

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Кузьмина Игоря Валерьевича «Управление параметрами лазерных импульсов для генерации электронных сгустков в фотоинжекторах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 - «лазерная физика».

Актуальность развития существующих и разработки новых способов управления трехмерным пространственным распределением интенсивности и длительности лазерных импульсов обусловлена, в первую очередь, стремительным развитием технологий формирования лазерными импульсами специальной формы электронных сгустков с уникальными параметрами. Такие электронные сгустки с управляемыми параметрами используются для последующего ускорения в ряде рентгеновских лазеров на свободных электронах. Использование лазерных импульсов с пространственным профилированием интенсивности в схемах лазерно - плазменного ускорения электронных сгустков в поле кильватерной волны востребовано для повышения эффективности таких систем. Также применение импульсов с временным профилированием перспективно для генерации терагерцового излучения электронными сгустками с глубокой модуляцией плотности, использования для исследования нелинейного взаимодействия лазерного излучения с веществом и решения ряда других научных и прикладных задач.

Обсуждаемые лазерные источники профилированных импульсов востребованы в различных спектральных диапазонах от инфракрасного до ультрафиолетового. Поэтому актуальной является задача не только формирования в лазерных системах пространственно-профилированных импульсов, но и их преобразования в нелинейно-оптических кристаллах с сохранением пространственных и временных распределений.

В диссертации И.В.Кузьмина представлены материалы, посвященные теоретическому и экспериментальному исследованию методов формирования в лазерных системах импульсов с заданным пространственно-временным распределением интенсивности и их нелинейно-оптическому преобразованию в гармоники при сохранении пространственно-временных профилей. Естественной составной частью проведенных исследований является разработка методов диагностики пространственно-временных распределений генерируемых импульсов на основе корреляционных технологий.

Научная новизна работы связана, в первую очередь, с разработкой ряда оригинальных схем формирования лазерных импульсов с квазитреугольным временным распределением, получения квази-конусообразных лазерных импульсов, создания периодической модуляции у исходных чирпированных импульсов с характерными частотами, лежащими в

терагерцовой области. Впервые проанализированы и определены условия достижения высокой эффективности преобразования импульсов с 3D эллипсоидальным распределением интенсивности во вторую и четвертую гармонику с сохранением формы. Также впервые показана возможность управления глубиной модуляции интенсивности у профилированных импульсов УФ диапазона за счет изменения длины кристалла и интенсивности импульса при преобразовании в четвертую гармонику.

Работа автора вносит существенный вклад в развитие систем формирования лазерных импульсов с временным и пространственным распределением интенсивности для широкого круга актуальных физических задач с использованием лазерного излучения. Полученные в диссертации результаты, прежде всего, востребованы при создании для лазеров на свободных электронах высокоэффективных фотоинжекторов, в которых генерация электронов осуществляется с поверхности катода за счет фотоэмиссии, происходящей под действием лазерного излучения.

Характеризуя представленную диссертацию более детально, можно выделить следующие наиболее важные и интересные результаты.

В первой главе представлены результаты численного моделирования и поиска оптимальных условий формирования квазиприугольных импульсов в области 1064 нм. Приведены также данные экспериментальных исследований, которые подтверждают результаты теоретического рассмотрения. Предложенную методику можно расширить на другие спектральные диапазоны, так как основным исполнительным элементом является модулятор на жидких кристаллах. Другим интересным результатом в первой главе является оригинальная схема, предложенная для формирования лазерных импульсов с контролируемой периодической гармонической модуляцией во времени при использовании жидкокристаллического модулятора. В работе определены параметры, влияющие на период и глубину модуляции, экспериментально продемонстрирована работоспособность предложенной схемы.

