сотрудник отдела люминесценции им. С.И. Вавилова Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, *с замечанием*: необходимо, отметить, что приведенные параметры модельной трассы не вполне могут позволить более-менее однозначно переносить полученные результаты на другие условия при прохождении излучения по различным трассам. 2. **С. В. Холод**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник 12 Центрального научно-исследовательского института Минобороны России, г. Сергиев Посад, Московская область, *с замечанием*: в автореферате не отражены результаты исследований по определению параметров инъекции растворов из полых микротрубок при воздействии филаментированного участка лазерного пучка на растворы с наночастицами алюминия в полых микротрубках, присутствующие в тексте самой диссертации (раздел 4.2). 3. **Л. В. Селезнев**, д-р физ.-мат. наук, доц., ведущий научный сотрудник лаборатории газовых лазеров Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, *с замечанием*: содержание диссертации представлено очень кратко, без дополнительных пояснений; некоторые результаты диссертационной работы не отражены в автореферате; спектральные характеристики элементов лазерного пучка на рисунке 2 трудно читаемы в чёрно-белой печати автореферата, что затрудняет сравнение спектрального диапазона той или иной части лазерного пучка; весьма небрежно описан рисунок 6, что затрудняет его понимание без чтения текста диссертации.

В отзывах указывается, что с момента появления и в ходе постоянного растущего развития технологий создания лазерных источников с импульсами предельно короткой длительности непрерывно ведется поиск расширения области их применения в научных и прикладных исследованиях. Уникальные свойства коротких лазерных импульсов делают данный класс лазерных источников привлекательным для задач атмосферной оптики, таких как гиперспектральное дистанционное зондирование атмосферы и передача высокоинтенсивного излучения, для флуоресцентной и эмиссионной спектроскопии, а также для задач глазной хирургии, нейрохирургии, стоматологии, обработки материалов,

нанотехнологий и др. О. И. Кучинской получен ряд новых научных результатов: определено значение угловой расходимости отдельных постфиламентационных каналов ~ 12 мкрад, группы постфиламентационных каналов ~ 30 мкрад; установлены отличия спектральных характеристик постфиламентационных каналов, колец и пучка: спектр постфиламентационных каналов обладает значительным спектральным уширением и охватывает диапазон 630–1000 нм, уширение спектра колец ассиметрично и направлено в коротковолновую область спектра; определены области формирования различных структурных компонент в поперечном сечении пучка при множественной филаментации на воздушной трассе; измерены параметры пространственной и спектральной трансформации излучения каждой компоненты после филаментации; разработана экспериментальная методика и экспериментально изучена возможность управления пространственным положением и протяжённостью участка филаментации широкоапертурного лазерного пучка за счёт искажений фазы волны с помощью биморфного деформируемого зеркала. Полученные количественные данные и соответствующие зависимости между параметрами лазерного излучения, а также характеристиками области множественной филаментации и постфиламентационных каналов, представляются как часть эмпирической базы данных, необходимых для разработки практических рекомендаций по управлению положением и протяженностью области множественной филаментации. Результаты по определению спектральных характеристик постфиламентационных и бесфиламентационных каналов для случая сантиметровых, субтерраваттных пучков применимы для решения задач дистанционного зондирования атмосферы в части генерации и приёма широкополосного излучения с перестраиваемой шириной спектра.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **А. К. Дмитриев** – известный специалист в области взаимодействия когерентного электромагнитного излучения с веществом; **А. Н. Степанов** – известный специалист в области физики высокоинтенсивного фемтосекундного лазерного излучения, филаментации, неравновесной плазмы, включая лазерно-

плазменное ускорение электронов; на базе **Дальневосточного федерального университета** проводятся исследования в области мощного лазерного излучения с веществом, нелинейной оптики, лазерной спектроскопии.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан и апробирован метод управления пространственным положением и структурой области филаментации широкоапертурного лазерного пучка путём внесения контролируемых искажений фазы волны с помощью многоэлементного биморфного деформируемого зеркала;

показано, что для ряда специальных конфигураций волнового фронта пучка реализуем режим бесплазменного распространения излучения в форме упорядоченной связки («снопа») высокоинтенсивных (10^{11} – 10^{12} Вт/см²) слаборасходящихся ($< 0,01$ мрад) световых каналов, имеющих миллиметровый поперечный размер и большую пространственную протяжённость (> 100 м);

получена новая экспериментальная информация о количественных связях между параметрами лазерного излучения (энергия, степень фокусировки, профиль пучка) и характеристиками области филаментации (длина области филаментации, её положение на трассе распространения излучения, количество филаментов в продольном и поперечном сечении пучка); определена область формирования различных компонент в поперечном сечении пучка (дофиламентационные, филаментационные, постфиламентационные, бесплазменные каналы, кольцевая структура, окружающая отдельные филаменты и пакеты филаментов) и их динамика при множественной филаментации на модельной трассе; измерены угловая и пространственная расходимость каждого компонента, их спектральный состав;

