

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.069.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 15.10.2018 № 78

О присуждении Миронову Сергею Юрьевичу, гражданину РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Формирование трехмерного пространственно-временного распределения интенсивности излучения фемтосекундных лазеров» по специальности 01.04.21 – лазерная физика принята к защите 21.05.2018 г., протокол № 74 диссертационным советом Д 002.069.02 на базе ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ № 717 от 09.10.2012 г.)

Соискатель, Миронов Сергей Юрьевич, 1984 года рождения, в 2007 году окончил Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, в 2010 году окончил аспирантуру ИПФ РАН, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Управление временными характеристиками мощных фемтосекундных импульсов с помощью процесса генерации второй гармоники» защитил в 2011 году в диссертационном совете Д 002.069.02, созданном на базе Института прикладной физики РАН, и работает старшим научным сотрудником в ИПФ РАН.

Диссертация выполнена в отделении Нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Официальные оппоненты:

академик РАН, д.ф.-м.н. С.Н. Багаев, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

д.ф.-м.н., проф. М.И. Бакунов, Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;

д.ф.-м.н., проф. А.Б. Савельев-Трофимов, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФАН, г. Москва), в своем положительном заключении, подписанном д.ф.-м.н., профессором, заведующим лабораторией ИОФАН

Ильичевым Николаем Николаевичем, и утвержденном ВРИО директора ИОФАН д.ф.-м.н., член-корр. РАН Гарновым Сергеем Владимировичем, указала, что диссертация С.Ю. Миронова выполнена на высоком научном уровне. Совокупность результатов и положений, содержащихся в диссертации, позволяют квалифицировать ее как значительное достижение в области лазерной физики и нелинейной оптики. Основные результаты диссертации представляют большой интерес для фундаментальной науки. Автор диссертации Сергей Юрьевич Миронов, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21– лазерная физика.

Соискатель имеет 51 опубликованную работу, все по теме диссертации, из них 22 статьи в рецензируемых научных изданиях, 1 патент на изобретение. Наиболее значимыми работами соискателя являются:

- 1.Миронов С.Ю., Гинзбург В.Н., Ложкарев В.В., Лучинин Г.А., Кирсанов А.В., Яковлев И.В., Хазанов Е.А., Шайкин А.А. Высокоэффективная генерация второй гармоники интенсивного фемтосекундного излучения при существенном влиянии кубической нелинейности // Квантовая электроника, v.41, №11, p.963–967, 2011.
- 2.Mironov S.Y., Lozhkarev V.V., Ginzburg V.N., Yakovlev I.V., Luchinin G., Shaykin A., Khazanov E.A., Babin A., Novikov E., Fadeev S., Sergeev A.M., Mourou G.A. Second-Harmonic Generation of Super Powerful Femtosecond Pulses Under Strong Influence of Cubic Nonlinearity // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, v.18, №1, p.7-13, 2012.
- 3.Mironov S., Lozhkarev V., Luchinin G., Shaykin A., Khazanov E. Suppression of small-scale self-focusing of high-intensity femtosecond radiation // Applied Physics B, v.113, №1, p.147-151, 2013.
- 4.Mironov S., Lassonde P., Kieffer J.C., Khazanov E., Mourou G. Spatially-uniform temporal recompression of intense femtosecond optical pulses // The European Physical Journal Special Topics, v.223, №6, p.1175-1180, 2014.
- 5.Mourou G., Mironov S., Khazanov E., Sergeev A. Single cycle thin film compressor opening the door to Zeptosecond-Exawatt physics // The European Physical Journal Special Topics, v.223, №6, p.1181-1188, 2014.
- 6.Mironov S.Y., Ginzburg V.N., Gacheva E.I., Silin D.E., Kochetkov A.A., Mamaev Y.A., Shaykin A.A., Khazanov E.A. and Mourou G. Use of polyethylene terephthalate for temporal recompression of intense femtosecond laser pulses // Laser Physics Letters, v.12, №2, p.025301, 2015.
- 7.Mironov S.Y., Potemkin A.K., Gacheva E.I., Andrianov A.V., Zelenogorskii V.V., Krasilnikov M., Stephan F., Khazanov E.A. Shaping of cylindrical and 3D ellipsoidal beams for electron photoinjector laser drivers // Appl Opt, v.55, №7, p.1630-5, 2016.

8.Mironov S.Y., Poteomkin A.K., Gacheva E.I., Andrianov A.V., Zelenogorskii V.V., Vasiliev R., Smirnov V., Krasilnikov M., Stephan F., Khazanov E.A. Generation of 3D ellipsoidal laser beams by means of a profiled volume chirped Bragg grating // Laser Physics Letters, v.13, №5, p.055003, 2016.

9.Миронов С.Ю., Андрианов А.В., Гачева Е.И., Зеленогорский В.В., Потемкин А.К., Хазанов Е.А., Бонпорнпрасерт П., Грос М., Гуд Д., Исаев И., Калантарян Д., Козак Т., Красильников М., Кьян Х., Ли К., Лишилини О., Мелкумян Д., Оппельт А., Ренье И., Рублак Т., Фельбер М., Хук Х., Чен Й., Штефан Ф. Пространственно-временное профилирование лазерных импульсов для фотокатодов линейных ускорителей электронов // УФН, v.187, №10, p.1121-1133, 2017.

