

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Дмитриева Александра Капитоновича  
на диссертационную работу **Кучинской Олеси Ивановны**  
**«Множественная филаментация лазерных импульсов при управлении  
волновым фронтом системами формирования оптических пучков»**,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.05 – Оптика

При распространении мощного фемтосекундного лазерного излучения в оптических средах его пучок испытывает самофокусировку и филаментацию. Самофокусировка проявляется в том, что при достижении пиковой мощностью пучка критического значения либо весь пучок, либо отдельные его части начинают сжиматься по мере распространения излучения, приводя к увеличению значения интенсивности в областях нелинейных фокусов. При достижении критических значений интенсивности происходит ионизация среды, приводящая к созданию тонкой нитевидной структуры пучка – филаменту.

Исследования, результаты которых изложены в диссертационной работе О. И. Кучинской, относятся к проблеме взаимодействия мощных импульсов лазерного излучения с веществом модельной воздушной трассы, в которой они распространяются. Данная проблема, возникшая одновременно с появлением лазеров, несомненно, имеет свою актуальность, как в плане фундаментальных исследований, так и в плане разработки различных технических приложений в задачах атмосферной оптики. При этом возможности исследователей существенно увеличились с появлением фемтосекундных лазеров, которые позволили на протяженных воздушных трассах изучать такие нелинейно-оптические эффекты, как филаментация лазерного пучка, генерация суперконтинуального свечения, неупругое рассеяние на аэрозолях и генерация высших гармоник. Данные исследования являются основой для разработки таких приложений, как проводка молниевых разрядов по заданной траектории, многочастотное зондирование параметров атмосферы с использованием суперконтинуального свечения, диагностика воздуха и воды на основе лазерной индуцированной плазмы и т.д.

Актуальность проводимого исследования определена перспективностью использования явления филаментации и сопровождающих эффектов в различных областях. Уникальные свойства мощного фемтосекундного лазерного излучения

указывают на перспективы использования фемтосекундных лазерных систем в атмосферных исследованиях. В списках проблем, которые предполагается решить с помощью фемтосекундных лазерных технологий, стоят такие, как оптическая связь, лазерный мониторинг природных и техногенных сред, молниезащита.

Научная и практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследований расширяют представления о физике процесса взаимодействия сверхмощных фемтосекундных лазерных импульсов со средой распространения. Практическая сторона работы связана с получением ряда спектральных характеристик пост- и бес-филаментационных каналов (ПФК и БФК, соответственно), которые необходимы для решения задач дистанционного зондирования атмосферы. Количественная взаимосвязь между параметрами лазерного излучения и характеристиками области филаментации и ПФК носит эмпирический характер и применима для разработки рекомендаций по управлению положением высокоинтенсивных каналов на протяженных атмосферных трассах. Кроме того, проведенные исследования представляют интерес для областей лазерной физики, связанных с разработкой микролазеров и элементов оптоэлектроники.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обусловлены возможным учетом методических и экспериментальных ошибок, воспроизводимостью результата, близкой к 100%, его стабильностью во времени при многократном повторении эксперимента в одних и тех же условиях, согласованностью результата с результатами других авторов.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников и литературы.

**Во введении** к диссертации обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследования и задачи, решение которых определяет достижение поставленной цели.

**Первая глава** диссертации содержит обзор результатов экспериментальных и теоретических исследований, имеющих в источниках. На основе проведенного анализа автор формулирует задачи, нерешенные на момент начала проведения исследований.

**Вторая глава** посвящена исследованию количественных связей между параметрами лазерного излучения (энергия, длительность импульса, степень фокусировки, профиль пучка) и характеристиками области филаментации (длина области филаментации, положение, количество филаментов). В данной главе определена область формирования различных компонент в поперечном сечении

пучка (дофиламентационные, филаментационные, постфиламентационные, бесплазменные каналы, кольцевая структура отдельных филаментов, кольцевая структура пакета филаментов) при множественной филаментации на атмосферной трассе; измерена угловая и пространственная расходимость каждой компоненты, их спектральный состав; определена возможность формирования на заданном расстоянии от источника значения интенсивностей оптического поля в постфиламентационных световых каналах, достаточных для инициирования плазмы на твердотельных мишенях для проведения анализа их элементного состава.

