

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Лосева Валерия Федоровича
на диссертационную работу Селезнева Леонида Владимировича
«Филаментация ультракоротких лазерных импульсов в сходящихся пучках»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.21- лазерная физика

В течение последних двадцати лет филаментация и ее применение активно изучаются многими научными группами во всем мире. Основной интерес исследования был направлен на изучение распространения коллимированных или слабосфокусированных лазерных пучков. К настоящему моменту проведено значительное количество теоретических и экспериментальных работ в этой области. Необходимо отметить, что распространение сходящихся пучков в режиме филаментации, а так же, происходящие при этом нелинейные оптические процессы, к началу работы над диссертацией рассматривались только в отдельных работах, в которых были получены не всегда согласующиеся друг с другом результаты. В то же время для фемтосекундной лазерной обработки (объемное микроstructuring, лазерная хирургия, наноструктурирование поверхности и др.) обычно применяются именно сходящиеся пучки, поэтому понимание нелинейных процессов, происходящих в таких пучках, что было целью диссертационной работы, безусловно, является **актуальной** задачей.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Продемонстрирована стабилизация интенсивности в филаменте, плотности плазмы и поперечного размера плазменного канала при увеличении числовой апертуры сходящегося ИК лазерного пучка более $1-3 \cdot 10^{-2}$.
2. Показана возможность симметризации поперечного профиля УФ лазерного пучка после прохождения геометрической перетяжки пучка в режиме множественной филаментации.
3. Экспериментально обнаружено, что при филаментации сходящихся пучков с помощью модуляции поперечного профиля лазерного пучка (фазовой или амплитудной) можно изменять длину плазменного канала.
4. В сильносходящихся пучках, распространяющихся в конденсированных средах, экспериментально наблюдалась множественная филаментация ИК лазерных импульсов.

Достоверность полученных результатов определяется всесторонним анализом экспериментальных данных, сопоставлением с имеющимися в настоящее время

теоретическими расчетами, выполненными учеными из МГУ им. Ломоносова и ИОА СО РАН, публикациями в высокорейтинговых рецензируемых изданиях и многочисленными докладами на широкоизвестных международных конференциях.

Практическая значимость:

1. Показана возможность создания квазиточечного источника ультракоротких УФ импульсов.
2. Продемонстрирована возможность «выравнивания» неоднородностей в распределении плотности энергии в результате самосимметризации поперечного профиля мощного УФ лазерного пучка после прохождения перетяжки сходящегося пучка.
3. Исследованные режимы внутриобъемной маркировки природных алмазов.
4. Разработан метод просветления склеры и записи в ней микрополостей.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка литературы.

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, о личном вкладе автора.

В **первой главе** приводится обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию явления филаментации лазерных импульсов в газообразных и конденсированных средах и сопутствующих этому явлений. Рассматриваются работы по изучению филаментации как коллимированных, так и сходящихся пучков.

Во **второй главе** представлено описание экспериментальной титан-сапфировой лазерной установки, на которой проводились эксперименты, а также приведены характеристики применяемых приборов.

В **третьей главе** приведены результаты экспериментального исследования влияния числовой апертуры сходящихся пучков на филаментацию ультракоротких УФ и ИК лазерных импульсов в воздухе. Для разных числовых апертур измерены интенсивности лазерного излучения, геометрические размеры и электронная плотность плазменных каналов, образующихся при филаментации. Показана стабилизация этих параметров при увеличении числовой апертуры более, чем несколько сотых. В главе приводятся

результаты экспериментального исследования распространения мощного субтераваттного УФ лазерного импульса в воздухе после его прохождения через перетяжку пучка.

В четвертой главе изучается влияние амплитудных или фазовых искажений пучка, которые могут вноситься оптическими элементами, доставляющими сходящийся лазерный пучок до объекта обработки, на филаментацию. Рассматриваются влияние виньетирования пучка, сферической аберрации, астигматизма и динамического набега фазы при прохождении пучка через проходную оптику.

Пятая глава посвящена изучению процессов ионизации различных газов (воздух, азот, кислород, аргон и др.) ультракороткими УФ и ИК лазерными импульсами в широком диапазоне интенсивностей вплоть до значений, наблюдаемых при филаментации сходящихся пучков. В частности, рассматривается изменение степени фотонности при увеличении лазерной интенсивности в случае ионизации аргона и азота.

В шестой главе приводятся результаты изучения распространения сходящихся пучков в различных конденсированных средах. Продемонстрировано микроструктурирование природных алмазов и просветленной глазной склеры.

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

Рассматриваемая диссертационная работа не лишена недостатков:

В Главе 1, возможно, излишне подробно описаны работы, посвященные изучению филаментации коллимированных пучков, поскольку диссертация направлена на исследование филаментации сходящихся пучков.

В Главе 6 практически нет исследования филаментации в алмазах и глазной склере – описано только их микроструктурирование.

Однако указанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации. Полученные в работе результаты, основные положения и выводы являются обоснованными, обладают существенной новизной, а диссертация представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком международном уровне.

