

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук Компанца Виктора Олеговича на диссертационную работу Мокроусовой Дарьи Вадимовны «Влияние резервуара энергии на распространение фемтосекундных лазерных импульсов в режиме филаментации вблизи геометрического фокуса», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21- лазерная физика

Изучение различных аспектов филаментации проводится научными группами во всем мире. Филаментация коллимированных пучков ультракоротких лазерных импульсов достаточно хорошо изучена в различных условиях: в газах, жидкостях и твердых телах, в случае нормальной и аномальной дисперсии, при различных длинах волн, длительностях, пиковых мощностях ультракоротких импульсов, при значительно отличающихся поперечных размерах пучка. Для достаточно жесткой геометрической фокусировки (то есть такой, что фокусное расстояние значительно меньше, чем расстояние до самофокусировки в коллимированном случае) исследований проведено гораздо меньше. Интерес именно к филаментации сфокусированных ультракоротких импульсов обусловлен возможностью её применения для наноструктурирования поверхностей и объемов образцов, записи «треков» в кристаллах, а также увеличением эффективности различных нелинейных процессов (таких как генерация ТГц излучения, уширение спектра лазерного импульса).

Диссертация Д.В. Мокроусовой посвящена исследованию различных особенностей филаментации сфокусированных лазерных пучков, обусловленных влиянием резервуара энергии. Среди них формирование постфиламентационных каналов, взаимодействие нескольких филаментов и локализация резервуара энергии вблизи оптической оси излучения. Определение вышеуказанных особенностей важно и актуально как с фундаментальной точки зрения для лучшего понимания процессов, происходящих при филаментации геометрически сфокусированного излучения, так и с практической точки зрения для оптимизации параметров лазерных импульсов для конкретных применений. Актуальность данного исследования подтверждается также тем, что экспериментальные выводы автора получены в сотрудничестве с ведущими российскими научными группами, занимающимися численным моделированием филаментации.

Диссертация включает в себя введение, пять глав, заключение, список литературы и изложена на 124 страницах машинописного текста. Список литературы насчитывает 129 наименований.

Во *Введении* приведена общая информация о филаментации, обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, описана научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, а также представлена информация об апробации результатов исследования и о личном вкладе автора.

*Первая глава* содержит историю исследования самофокусировки и ионизации среды до первого наблюдения филаментации, подробный разбор физических явлений, сопровождающих филаментацию ультракоротких импульсов, анализ задач, стоящих перед учеными для эффективного применения филаментации в полевых экспериментах, особенности филаментации сфокусированных пучков.

Во *Второй главе* автор приводит описание фемтосекундной титан-сапфировой лазерной системы (созданной компанией Авеста), а также приборов и методов, которые использовались в экспериментальных исследованиях, приведенных в данной диссертации.

*Третья глава* посвящена исследованию резервуара энергии при филаментации сфокусированных импульсов, а именно, определению его характерного размера и доли энергии, которая в нем содержится. Определено влияние диафрагмы, внесенной вблизи геометрического фокуса, на последующие филаментацию и плазмообразование.

В *Главе четыре* приведены описание и результаты экспериментов по изучению взаимодействия нескольких лазерных пучков, полученных при помощи амплитудной диафрагмы с тремя или четырьмя отверстиями. Исследования проведены для пучков первой (744 нм) и третьей (248 нм) гармоник лазерной системы, при этом наблюдались значительные отличия для этих двух случаев.

В *Главе пять* рассматривается влияние различных параметров (энергия импульса, числовая апертура) на линейную расходимость постфиламентационных каналов и пучка как целого. Указана роль дифракционных колец, окружающих постфиламентационный канал, в сохранении его малой (по сравнению с исходной числовой апертурой) угловой расходимости.

В *Заключении* автор приводит основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- 1) Впервые указано на отличие параметров резервуара энергии при филаментации сфокусированных и коллимированных пучков, что проявляется в сохранении филаментационного режима распространения пучка после его диафрагмирования

2) Экспериментально продемонстрировано сложение нескольких филаментов с образованием одного цилиндрически симметричного филамента перед геометрическим фокусом

3) Измерена угловая расходимость постфиламентационных каналов, образовавшихся при филаментации сфокусированного пучка.

Автор диссертации провела вдумчивый и подробный анализ большого количества экспериментальных данных, а также их сопоставление с численными расчетами, выполненными учеными из МГУ им. Ломоносова и ИОА СО РАН. Результаты и выводы, которые приведены в диссертации, являются достоверными и обоснованными.

Несмотря на то, что рассматриваемая диссертационная работа проведена на высоком научном уровне, она не лишена недостатков:

1) Обзор современного состояния изучения геометрически сфокусированных импульсов, приведенный в разделе 1.3, слишком краток, ориентирован больше на применения сфокусированных импульсов и не содержит, например, упоминаний аксиальной фокусировки, которая также позволяет увеличивать интенсивность в филаменте по сравнению со случаем коллимированного излучения, кроме того, в обзоре не рассматриваются работы по визуализации постфиламентационных каналов методом лазерной колорации, позволяющим со сверхвысоким пространственным разрешением исследовать процессы жесткой фокусировки.

2) На рисунках 4.10 и 4.11 явно видна асимметрия пучка после прохождения маски, что означает неравную энергию во взаимодействующих филаментах. В диссертации не проанализировано возможное влияние данной асимметрии на сложение пучков.