Вторая глава посвящена развитию методов высокоэффективной генерации оптических гармоник чирпированных широкополосных лазерных импульсов с сохранением 3D структуры поля. Предложены и численными методами проанализированы схемы преобразования с использованием чирпования взаимодействующих импульсов и неколлинеарного взаимодействия. Показано, что оба предложенных пути генерации гармоник позволяют реализовать высокую эффективность генерации гармоник при сохранении структуры поля. В этой части интересным результатом, на мой взгляд, является предложенная автором схема генерации суммарной частоты с сохранением 3D



распределения интенсивности за счет использования импульсов с противоположными знаками chirпования. Подобные схемы использованы в ряде работ при параметрическом усилении в нелинейно-оптических кристаллах chirпированных импульсов с chirпированной накачкой для создания источников узкополосного перестраиваемого излучения пикосекундной длительности в ИК диапазоне.

Первый параграф третьей главы является естественной составляющей диссертации и посвящен развитию методов диагностики параметров импульсов, формирование которых описано в первой и второй главах. Впервые детально проанализированы особенности измерения 3D формы лазерных импульсов с использованием сканирующего кросс-коррелятора, определены параметры системы, при которой достигается минимальная ошибка в определении формы. Предложенные методы могут быть использованы и в других спектральных диапазонах для диагностики структуры импульсов с пространственно-временным распределением интенсивности. Результаты, представленные во втором и третьем параграфе третьей главы, выпадают из общей структуры диссертации и, на мой взгляд, являются избыточными, так как не востребованы для решения основных задач, которые были поставлены перед соискателем в рамках данной диссертации.

Несомненным достоинством диссертации является то, что все решаемые в работе задачи, были продиктованы насущными потребностями экспериментальных исследований и в итоге могут быть использованы при создании уникальных фотоинжекторов для лазеров на свободных электронах.

Имеется ряд замечаний по представленным в диссертации материалам.

1. При определении условий, при которых излучение третьей гармоники Ti:Sa лазера сохраняет 3D структуру распределения интенсивности основного излучения в расчете заложены высокие интенсивности излучения второй гармоники ( $14.4 \text{ ГВт/см}^2$ ), которые могут превышать пороги пробоя кристаллов ВВО на этой длине волны (372нм) и не позволяют экспериментально реализовать предложенную схему. К сожалению, в диссертации нет анализа множества литературных экспериментальных данных по порогам пробоя кристаллов ВВО, в условиях предполагаемых экспериментов и, возможно, необходимо будет анализировать использование других нелинейно-оптических кристаллов в обсуждаемых схемах.

2. Аналогичное замечание относится и к схемам генерации второй гармоники Ti:Sa лазера в кристалле LBO (падающая на кристалл интенсивность  $17 \text{ ГВт/см}^2$ ) и четвертой гармоники в кристалле КВВФ (падающая на кристалл интенсивность второй гармоники  $14 \text{ ГВт/см}^2$ ).

3. Хотелось бы также отметить, что изложение имеет четкую и ясную логическую структуру. Тем не менее, в тексте имеются некоторые утверждения, которые требуют уточнения. На стр.100, например, есть фраза «важно отсутствие амплитудного наклона». Возникает вопрос: на каком уровне?. На этой же странице есть фраза « в случае гладких распределений интенсивности...». Здесь тоже возникает вопрос: каков критерий гладкости распределения интенсивности?

В целом, сделанные замечания, не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую высокую положительную оценку диссертационной работы И.В.Кузьмина.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых научных журналах индексируемых в Web of Science and Scopus (всего 8 статей), а также апробированы на Международных и Всероссийских научных конференциях.

Автореферат правильно и в полном объеме отражает содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор И.В. Кузьмин, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 «лазерная физика».

Официальный оппонент

Трунов Владимир Иванович

к.ф.-м.н., снс (специальность 01.04.03, радиофизика, включая квантовую радиофизику); заведующий лабораторией физики лазеров сверхкоротких импульсов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института Лазерной Физики Сибирского Отделения Российской Академии Наук (ИЛФ СО РАН)

Почтовый адрес:

Россия, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева 15Б

Институт лазерной физики СО РАН

Телефон: +7-383-330-98-36, электронный адрес: [trunov@laser.nsc.ru](mailto:trunov@laser.nsc.ru)


Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации И.В.Кузьмина


Подпись Трунова Владимира Ивановича заверяю

Ученый секретарь ИЛФ СО РАН

кандидат физ.-мат. наук



 В.И. Трунов

 П.В. Покасов



**Приложение:** Основной список публикаций В.И. Трунова (2017-2021)

1. Timofeev I.V., Berendeev E.A., Annenkov V.V., Volchok E.P., Trunov V.I. Optimal synchronization of laser pulses in THz generation scheme with colliding plasma wakes // *Physics of Plasmas*. - 2021. - Vol. 28, N 1. - A.n. 013103.
2. Frolov S.A., Trunov V.I. Noncollinear coherent combining of few-cycle femtosecond pulses // *XV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications*. – Proc. SPIE. - 2021. – Vol. 12086. – P. 128-133.
3. Shvydkoy D., Trunov V. Negatively chirped pulse compressor with internal telescope for 1.4  $\mu\text{m}$  range // *Applied Physics B*. – 2020. – Т. 126. – С. 1-15.
4. Генерация малопериодных импульсов в средах с чередующимся знаком эффективной кубической нелинейности / Фролов С.А., Трунов В.И., Багаев С.Н. // *Квантовая электроника*. - 2020. - Т.50, N 4. - С. 343-349.
5. Frolov S. A., Trunov V. I. Generation of high-power few-cycle femtosecond IR pulses by double-chirp parametric amplification // *Quantum Electronics*. – 2020. – Т. 50. – №. 12. – С. 1126.
6. S. V. Avtaeva, K. V. Gubin, V. I. Trunov, and P. V. Tuev. Algorithm for supersonic gas jet density profile retrieval from interferometric measurement// *Journal of the Optical Society of America A (JOSA A)*. 2019, Vol. 36, No. 5, pp. 910-917.
7. Zhmud V.A., Pestryakov E.V., Trunov V.I. Methods for coherent adding of laser light with high phase accuracy // *AIP Conference Proceedings*. - 2019. - V.2098. - A.n. 020022.
8. Фролов С. А., Трунов В. И., Багаев С. Н. Когерентное сложение импульсов, усиленных в широкополосных параметрических усилителях с многопучковой накачкой // *Квантовая электроника*. – 2018. – Т. 48. – №. 4. – С. 335-339.
9. Kirpichnikov A.V., Petrov V.V., Kuptsov G.V., Laptev A.V., Petrov V.A., Pestryakov E.V., Trunov V.I. Upgrading of kilohertz solid-state laser system with stabilization CEO for nonlinear interaction of radiation with optical medium experiments // *Proceedings of SPIE*, 2018, Vol. 10614, P. 106140U.
10. Trunov, V. I., Gubin, K. V., Ivanova, K. A., Poleshchuk, A. G., Sedukhin, A. G., & Cherkashin, V. V. (2018). Application of the Shack–Hartmann Wavefront Sensor for Monitoring the Parameters of a Supersonic Gas Jet. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 54(1), 19-25.
11. Gambaryan, V. V., Gubin, K. V., Levichev, A. E., Maltseva, Y. I., Martyshkin, P. V., Pachkov, A. A., Peshekhonov, S.N., Trunov, V. I. (2018). “Design and test of a Faraday cup for low-charge measurement of electron beams from laser wakefield acceleration”. // *Review of Scientific Instruments*, 89(6), 063303
12. S.A. Frolov and V. I. Trunov. Optimization of a multibeam-pumped optical parametric amplifier. *Applied Optics* Vol. 56, No. 22, 6375-6380, 2017.
13. С.А.Фролов, В.И.Трунов, Е.В.Пестряков. Оптимизация параметров широкополосного параметрического усилителя с многопучковой накачкой. *Квантовая электроника*, т.47, №11. 987-992, 2017.
14. V.I.Trunov, K.V.Lotov, K.V.Gubin, E.V.Pestryakov, S.N.Bagayev, P.V. Logachev “Laser-driven plasma wakefield electron acceleration and coherent femtosecond pulse generation in X-ray and gamma ranges” // *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 793. No. 1. IOP Publishing, 2017.