10.Миронов С.Ю., Гинзбург В.Н., Яковлев И.В., Кочетков А.А., Шайкин А.А., Хазанов Е.А., Муру Ж. Использование самомодуляции фазы для временного сжатия интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов // Квантовая электроника, v.47, №7, p.614-619, 2017.

На диссертацию и автореферат поступили 9 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмеченные авторами отзывов замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

В положительном отзыве ведущей организации были сделаны следующие замечания: 1) из данных, приведенных на рис.13, не понятно, где исходная и где восстановленная форма импульса; 2) формула (17) для интенсивностей излучения на выходе интерферометра Маха-Цендера в стационарном случае не удовлетворяет закону сохранения энергии. Схема интерферометра Маха-Цендера излишне упрощена, что не позволяет понять, как распространяется свет через проходные элементы интерферометра.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. А.Б. Савельева-Трофимова содержит следующие замечания: 1) формулировка отдельных положений, связанных с научной новизной и защищаемыми положениями, должна быть уточнена. Так, в положении 4 отсутствует информация о длительности лазерных импульсов. При этом из литературы известно, что даже для фемтосекундных импульсов эффективность преобразования во вторую гармонику может достигать 80%, что выше, чем полученная автором. Аналогичные замечания можно сделать и по ряду других защищаемых положений; 2) главы 1 и 2 представляют собой описание набора решенных диссертантом задач, связанных общими задачами компрессии импульсов и генерации второй гармоники. Хотя каждый параграф обладает безусловной научной ценностью, однако их результаты и выводы не взаимосвязаны в общую идеологию, на основании которой можно было бы искать решения

новых аналогичных задач. В частности, не ясно, в каких задачах необходимо учитывать наличие поперечного распределения интенсивности, а в каких можно ограничиться одномерным приближением, а в разделе 1.3 – насколько правомерно параболическое приближение. Представляется, что диссертанту не удалось в рамках диссертационной работы построить и обосновать общие подходы к решению проблем такого рода; 3) в ряде разделов этих глав говорится о частичной компенсации накопленной дисперсии и слабом влиянии остаточной дисперсии высоких порядков на длительность импульса. Вместе с тем, эта остаточная дисперсия может сильно сказаться на контрасте сжатого импульса. Поскольку задача о повышении контраста также рассмотрена в диссертации хотелось, опять же, более общего взгляда на решение задачи; 4) в разделе 2.6 расчеты проведены только для одного набора параметров одномерном приближении. Насколько эти расчеты справедливы для реального пучка и при флуктуации параметров? 5) Оптическая схема на рис. 76 описана очень кратко, а результатов, полученных с использованием данной схемы, в диссертации нет; 6) в тексте диссертационной работы много опечаток.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. М.И. Бакунова содержит следующие замечания: 1) значительная часть результатов получена с помощью численных расчетов. В тоже время, практически отсутствует описание используемых при этом методов и, как правило, не приводятся графики динамики полей в кристалле. Это не позволяет судить о надежности расчетов; 2) в диссертации практически отсутствует обсуждение полученных результатов в сравнении с результатами работ других авторов, работы которых упоминаются, как правило, только во Введении; 3) при теоретическом рассмотрении генерации второй гармоники в кристалле с квадратичной и кубической нелинейностями не учитываются каскадные процессы оптической ректификации и линейного электрооптического эффекта. Между тем их вклад в нелинейный показатель преломления, как известно из литературы, может конкурировать с керровской нелинейностью; 4) неясно, почему в экспериментах по генерации второй гармоники не были проверены предсказанные эффекты сжатия импульсов. Также отзыв содержит замечания к оформлению диссертации.

Положительный отзыв официального оппонента академика РАН, д.ф.-м.н. С.Н. Багаева содержит следующие замечания: 1) автор в диссертации неоднократно подчеркивает, что использование режима генерации второй гармоники при сильном влиянии кубической нелинейности позволяет существенно увеличить пиковую мощность преобразованного излучения. В то же время, создание сверхмощных лазерных систем направлено на достижение предельно высоких интенсивностей. Поэтому важным вопросом является фокусируемость излучения второй гармоники, которая в значительной степени определяется параметрами

преобразуемого излучения, на что обращалось внимание в литературе. В диссертации недостаточно полно представлены расчетные и экспериментальные данные, характеризующие фокусируемость и пространственный контраст излучения второй гармоники описываемых лазерных систем; 2) в диссертации представлены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований по генерации второй гармоники только в кристалле KDP. К настоящему времени развита технология выращивания ряда новых большеапертурных кристаллов, обладающих более высокими значениями эффективной квадратичной нелинейностью по сравнению с KDP; 3) важным параметром излучения лазера, используемого для фотокатода линейного ускорителя электронов, является стабильность и воспроизводимость его трехмерного пространственно-временного распределения. Детальный анализ факторов, определяющих эти характеристики такой, достаточно сложной, лазерной системы мог бы существенно усилить уникальность полученных автором результатов.