3) В главе 4 при исследовании регуляризованных пучков не обсуждаются условия моделирования: учитывается ли дифракция на амплитудной маске и какой задаётся первоначальная форма каждого из складываемых импульсов.

4) В диссертации не проведен анализ возможности экстраполяции выводов о взаимодействии филаментов и образования постфиламентационных каналов на случай аномальной дисперсии среды.

Указанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

Основные результаты диссертации были представлены на 15 международных и всероссийских конференциях, и опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах,

соответствующих Положению о присуждении ученых степеней, и 11 сборниках тезисов по материалам конференций.

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

Диссертация «Влияние резервуара энергии на распространение фемтосекундных лазерных импульсов в режиме филаментации вблизи геометрического фокуса» полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Мокроусова Дарья Вадимовна, без сомнения, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика (физико-математические науки).

Официальный оппонент

Старший научный сотрудник Лаборатории спектроскопии ультрабыстрых процессов  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии  
Российской академии наук (ИСАН)

кандидат физико-математических наук \_\_\_\_\_ Компанец Виктор Олегович

«25» декабря 2019 г.

Почтовый адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5, ИСАН

Телефон: +7(495) 851-02-37

E-mail: kompanetsvo@isan.troitsk.ru

Подпись официального оппонента удостоверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института спектроскопии Российской академии наук

Почтовый адрес: 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5, ИСАН

Телефон: +7(495)851-02-21

E-mail: perminov@isan.troitsk.ru

  
Перминов Евгений Борисович



Список основных работ официального оппонента Компанца Виктора Олеговича по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. E. D. Zaloznaya, A. E. Dormidonov, V. O. Kompanets “Effect of Scale Characteristics of a Femtosecond Mid-IR Wave Packet on the Threshold Power of Filamentation”, *Bulletin Of The Lebedev Physics Institute* **46** (4), 122-125 (2019);
2. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets “A Method of Laser Coloration in Experiments on Filamentation of Individual Impulses and the Formation of a Light Bullet in a Homogeneous Transparent Dielectrics”, *Optics and Spectroscopy* **127** (1), 88-94 (2019);
3. S. V. Chekalin, A. E. Dormidonov, V. O. Kompanets, E. D. Zaloznaya, V. P. Kandidov “Light bullet supercontinuum”, *Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics* **36** (2), A43-A53 (2019);
4. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets, A. E. Dormidonov, V. P. Kandidov “Light bullet dynamics in uniform dielectrics (50th anniversary of the Institute of Spectroscopy, Russian Academy of Sciences)”, *Physics-Uspekhi* **62** (3), 282-288 (2019);
5. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets, E. D. Zaloznaya, V. P. Kandidov “Effect of group velocity dispersion on femtosecond filamentation of Bessel-Gaussian beams”, *Quantum Electronics* **49** (4), 344-349 (2019);
6. V. P. Kandidov, V. O. Kompanets, S. V. Chekalin “Role of Multiphoton Ionization in the Short-Wavelength Broadening of the Spectrum of a Light Bullet in the Middle Infrared Range”, *JETP Letters* **108** (5), 287-291 (2018);
7. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets, A. E. Dormidonov, V. P. Kandidov “Path length and spectrum of single-cycle mid-IR light bullets in transparent dielectrics”, *Quantum Electronics* **48** (4), 372-377 (2018);
8. E. D. Zaloznaya, V. O. Kompanets, A. E. Dormidonov, S. V. Chekalin, V. P. Kandidov “Similarity parameter for the process of mid-IR light bullet formation”, *Quantum Electronics* **48** (4), 366-371 (2018);
9. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets, A. E. Dormidonov, V. P. Kandidov “Influence of induced colour centres on the frequency - angular spectrum of a light bullet of mid-IR radiation in lithium fluoride”, *Quantum Electronics* **47** (3), 259-265 (2017);
10. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets, A. E. Dormidonov, E. D. Zaloznaya, V. P. Kandidov “Supercontinuum spectrum upon filamentation of laser pulses under conditions of strong and weak anomalous group velocity dispersion in transparent dielectrics”, *Quantum Electronics* **47** (3), 252-258 (2017);
11. A. E. Dormidonov, V. O. Kompanets, S. V. Chekalin, V. P. Kandidov “Dispersion of the anti-Stokes band in the spectrum of a light bullet of a femtosecond filament”, *JETP Letters* **104** (3), 175-179 (2016);

12. S. V. Chekalin, V. O. Kompanets, A. V. Kuznetsov, A. E. Dormidonov, V. P. Kandidov “Regular 'breathing' of a near-single-cycle light bullet in mid-IR filament”, *Laser Physics Letters* **13** (6), 065401 (2016);
13. A. V. Kuznetsov, V. O. Kompanets, A. E. Dormidonov, S. V. Chekalin, S. A. Shlenov, V. P. Kandidov “Periodic colour-centre structure formed under filamentation of mid-IR femtosecond laser radiation in a LiF crystal”, *Quantum Electronics* **46** (4), 379-386 (2016);
14. A. E. Dormidonov, V. O. Kompanets, S. V. Chekalin, V. P. Kandidov “Giantically blue-shifted visible light in femtosecond mid-IR filament in fluorides”, *Optics Express* **23** (22), 29202-29210 (2015);
15. S. V. Chekalin, A. E. Dokukina, A. E. Dormidonov, V. O. Kompanets, E. O. Smetanina, V. P. Kandidov “Light bullets from a femtosecond filament”, *Journal of Physics B-Atomic Molecular and Optical Physics* **48** (9), 094008 (2015).