

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Селезнева Леонида Владимировича на тему «Филаментация ультракоротких лазерных импульсов в сходящихся пучках», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертация Леонида Владимировича Селезнева посвящена экспериментальному исследованию нелинейно-оптического явления филаментации, которое происходит при распространении ультракороткого мощного лазерного импульса в прозрачных средах. Основная **новизна** исследования заключается в том, что в работе рассматривается распространение остро сфокусированных пучков в режиме самофокусировки и филаментации излучения. На момент начала выполнения работ по диссертации такой режим филаментации был недостаточно изучен. **Актуальность** диссертационной работы обусловлена широким применением сходящихся пучков фемтосекундных лазерных импульсов в обработке различных материалов, микро- и нано-структурировании. Поэтому основной **целью работы** было экспериментальное определение условий и параметров сфокусированных ультракоротких лазерных импульсов, распространяющихся в режиме филаментации в газообразных и конденсированных средах.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

Введение характеризует работу в целом и включает в себя описание предмета исследования, защищаемые положения, информацию об апробации исследования и оценку личного вклада автора.

Глава 1 содержит описание истории открытия самофокусировки; физических процессов, происходящих при филаментации мощного лазерного излучения; приведен литературный обзор экспериментальных и численных исследований филаментации.

В главе 2 автор приводит описание фемтосекундной лазерной системы, на которой проведена большая часть исследований по теме диссертации, описывает принцип работы генератора гармоник, который использовался для получения третьей

гармоники. Здесь же диссертант приводит ключевые характеристики приборов, задействованных в экспериментах.

В Главе 3 приводятся результаты экспериментальных исследований распространения и филаментации в воздухе мощных фемтосекундных ИК и УФ сходящихся лазерных пучков, которые обычно применяют для лазерной обработки. Наиболее важным результатом данной главы, на наш взгляд, являются работы по исследованию возможности прохождения филаментов за фокальную перетяжку пучка, особенно в режиме множественной филаментации.

Глава 4 посвящена экспериментальным исследованиям управления протяженностью плазменного канала, образующегося при филаментации сходящегося лазерного пучка, при помощи амплитудной или фазовой модуляции поперечного профиля пучка. Особо отметим экспериментальные результаты по филаментации сегментированных пучков, демонстрирующих наибольшую протяженность самонаведенного плазменного канала в среде.

В Главе 5 методами оптогальваники и оптоакустики рассматриваются закономерности ионизации различных газов при воздействии сходящихся пучков различной интенсивности. В частности, исследованы особенности фотоионизации азота и аргона при различной интенсивности лазерного излучения.

В Главе 6 приводятся результаты экспериментов по филаментации сходящихся пучков в конденсированных средах. Рассматриваются различные режимы объемного микроструктурирования прозрачных сред с помощью филаментации излучения. Продemonстрировано, что можно подобрать такие экспериментальные условия, которые позволят достичь наименьших значений диаметра и длины филамента для осуществления микротекстурирования различных образцов (полимеры, алмаз, биоткани).

В Заключение сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Таким образом, **обоснованность** всех четырех защищаемых положений не вызывает сомнений. Полученные в работе результаты обладают **новизной**, имеют высокую степень **достоверности**, поскольку выполнены на современном оборудовании и хорошо согласуются с результатами численного моделирования, которое проводилось несколькими научными группами, использующими различные методы и подходы. Также экспериментальные данные, полученные разными

методами, хорошо согласуются. Результаты исследований были доложены на множестве научных конференций, опубликованы в различных рецензируемых журналах.

Результаты, полученные в диссертации, имеют значение для фундаментальных и прикладных научных задач, существенно углубляют представления о филаментации в целом и процессах, ее сопровождающих. Филаментация сходящихся (сфокусированных) лазерных пучков определяет режимы применения фемтосекундных лазеров в глазной хирургии, стоматологии, нейрохирургии, для сверления металлов, создания поверхностных структур, резки алмазов и др. Совокупность сформулированных автором положений на основе полученных результатов можно квалифицировать, как научное достижение.