Отзывы на автореферат диссертации чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Ширкова Г.Д., д.ф.-м.н. Сухарева С.А., д.ф.-м.н. Лосева В.Ф., Dr. Tcheremiskine V. и Dr. Krasilnikov M. замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в области лазерной физики и нелинейной оптики, а ведущая организация является передовым институтом в организации исследований в этих областях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Предложено использовать полимеры в качестве нелинейной среды для уширения спектра интенсивных лазерных импульсов.
- В условиях существенного влияния кубической нелинейности экспериментально получена высокоэффективная (73%) генерация второй гармоники фемтосекундного излучения с центральной длиной волны 910 нм в нелинейном кристалле KDP при пиковой интенсивности излучения первой гармоники 2 ТВт/см^2 и длительности 70 фс.
- С помощью модификации амплитуды спектра чирпированных лазерных импульсов с использованием жидкокристаллических модуляторов света экспериментально получены распределения интенсивности во времени прямоугольной и треугольной формы пикосекундной длительности. Были также сформированы лазерные импульсы длительностью 42 пс с распределением интенсивности в форме цилиндра и 3D квазиэллипсоида с сечениями в форме эллипса в ортогональных плоскостях.

- Предложено использовать объемную пространственно-неоднородную чирпирующую решетку Брэгга, что позволило в экспериментах сформировать импульсы инфракрасного диапазона пикосекундной длительности с распределением интенсивности в форме 3D эллипсоида.
- Показано, что угловой чирп при преобразовании широкополосных лазерных импульсов с линейной частотной модуляцией позволяет увеличить эффективность генерации излучения второй и четвертой гармоники. В экспериментах по генерации второй (четвертой) гармоники была достигнута эффективность преобразования 53% (21 %) в 4 мм кристалле LBO (BBO).
- Создан и введен в эксплуатацию лазер для облучения фотокатода линейного ускорителя электронов DESY с возможностью управления трехмерным распределением интенсивности оптических импульсов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Теоретически обосновано и продемонстрировано в экспериментах пространственно-однородное уширение спектра у интенсивных (ТВт/см^2) гауссовых лазерных пучков при их распространении через телескоп, состоящий из дефокусирующей линзы и параболического зеркала. С использованием дисперсионных зеркал в экспериментах достигнуто укорочение длительности у прошедших через такой телескоп импульсов с 33 фс до 16 фс с неоднородностью по поперечному сечению пучка менее 3 фс.
- Показано, что каскадная квадратичная нелинейность совместно с кубической нелинейностью позволяют сжать импульс первой гармоники во времени таким образом, что его мощность на выходе нелинейного кристалла превышает его мощность на входе. С использованием численных методов продемонстрировано более чем двукратное увеличение пиковой мощности петаваттных импульсов за счет их временного самосжатия в кристалле KDP с 500 фс до 220 фс.
- Доказано, что фазовая самомодуляция интенсивного ($\sim \text{ТВт/см}^2$) лазерного импульса в нелинейной среде и последующая корректировка квадратичной составляющей спектральной фазы позволяют сократить длительность и увеличить пиковую мощность импульса даже при наличии у него аберраций фазы спектра третьего и четвертого порядка.
- В экспериментах показано, что кристалл KDP может быть использован для высокоэффективной (более 70%) генерации второй гармоники лазерных импульсов с пиковой интенсивностью $\sim 2 \text{ ТВт/см}^2$, длительностью 70 фс и обладающих высоким временным контрастом.
- Применение программируемых пространственных модуляторов света для задач по управлению трехмерным распределением интенсивности чирпированных лазерных импульсов позволило сформировать сложные

лазерные структуры пикосекундной длительности, необходимые, в частности, для генерации электронных сгустков фотокатодами линейных ускорителей электронов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается согласованием экспериментальных и теоретических данных. Экспериментальные результаты были получены с участием разных научных коллективов, работающих в независимых лабораториях. Большая часть изложенного в диссертации материала опубликована в рецензируемых российских и международных журналах.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

Численное моделирование всех рассмотренных в диссертационной работе оптических процессов, было выполнено автором или под его непосредственным руководством. При постановке экспериментов автором сделаны ряд принципиальных предложений: по применению телескопической системы для квазиоднородного уширения спектра и последующего временного сжатия импульсов с 3D гауссовым распределением интенсивности; по использованию диэлектрических пластин для уширения спектра за счет самомодуляции фазы у лазерных импульсов; по методам, увеличивающим эффективность преобразования энергии при удвоении частоты и другие. Анализ согласования данных экспериментов с результатами численного моделирования выполнен автором. Экспериментальные исследования проведены при его непосредственном участии.

На заседании 15.10.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Миронову С.Ю. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 27 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за 26, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

подписи А.Г. Литвака и Э.Б. Абубакирова заверяю,

ученый секретарь ИПФ РАН

кандидат физ.-мат. наук


А.Г. Литвак


Э.Б. Абубакиров


И.В. Корюкин

15 октября 2018 г.

