

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Миронова Сергея Юрьевича

**"Формирование трехмерного пространственно-временного
распределения интенсивности излучения фемтосекундных лазеров",**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук,

по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Развитие методов генерации сверхсильных оптических полей является актуальной задачей современной лазерной физики. В настоящее время на основе фемтосекундных лазеров активно развиваются проекты по разработке методов создания лазерных систем мультитераваттной и эксаваттной мощности с целью достижения экстремальных интенсивностей, превышающих 10^{25} Вт/см² для экспериментальной проверки основ теории квантовой электродинамики и в том числе эффектов, обусловленных поляризацией вакуума в экстремальных полях, рождения электрон-позитронных пар из вакуума (а также потенциально других пар античастиц) в фотонных коллайдерах и др. Такие поля могут быть сформированы при фокусировке сверхмощных фемтосекундных лазерных импульсов. На этом пути важным, даже можно сказать определяющим моментом, является решение задачи развития методов формирования, управления и диагностики трехмерного пространственно-временного распределения интенсивности фемтосекундного излучения. В связи с этим тема диссертации Миронова С.Ю. является, безусловно, актуальной.

Теоретические и экспериментальные работы Миронова С.Ю., представленные в диссертации, вносят значительный вклад в развитие направления, связанного с управлением пространственными и спектрально-временными параметрами ультракоротких лазерных импульсов. Следует

отметить, что актуальность и востребованность задач, решаемых в диссертации, также подтверждается большим количеством экспериментов, выполненных при участии автора в России (ИПФ РАН) и в ряде ведущих зарубежных лазерных центров. Оригинальные подходы, предложенные в диссертации, позволили впервые продемонстрировать экспериментально возможность формирования импульсов пикосекундной длительности с 3D эллипсоидальным распределением интенсивности в пространстве.

В диссертации Миронова С.Ю. представлены результаты работ 2008-2018 годов, направленные на развитие на качественно новом уровне методов управления пространственными и спектрально-временными параметрами ультракоротких лазерных импульсов как с целью увеличения пиковой мощности и временного контраста в сверхмощных лазерных системах, так и с целью трехмерного профилирования лазерных импульсов в фото инжекторах электронов в современных ускорителях.

Эти исследования значительно расширили и углубили понимание физики нелинейно-оптических процессов самомодуляции широкополосного сверхмощного излучения, механизмов и динамики формирования трехмерного пространственно-временного распределения ультракоротких импульсов и заложили основы их применения в сверхмощных лазерных системах и в лазерных комплексах с трехмерным пространственно-временным профилированием импульсов.

Характеризуя представленную диссертацию, можно выделить следующие наиболее важные и интересные результаты:

В первой главе показано 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 аббераций спектральной фазы третьего и четвертого порядка. Коэффициент увеличения пиковой мощности определяется величиной В-интеграла и практически не зависит от величины абберации

спектральной фазы. Применительно к петаваттным импульсам длительностью 16 фс показано, что такой импульс с помощью фазовой самомодуляции и корректировки квадратичной составляющей спектральной фазы, можно сжать до длительности в один период осцилляций светового поля. В качестве новой нелинейной среды для уширения спектра интенсивных лазерных импульсов предложено использовать тонкие пластинки прозрачных полимеров большого диаметра. Экспериментально показано, что воздействие лазерного излучения с пиковой интенсивностью до 1.3 ТВт/см^2 на образцы полиэтилентерефталата (толщиной 0.7 мм) не приводит к видимым повреждениям их поверхности и объема.

Во второй главе теоретически исследована возможность оптимизации процесса генерации второй гармоники (ГВГ) при значительном влиянии кубической нелинейности. Показана возможность увеличения эффективности ГВГ отстройкой угла синхронизма. 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 толщиной 1 мм при пиковой интенсивности излучения первой гармоники 3 ТВт/см^2 .

В третьей главе, наиболее объемной по материалу представлены результаты исследований по формированию и диагностике сложных пространственно-временных (3D) распределений интенсивности лазерных импульсов для облучения фотокатодов линейных ускорителей электронов. Впервые теоретически и экспериментально продемонстрирована возможность формирования импульсов инфракрасного диапазона пикосекундной длительности с распределением интенсивности в форме 3D эллипсоида с использованием объемной пространственно-неоднородной чирпирующей решетки Брэгга, записанной внутри эллипсоидального объема. Исследованы особенности генерации второй и четвертой гармоники таких импульсов. Показано, что угловой чирп позволяет увеличить эффективность

преобразования и минимизировать искажения 3D распределения интенсивности импульсов второй и четвертой гармоник. Создан и введен в эксплуатацию лазер для облучения фотокатода линейного ускорителя электронов DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) с возможностью управления трехмерным распределением интенсивности оптических импульсов, а также система диагностики параметров лазерных импульсов.

Результаты многочисленных экспериментов, выполненные автором в составе различных научных коллективов и представленные в работе, в значительной степени, совпадают с результатами численного моделирования, что подтверждает обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций сформулированных в диссертации.

По тексту диссертации и автореферата имеется ряд замечаний:

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, например, в работе A. Marcinkevicius, et. al. (Appl. Phys. B79, 547, 2004). Такая же проблема фокусируемости возникает и при сжатии импульсов в режиме самомодуляции в среде с кубической нелинейностью.

В диссертации недостаточно полно представлены расчетные и экспериментальные данные, характеризующие фокусируемость и пространственный контраст (например, параметр Штреля) излучения второй гармоники различных лазерных систем, описываемых в работе. В этой связи представляется важным, рекомендовать Миронову С. Ю. в его дальнейшей работе определить требования на допустимый уровень пространственных неоднородностей преобразуемого излучения, которые будут значительно

возрастать при больших значениях В-интеграла, моделирование процессов генерации второй гармоники с учетом реальных амплитудных и фазовых пространственных профилей основного излучения.

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, среди которых особо надо отметить кристаллы трибората лития LiB_3O_5 (LBO) и оксибората кальция $\text{YCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ (YCOB), обладающие более высокими значениями эффективной квадратичной нелинейности по сравнению с KDP. Оптимизация режима генерации второй гармоники сверхмощного излучения в этих кристаллах может обеспечить высокое пространственно-временное качество преобразованного излучения.

3) Следует так же отметить, что важным параметром излучения лазера, используемого для облучения фотокатода линейного ускорителя электронов, является стабильность и воспроизводимость его трехмерного пространственно - временного распределения. Детальный анализ факторов, определяющих стабильность и воспроизводимость выходных характеристик излучения такой, достаточно сложной, лазерной системы мог бы существенно усилить уникальность полученных автором результатов.

В целом, несмотря на сделанные замечания, моя оценка диссертации является очень высокой. Миронов С.Ю. внес определяющий вклад в развитие физических основ методов управления пространственными и спектрально-временными параметрами ультракоротких лазерных импульсов.

Материалы диссертации опубликованы в ведущих научных журналах, включенных в международные и российские научные базы цитирования, такие как Web of Science, Scopus и РИНЦ, хорошо известны специалистам и широко цитируются, что подтверждает их новизну и достоверность. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а её автор Миронов С.Ю., безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

Научный руководитель ИЛФ СО РАН,

академик РАН, д.ф.-м.н,

по специальности 01.04.05-оптика

С.Н. Багаев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН)

630090, г. Новосибирск, просп. Ак. Лаврентьева, 15Б

Тел.: 8(383)333-24-89; E-mail: bagayev@laser.nsc.ru

Подпись академика РАН, доктора физико-математических наук

С.Н. Багаева заверяю:

Ученый секретарь ИЛФ СО РАН

к.ф.-м.н.



П.В. Покасов