**В третьей главе** экспериментально была изучена возможность управления пространственным положением и структурой области филаментации широкоапертурного лазерного пучка путем внесения контролируемых искажений фазы волны с помощью многоэлементного биморфного деформируемого зеркала. Описана возможность осуществлять конфигурирование пространственного расположения высокоинтенсивных световых каналов в поперечном сечении пучка. Для ряда специальных конфигураций волнового фронта пучка реализован режим бесплазменного распространения излучения в форме упорядоченной связки («снопа») высокоинтенсивных ( $10^{11}$ – $10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>) слаборасходящихся ( $<0,01$  мрад) световых каналов, имеющих миллиметровый поперечный размер и высокую пространственную протяженность ( $>100$  м).

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментов по индуцированию плазмы на аэрозольных частицах, содержащих металлы, помещенных в область филаментации пучка и идентификации элементного состава по эмиссионным спектрам свечения. Были проведены исследования влияния энергии лазерного импульса на такие параметры области филаментации как: протяженность ОФ, толщина плазменной колонки, начало ОФ, т.е. положение нелинейного фокуса, расстояние до центров двойной области филаментации, формируемой в результате влияния параметра астигматизма на оптических элементах. Установлено, что на формирование двойной области филаментации и их пространственные характеристики влияет не только параметр астигматизма, формирующих сходящиеся пучки (как было установлено ранее), но и начальная пиковая мощность лазерных импульсов.

**В заключении** сформулированы наиболее значимые результаты диссертации, отвечающие критерию новизны, среди которых можно выделить следующие:

Установлено, что угловая расходимость отдельных ПФК составляет  $\sim 12$  мкрад, группы ПФК  $\sim 30$  мкрад. Отношение расстояния  $L$  на котором

формируются префиламентационные каналы к длине нелинейной фокусировки Zn в диапазоне энергий 20-40 мДж остается почти неизменным  $L/Zn \approx 0,7$ .

Показано, что спектр ПФК обладает значительным спектральным уширением, и охватывает диапазон 630-1000 нм, спектры ПФК, колец и пучка существенно отличаются. Уширение спектра колец ассиметрично и направлено в коротковолновую область спектра. Данные уширения являются устойчивыми и не изменяются при удалении от области множественной филаментации.

Показано, что оптический канал формируется в поперечный размер, соответствующий его размеру внутри области филаментации, до начала области филаментации, при этом не каждый сформированный до области филаментации канал «превращается» в филамент, т.е. структуру, сопровождающуюся плазмообразованием и генерацией конической эмиссии.

Показано, что использование гибридной схемы позволяет реализовать режим бесплазменного каналирования лазерного пучка на трассе в пределах сотен метров, при котором в его поперечном сечении формируются многочисленные ( $\sim 20$ ), узкие ( $\sim 1$  мм), протяженные ( $> 100$  м), высокоинтенсивные ( $10^{11}$ - $10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>), широкоспектральные (250 нм), слаборасходящиеся ( $\sim 10$  мкрад) оптические структуры.

Показано, что пространственная устойчивость интенсивных световых каналов не связана с балансом керровской и плазменной нелинейностей, а обеспечивается интерференцией расходящихся и сходящихся волн центра канала и периферии пучка.

По теме диссертации О. И. Кучинской опубликована 31 работа, в том числе 13 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 16 статей в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Web of Science.

Автореферат объективно и полно отражает содержание диссертации, положения, выносимые на защиту, соответствуют основным результатам работы.

Диссертация не свободна от недостатков.

В главе 3 диссертации представлен эффективный способ управления ОМФ в рамках модельной трассы протяженностью 140 метров путем комбинирования телескопической и деформируемой систем. Несмотря на перспективность

разработанной экспериментальной установки, в работе отсутствуют рекомендации по дальнейшей её доработке и практическому использованию.

В главе 4 диссертации описан модельный эксперимент по воздействию филаментированного участка лазерного пучка на растворы с наночастицами алюминия в полых микротрубках. Однако полученные результаты не нашли отражения в научных положениях и в автореферате, хотя и представляют научный и практический интерес.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Считаю, что диссертационная работа Кучинской Олеси Ивановны «Множественная филаментация лазерных импульсов при управлении волновым фронтом системами формирования оптических пучков», является законченным научным исследованием, содержащим большой объём экспериментальных результатов, представляющих практический и научный интерес. Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Кучинская Олеся Ивановна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент

Руководитель Центра коллективного пользования «Оптические и лазерные технологии», главный научный сотрудник кафедры лазерных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; (383) 346 08 43; rector@nstu.ru, <https://www.nstu.ru>), доктор физико-математических наук (01.04.21 – Лазерная физика), профессор

Александр Капитонович Дмитриев

18.08.2019

Подпись А. К. Дмитриева удостоверяю  
Ученый секретарь совета НГТУ



Г. М. Шумский