

**Минобрнауки России
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)**

пр-кт Академический, д. 2/3,
г. Томск, 634055

тел. (3822) 491-544, факс (3822) 492-410

e-mail: contact@hcei.tsc.ru

<http://www.hcei.tsc.ru>

ОКПО 05160369; ОГРН 1027000871666

ИНН 7021001375; КПП 701701001



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИСЭ СО РАН
академик РАН

Н. А. Ратахин Н. А. Ратахин

« 11 » декабря 2019 г.

от 12/12 2019 № 15310-28/900
на № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Мокроусовой Дарьи Вадимовны

«Влияние резервуара энергии на распространение фемтосекундных лазерных импульсов в режиме филаментации вблизи геометрического фокуса» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21-лазерная физика

Филаментация ультракоротких лазерных импульсов является объектом изучения многих научных групп с первого её наблюдения в 1995 году. Поначалу, исследования филаментации в большинстве своём проводились с коллимированными и слабофокусированными импульсами титан-сапфировых лазерных систем (центральная длина волны около 800 нм). В то время работы, посвященные геометрически сфокусированному излучению, носили, в основном, прикладной характер, и не содержали каких-либо обобщающих утверждений. Либо сфокусированное излучение использовалось для модельных экспериментов для последующего обобщения на коллимированный случай, при этом различия между филаментацией сфокусированного и коллимированного излучения не привлекали особенного внимания исследователей. Научная группа, в которой состоит Д. В. Мокроусова, одной из первых занялась систематическим экспериментальным исследованием филаментации сфокусированных импульсов, что позволило приблизиться к лучшему пониманию влияния геометрической фокусировки на нелинейный процесс филаментации и сопутствующего плазмообразования. Данная диссертационная работа является логическим продолжением этой линии экспериментов. В ней основное внимание уделяется резервуару энергии – низкоинтенсивной (в отличие от филамента) структуре пучка, которая, однако, играет решающую роль в существовании протяженного филамента.

Со временем, интерес к филаментации сфокусированных импульсов у научного сообщества возрос, в частности, благодаря повышенному вниманию к генерации широкополосного ТГц излучения в филаменте. Еще одной причиной увеличения интереса стала возможность применения сфокусированных ультракоротких лазерных импульсов для структурирования поверхностей и объемов образцов. Для такого рода применений крайне **актуальны** исследования, проведенные в рамках диссертации Д. В. Мокроусовой.

Структурно диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы из 129 наименований. Объем диссертации составляет 124 страницы, включая 58 рисунков.

Во **Введении** обосновывается актуальность исследований, приведенных в диссертации, формулируются цель работы и решаемые задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, излагаются положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** диссертационной работы приведена история исследования самофокусировки лазерных импульсов и ионизации среды, физические основы филаментации и сопровождающих ее явлений (таких как ограничение интенсивности, уширение спектра, плазмообразование), отмечены работы по изучению резервуара энергии, сложения филаментов, постфиламентационных каналов, указаны возможные применения филаментации и приведены работы по филаментации геометрически сфокусированных импульсов.

Глава 2 посвящена описанию титан-сапфировой лазерной системы, основных приборов и методов исследования, использованных в диссертации. Среди них метод визуализации поперечного профиля пучка, определения критической мощности самофокусировки и зондовый метод измерения линейной плотности плазмы в филаменте.

В **Главе 3** приведены исследования распространения резервуара энергии вблизи геометрического фокуса пучка, проведенные посредством внесения апертурных диафрагм различных размеров. Экспериментальные данные получены для первой (744 нм) и третьей (248 нм) гармоники лазерной системы при различных числовых апертурах пучка.

В **Главе 4** описаны результаты экспериментов по сложению нескольких филаментов перед геометрическим фокусом. Эксперимент проведен для двух длин волн (744 нм и 248 нм) и двух конфигураций пучка – состоящего из трех или четырех субпучков.

Глава 5 посвящена исследованию параметров постфиламентационных каналов при различных начальных энергиях импульса и жесткостях фокусировки. Эксперименты также проведены для двух длин волн.