Материал диссертации широко представлен в публикациях в отечественных, а также и зарубежных научных журналах; неоднократно докладывался на Международных и Российских конференциях. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Стоит отметить, что диссертационная работа не свободна от недостатков. В частности,

- 1) Не все представленные в работе эксперименты проведены для рассматриваемых двух длин волн. Соответственно, не везде есть сопоставление таких экспериментальных данных.
- 2) На стр. 120 перепутана терминология в описании методики эксперимента по филаментации сходящихся лазерных пучков при амплитудной модуляции поперечного профиля пучка, поскольку распределение плотности энергии в поперечном сечении пучка можно было зафиксировать только при расположении камеры под наименьшим углом к оптической оси пучка с использованием, например экрана, но никак не перпендикулярно оптической оси;
- 3) В описании рисунка 4.3 (б) не понятно, сколько было всего плазменных каналов. Вначале их было два, а потом появилось ещё два, которые не видно. Для того чтобы снять этот вопрос можно было зафиксировать камерой на экране поперечный профиль пучка в режиме филаментации и представить результат в диссертации.

- 4) На рисунке 4.3 представлено свечение плазменных каналов, образующихся при филаментации профилированных пучков. Здесь пучки фокусировались линзой с фокусным расстоянием 75 мм. Затем приводится описание экспериментальных данных, которые были получены с применением линзы, фокусное расстояние которой составляло 85 см и указано, что оцифрованные изображения плазменных каналов аналогичны, показанным на Рис.4.3. Корректно ли утверждение, что изображения каналов аналогичны, т.к. используются режимы жесткой и сравнительно мягкой фокусировок пучка?
- 5) На странице 130 диссертации в описании методики экспериментов по филаментации импульса с фазовой модуляцией волнового фронта лазерного пучка указано, что, адаптивная система была оптимизирована для работы с импульсами фемтосекундной длительности. Здесь не выделено в чем заключалась оптимизация системы именно для работы со сверхкоротким лазерным излучением.

Замечания по **защищаемым положениям** связаны с неконкретностью формулировок и отсутствием в некоторых из положений области изменения значимых параметров, например:

1. 2-е положение сформулировано не как защищаемое положение, а как основное достижение. Первая его часть достаточно очевидна для специалистов, в то время как оставшаяся часть написана неконкретно. Не указывается, какие конкретно новые «условия формирования плазменных каналов» обнаружены и защищаются диссертантом;
2. В 4-ом защищаемом положении не сообщается, какие конкретно новые, выявленные диссертантом «закономерности распространения сходящихся пучков» позволят осуществить реализацию «филаментационного режима распространения надкритических сходящихся пучков с числовой апертурой до 0.65».

Указанные недостатки не влияют на положительную оценку работы. В целом диссертация Л.В.Селезнева является высокой по качеству работой. Основные результаты диссертации **опубликованы** в 18 статьях в ведущих российских и

зарубежных реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Все публикации соответствуют теме диссертации и достаточно полно отражают ее основное содержание.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Представленные материалы являются законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяют критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Автор диссертационной работы Селезнев Леонид Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

Кабанов Андрей Михайлович

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика,
главный научный сотрудник лаборатории нелинейно-оптических взаимодействий
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института оптики
атмосферы имени В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук,
Почтовый адрес: 634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1
e-mail: kam@iao.ru
Телефон: 8 (3822)492738

Кабанов А.М.

Дата: 27.09.2017

Подпись А.М. Кабанова удостоверяю:

Ученый секретарь ИОА СО РАН

к.ф.-м.н. О.В. Тихомирова

Дата: 27.09.2017



Наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики
атмосферы имени В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук
Почтовый адрес:

634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1

Телефон: 8 (3822)492875

e-mail: science@iao.ru

Список основных работ официального оппонента Кабанова Андрея Михайловича по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет.