Основные результаты диссертации были представлены на множестве международных и всероссийских конференций, и опубликованы в 41 работе, в том числе в 18 публикациях в рецензируемых журналах, соответствующих Положению о присуждении ученых степеней.

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

Диссертация Селезнева Леонида Владимировича «Филаментация ультракоротких лазерных импульсов в сходящихся пучках» полностью соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, без сомнения, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика (физико-математические науки).

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий лабораторией Газовых лазеров
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)
634055 г. Томск
проспект Академический, 2/3
+7(382)249-1891
losev@ogl.hcei.tsc.ru



Лосев Валерий Федорович

Подпись официального оппонента удостоверяю:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук
тел. +7(382)2491-947
email: pegel@lfe.hcei.tsc.ru

Доктор физико-математических наук



И.В. Пегель

«17» августа 2018 г.

Список основных работ официального оппонента Лосева Валерия Федоровича по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет.

1. Ivanov, N. G., & Losev, V. F. (2017). Kerr nonlinearity effect on femtosecond pulse radiation filamentation in air. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 30(4), 331-336.
2. Ivanov, N. G., Losev, V. F., Prokop'ev, V. E., & Sitnik, K. A. (2017). Generation of a highly directional supercontinuum in the visible spectrum range. *Optics Communications*, 387, 322-327.
3. Andreev, M. V., Bobrovnikov, S. M., Gorlov, E. V., Zharkov, V. I., Losev, V. F., Panchenko, Y. N., & Puchikin, A. V. (2017). Increasing the Sensitivity of Lidar Systems Based on the LF/LIF Method. *Russian Physics Journal*, 60(8), 1353-1359.
4. Alekseev, S. V., Ivanov, M. V., Ivanov, N. G., Losev, V. F., Mesyats, G. A., Mikheev, L. D., ... & Yastremskii, A. G. (2017). THL-100 Multi-Terawatt Laser System of Visible Range. *Russian Physics Journal*, 60(8), 1346-1352.
5. Alekseev, S. V., Ivanov, N. G., Ivanov, M. V., Losev, V. F., Mesyats, G. A., Mikheev, L. D., ... & Yastremskii, A. G. E. (2017). Formation and amplification of 50-ps pulses in a THL-100 hybrid laser system. *Quantum Electronics*, 47(3), 184.
6. Kononova, N. G., Kokh, A. E., Kokh, K. A., Lanskii, G. V., Losev, V. F., Svetlichnyi, V. A., & Andreev, Y. M. (2016). Down-Conversion of Short-Wavelength Radiation in LBO Crystal. *Russian Physics Journal*, 59(8), 1307-1315.
7. Ivanov, N. G., Ivanov, M. V., Losev, V. F., & Yastremskii, A. G. (2016). Amplification of Conically Diverging Laser Beams in the Gas Amplifier of the THL-100 Laser System. *Russian Physics Journal*, 59(7), 984-993.
8. Ivanov, N. G., Losev, V. F., & Prokop'ev, V. E. (2016). Special Features of Lasing on N 2, N 2+, Ar, Ne, and CO2 Transitions Pumped by a Nanosecond Transverse Discharge. *Russian Physics Journal*, 59(6), 862-867.
9. Antsygin, V. D., Losev, V. F., Mamrashev, A. A., Nikolaev, N. A., & Potaturkin, O. I. (2016). Specific features of studying anisotropic media by methods of time-domain terahertz spectroscopy. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 52(4), 374-380.
10. Alekseev, S. V., Ivanov, N. G., Losev, V. F., & Mironov, S. Y. (2016). The conversion of a femtosecond pulse with a central wavelength of 950 nm to the second harmonic. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 29(4), 365-370.
11. Ivanov, N. G., Losev, V. F., Prokop'ev, V. E., & Sitnik, K. A. (2016). Superradiance by molecular nitrogen ions in filaments. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 29(4), 385-389.
12. Yastremskii, A. G. E., Ivanov, N. G., & Losev, V. F. (2016). Influence of the input radiation pulse characteristics on the parameters of a XeF (C-A) amplifier in a THL-100 laser system. *Quantum Electronics*, 46(11), 982.
13. Andreev, Y. M., Naftaly, M., Molloy, J. F., Kokh, A. E., Lanskii, G. V., Svetlichnyi, V. A., ... & Kokh, K. A. (2015). LBO: optical properties and potential for THz application. *Laser Physics Letters*, 12(11), 115402.
14. Panchenko, Y. N., Andreev, M. V., Losev, V. F., & Puchikin, A. V. (2015). Formation of a gas-discharge plasma active medium on Kr2F* trimers. *Optics Communications*, 356, 551-555.
15. Martynovich, E. F., Dresviansky, V. P., Kuznetsov, A. V., Kuzakov, A. S., Popov, A. A., Alekseev, S. V., ... & Bagayev, S. N. (2014). Simulation of filamentation of single femtosecond laser pulses in LiF. *Laser Physics*, 24(7), 074001.