В **Заключении** приведены основные научные результаты работы.

Достоверность результатов, представленных в диссертации, подтверждается применением апробированных методов измерений с использованием современной измерительной аппаратуры, воспроизводимостью результатов и сопоставлениями экспериментальных результатов с расчетными, полученными несколькими ведущими

теоретическими группами. **Обоснованность** научных положений и выводов, приведенных в диссертации, не вызывает сомнений.

Результаты, которые легли в основу диссертации, прошли широкую апробацию на российских и международных конференциях, они опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах, входящих в базу данных Web of Science, и 11 материалах конференций и были удостоены трех наград на конкурсах молодежных научных работ.

Диссертационная работа Мокроусовой Д. В. **имеет важное значение** для развития нелинейной оптики, в частности, изучения филаментации ультракоротких лазерных импульсов при наличии геометрической фокусировки

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Экспериментально показано, что влияние диафрагмы, помещенной на оси сфокусированного лазерного пучка, распространяющегося в режиме филаментации, существенно отличается от случая коллимированного излучения. Измерен характерный размер резервуара энергии при наличии геометрической фокусировки и доля содержащейся в нем энергии.

2. Установлено, что взаимодействие нескольких ИК филаментов в условиях геометрической фокусировки приводит к образованию одного суммарного филамента до геометрического фокуса на оптической оси системы за счет интерференции резервуаров энергии от отдельных филаментов.

3. Исследовано влияние числовой апертуры сходящегося пучка и его энергии, а также окружающего его низкоинтенсивного излучения, на угловую расходимость постфиламентационных каналов.

Диссертационная работа не лишена следующих недостатков:

1. В Главе 1 разделе 1.1.10 при описании постфиламентационных каналов сказано, что излучение в этих каналах не ионизует среду. Это противоречит экспериментам, проведенным нашей группой, где мы измерили ненулевую плотность плазмы, созданной постфиламентационным каналом.

2. В Главе 3 не проведен анализ влияния дифракции на краях диафрагмы на последующее распространение пучка.

3. В Главе 4 не указано, каким образом проведена оцифровка профилей, полученных при помощи ПЗС-матрицы, позволившая получить распределение линейной плотности плазмы вдоль оси распространения.

4. В Главе 4, несмотря на значительные отличия во взаимодействии нескольких пучков импульса первой и третьей гармоники, в основных результатах упоминаются только импульсы ближнего ИК спектрального диапазона.

Приведенные замечания не влияют на общую **положительную** оценку диссертации.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и верно отражает полученные результаты работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе Д.В. Мокроусовой, могут найти применение в научных организациях, занимающихся исследованием филаментации ультракоротких лазерных импульсов, таких как Физический институт им. П. Н. Лебедева (ФИАН), Московский государственный университет (МГУ), Институт общей физики им. А. М. Прохорова (ИОФАН), Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева (ИОА СО РАН), Институт спектроскопии (ИСАН), Институт сильноточной электроники (ИСЭ СО РАН).

Диссертация Мокроусовой Д. В. «Влияние резервуара энергии на распространение фемтосекундных лазерных импульсов в режиме филаментации вблизи геометрического фокуса» обладает практической значимостью и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года. Автор диссертации Мокроусова Дарья Вадимовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика (физико-математические науки).

Доклад по материалам диссертационной работы был представлен Мокроусовой Д. В. на научном семинаре лаборатории газовых лазеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) 26 ноября 2019.

Отзыв составлен заведующим лабораторией газовых лазеров, доктором физико-математических наук, профессором В. Ф. Лосевым и одобрен на семинаре лаборатории Газовых лазеров ИСЭ СО РАН 3 декабря 2019 г.