1. Apeksimov, D. V., Zemlyanov, A. A., Iglakova, A. N., Kabanov, A. M., Kuchinskaya, O. I., Matvienko, G. G., ... & Petrov, A. V. (2018). 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. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 31(1), 31-35.
2. Apeksimov, D. V., Zemlyanov, A. A., Kabanov, A. M., & Stepanov, A. N. (2017). Post-filamentation light channels in air. *Atmospheric and oceanic optics*, 30(5), 451-455.
3. Apeksimov, D. V., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A., Kabanov, A. M., Mayor, A. Y., & Petrov, A. V. (2017). Dynamics of the structure of multiple filamentation domain of laser pulses in glass. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 30(3), 222-225.
4. Apeksimov, D. V., Zemlyanov, A. A., Iglakova, A. N., Kabanov, A. M., Kuchinskaya, O. I., Matvienko, G. G., & Petrov, A. V. (2016). Multiple filamentation of laser beams of different diameters in air along a 150-meter path. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 29(3), 263-266.
5. Apeksimov, D. V., Bukin, O. A., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A., Iglakova, A. N., Kabanov, A. M., & Sokolova, E. B. (2016). Multiple filamentation of laser pulses in a glass. *Russian Physics Journal*, 58(11), 1581-1586.
6. Apeksimov, D. V., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A., Iglakova, A. N., Kabanov, A. M., Kuchinskaya, O. I., & Sokolova, E. B. (2016). Multiple filamentation of collimated laser radiation in water and glass. *Atmospheric and oceanic optics*, 29(2), 135-140.
7. Geints, Y. E., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A., & Kabanov, A. M. (2016). Microstructure of the multiple filamentation region of femtosecond laser radiation in a solid dielectric. *Atmospheric and oceanic optics*, 29(2), 141-151.
8. Geints, Y. E., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A. E., Kabanov, A. M., & Petrov, A. V. (2016). Microstructure of the multiple-filamentation zone formed by femtosecond laser radiation in a solid dielectric. *Quantum Electronics*, 46(2), 133.
9. Apeksimov, D. V., Bukin, O. A., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A., Kabanov, A. M., Kuchinskaya, O. I., & Khoroshaeva, E. E. (2015). Filamentation of focused and collimated laser beams in liquids. *Russian Physics Journal*, 58(1), 117-124.
10. Apeksimov, D. V., Geints, Y. E., Zemlyanov, A. A. E., Kabanov, A. M., Matvienko, G. G. E., & Oshlakov, V. K. (2015). Control of the domain of multiple filamentation of terawatt laser pulses along a hundred-meter air path. *Quantum Electronics*, 45(5), 408.
11. Afonasenkov, A. V., Apeksimov, D. V., Geints, Y. E., Golik, S. S., Kabanov, A. M., & Zemlyanov, A. A. (2014). Study of filamentation dynamics of ultrashort laser radiation in air: beam diameter effect. *Journal of Optics*, 16(10), 105204.
12. Apeksimov, D. V., Bukin, O. A., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A., Kabanov, A. M., Kuchinskaya, O. I., ... & Khoroshaeva, E. E. (2014). Interaction of femtosecond pulses of a two-harmonic Ti: Sapphire laser with liquid media. *Physics of Wave Phenomena*, 22(3), 159-168.
13. Bukin, O. A., Babii, M. Y., Golik, S. S., Il'in, A. A. E., Kabanov, A. M., Kolesnikov, A. V., ... & Shmirko, K. A. (2014). Lidar sensing of the atmosphere with gigawatt laser pulses of femtosecond duration. *Quantum Electronics*, 44(6), 563.
14. Geints, Y. E., Golik, S. S., Zemlyanov, A. A. E., Kabanov, A. M., & Matvienko, G. G. (2014). Influence of the laser beam size on the length of a filament formed by high-power femtosecond laser radiation in air. *Quantum Electronics*, 44(5), 489