предложена гипотеза, согласно которой пространственная устойчивость интенсивных световых каналов обеспечивается интерференцией расходящихся и сходящихся волн центра канала и периферии пучка.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

определено, что оптический канал, формируясь, приобретает поперечный размер, соответствующий его размеру внутри области филаментации, до начала

области филаментации, при этом не каждый сформированный до начала области филаментации канал «превращается» в филамент;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс экспериментальных измерительных методик по исследованию трансформации пространственных и спектральных характеристик фемтосекундных лазерных импульсов при их филаментации в воздухе на протяжённой модельной трассе, управляемой искажениями фазового фронта, задаваемыми элементами биморфного деформируемого зеркала;

установлен факт, что на дистанциях, отмеряемых от окончания области филаментации и значительно превосходящих протяжённость области филаментации, постфиламентационные каналы содержат излучение с интенсивностью 10^{12} Вт/см², достаточной для формирования множественной филаментации в оптических элементах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан метод исследования эволюции пространственного профиля и спектральных характеристик субтераваттных фемтосекундных импульсов титан-сапфирового лазера в условиях филаментации, управляемой системами формирования оптических пучков;

предложена методика определения количественных данных о размерах и положении области филаментации на атмосферной трассе в зависимости от параметров внешней фокусировки и искривления волнового фронта фемтосекундных пучков, которые важны для разработки рекомендаций по управлению положением области филаментации на протяжённых атмосферных трассах;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию методики зондирования атмосферы в части генерации и приёма широкополосного излучения, с перестраиваемой шириной спектра, например, оптической, оптикоакустической, спектральной диагностики различных сред, основанной на полученных результатах спектральных характеристик пост- и бесфиламентационных (бесплазменных) каналов для случая сантиметровых, субтераваттных пучков.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные экспериментальные результаты исследования количественной взаимосвязи между характеристиками области множественной филаментации лазерного пучка (начало и конец области филаментации, её протяжённость, количество филаментов и их распределение в поперечном и продольном сечении пучка) и характеристиками лазерного импульса (мощность, энергия, поперечный размер пучка, его пространственная фокусировка и дефокусировка, искажения фазового фронта частей пучка) могут быть использованы для таких задач атмосферной оптики, как адресный перенос фемтосекундных лазерных импульсов через атмосферу, дистанционный широкополосный анализ состава атмосферы методом многочастотного зондирования, флуоресцентная и эмиссионная спектроскопия оптических и динамических СВЧ волноводов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность обосновывается воспроизводимостью результатов измерений (не менее 85 %) и её стабильностью во времени при повторении эксперимента более 100 раз в одних и тех же условиях;

использованы в качестве приёмников оптических сигналов сертифицированные датчики, а в качестве компонентов регистрирующего оборудования – метрологически поверенные приборы;

выявлено качественное согласие с результатами других авторов в тех случаях, когда возможно такое сопоставление.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

реализован режим управления и передачи высокой интенсивности ($\sim 10^{12}$ Вт/см²) ультракоротких лазерных импульсов в виде пучка бесплазменных, протяжённых (> 100 м), слаборасходящихся (десятки мкрад) каналов, обладающих широким спектром излучения (300 нм) на 140-метровой трассе в условиях фокусировки и дефокусировки отдельных частей лазерного пучка. Экспериментальные результаты имеют свидетельства, подтверждающие исключительное право Института оптики атмосферы СО РАН, в том числе претендента на полученный результат

интеллектуальной деятельности: база данных № 303 от 23.03.2017 «Пространственные характеристики ПФК, образованных при распространении фемтосекундных лазерных импульсов в воздухе» и база данных № 304 от 23.03.2017 «Трансформация спектральных характеристик ПФК, образованных при распространении фемтосекундных лазерных импульсов в воздухе».

Личный вклад соискателя состоит в: участии в постановке задач, разработке экспериментальных методик, создании экспериментальных установок, планировании и проведении экспериментов, проведении расчётов, обработке и анализе результатов, подготовке материалов для научных публикаций и выступлениях на конференциях.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней для диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи: исследование эволюции пространственного профиля и спектральных характеристик субтераваттных фемтосекундных импульсов титан-сапфирового лазера в условиях филаментации, управляемой системами формирования оптических пучков, имеющей значение для развития нелинейной атмосферной оптики.

На заседании 26.09.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Кучинской О. И.** учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.05 – Оптика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 20, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Майер Георгий Владимирович

Учёный секретарь
диссертационного совета

Пойзнер Борис Николаевич

26.09.2019