Заведующий лабораторией газовых лазеров
ИСЭ СО РАН

доктор физико-математических наук, профессор  Лосев Валерий Федорович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
634055 г. Томск
проспект Академический, 2/3
+7(382)2491-544
contact@hcei.tsc.ru

Подпись В. Ф. Лосева удостоверяю:

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН

Доктор физико-математических наук

11.12.2019



Пегель Игорь Валерьевич

Список основных работ сотрудников ведущей организации Института сильноточной электроники СО РАН по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. I. A. Zyatikov, N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev "Study of spectral and temporal parameters of superradiance on molecular nitrogen ions in air filament", *Quantum Electronics* **49** (10), 947-950 (2019);
2. N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev, K. A. Sitnik, I. A. Zyatikov "High time-resolved spectroscopy of filament plasma in air", *Optics Communications* **431**, 120-125 (2019);
3. D. M. Lubenko, V. E. Prokopen, S. V. Alekseev, M. V. Ivanov, V. F. Losev "Control of THz Radiation Divergence in Laser Filaments", *Atmospheric And Oceanic Optics* **32** (4), 430-433 (2019);
4. S. V. Alekseev, N. G. Ivanov, V. F. Losev, G. A. Mesyats, L. D. Mikheev, N. A. Ratakhin, Yu N. Panchenko "Attainment of a 40 TW peak output power with a visible-range hybrid femtosecond laser system", *Quantum Electronics* **49** (10), 901-904 (2019);
5. N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev "Temporal dynamics of air plasma glow under different focusing conditions of a femtosecond radiation pulse", *Quantum Electronics* **48** (9), 826-832 (2018);
6. N. G. Ivanov, V. F. Losev "Kerr nonlinearity effect on femtosecond pulse radiation filamentation in air", *Atmospheric and Oceanic Optics* **30** (4), 331-336 (2017);
7. N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev, K. A. Sitnik "Generation of a highly directional supercontinuum in the visible spectrum range", *Optics Communications* **387**, 322-327 (2017);
8. M. V. Andreev, S. M. Bobrovnikov, E. V. Gorlov, V. I. Zharkov, V. F. Losev, Y. N. Panchenko, A. V. Puchikin "Increasing the Sensitivity of Lidar Systems Based on the LF/LIF Method", *Russian Physics Journal* **60** (8), 1353-1359 (2017);
9. S. V. Alekseev, M. V. Ivanov, N. G. Ivanov, V. F. Losev, G. A. Mesyats, L. D. Mikheev, Yu. N. Panchenko, N. A. Ratakhin, A. G. Yastremskii "THL-100 Multi-Terawatt Laser System of Visible Range", *Russian Physics Journal* **60** (8), 1346-1352 (2017);
10. S. V. Alekseev, N. G. Ivanov, M. V. Ivanov, V. F. Losev, G. A. Mesyats, L. D. Mikheev, Yu. N. Panchenko, N. A. Ratakhin, A. G. Yastremskii "Formation and amplification of 50-ps pulses in a THL-100 hybrid laser system", *Quantum Electronics* **47** (3), 184 (2017);
11. N. G. Kononova, A. E. Kokh, K. A. Kokh, G. V. Lanskii, V. F. Losev, V. A. Svetlichnyi, Y. M. Andreev "Down-Conversion of Short- Wavelength Radiation in LBO Crystal", *Russian Physics Journal* **59** (8), 1307-1315 (2016);

12. N. G. Ivanov, M. V. Ivanov, V. F. Losev, A. G. Yastremskii “Amplification of Conically Diverging Laser Beams in the Gas Amplifier of the THL-100 Laser System”, *Russian Physics Journal* **59** (7), 984-993 (2016);
13. N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev “Special Features of Lasing on N₂, Ni⁺, Ar, Ne, and CO₂ Transitions Pumped by a Nanosecond Transverse Discharge”, *Russian Physics Journal* **59** (6), 862-867 (2016);
14. V. D. Antsygin, V. F. Losev, A. A. Mamrashev, N. A. Nikolaev, O. I. Potaturkin “Specific features of studying anisotropic media by methods of time-domain terahertz spectroscopy”, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing* **52** (4), 374-380 (2016);
15. N. G. Ivanov, V. F. Losev, V. E. Prokop'ev, K. A. Sitnik “Superradiance by molecular nitrogen ions in filaments”, *Atmospheric and Oceanic Optics* **29** (4), 385-389 (2016).