

ОТЗЫВ

Фролова Александра Анатольевича

на автореферат диссертации Скобелева Сергея Александровича
«Самовоздействие широкополосного излучения и формирование предельно коротких лазерных импульсов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа Скобелева Сергея Александровича посвящена изучению особенностей самовоздействия широкополосного излучения, содержащего конечное число колебаний поля, в средах с различными типами нелинейностей: керровской, ионизационной, релятивистской. Базируясь на проведенном анализе, автором разработаны новые регулярные методы самокомпрессии лазерных импульсов с энергией от нДж до кДж уровня в различных частотных диапазонах (УФ, видимый, средний ИК) до предельно короткой длительности, содержащей малое число колебаний поля. Тема работы, несомненно, является актуальной, поскольку проблема генерации высокоэнергетичных лазерных импульсов с небольшим числом колебаний поля является одной из ключевых проблем создания лазерных систем тераваттного и петаваттного уровня мощности. Традиционные лазерные системы, основанные как на широкополосной активной среде, например, титан-сапфировые кристаллы, так и на технологии параметрического усиления могут обеспечить импульсы ультракороткой длительности с достаточно высокими энергиями. Однако, чтобы получить импульсы с высокой энергией и небольшим числом колебаний поля или даже одиночных колебаний поля, необходимо дополнительное спектральное уширение с последующей техникой компрессии. Например, стандартный путь уширения спектра импульса в газах высокого давления и их последующая компрессия с использованием решеток или chirпованных зеркал. Альтернативный, но более рафинированный способ – применение режима самокомпрессии с использованием керровской, ионизационной нелинейностей или релятивистской нелинейности для импульсов с высокой мощностью.

В соответствии с авторефератом, в диссертации рассмотрены различные механизмы нелинейного взаимодействия мощного лазерного излучения с газовой средой и плазмой, позволяющие осуществить временную самокомпрессию лазерных импульсов. При этом логика построения работы такова, что исследуется возможность укорочения лазерных импульсов на все более высоком уровне энергии в импульсе. На субмиллиджоульном уровне энергии в импульсе в первой главе диссертации предложена и теоретически исследована оригинальная схема компрессии, использующая хорошо известный в нелинейной оптике солитонный механизм самосжатия лазерных импульсов в среде с кубично нелинейностью показателя преломления и аномальной дисперсией групповой скорости.

В третьей главе диссертации предложен и теоретически исследован новый метод самокомпрессии волновых пакетов для формирования лазерных импульсов с длительностью в один период поля с энергией от единиц до десятка мДж в диапазоне длин волн 2-8 мкм. Этот метод основан на процессе самофокусировки лазерных импульсов, сильно вытянутых в поперечном направлении и имеющих солитонное распределение по продольной

координате. Показано, что в этом случае имеет место адиабатическое уменьшение продольного размера волнового пакета до длительности, соизмеримой с периодом поля.

В четвертой главе диссертации исследован метод экстремальной самокомпрессии лазерных импульсов солитонного типа в процессе полевой ионизации газа. Аналитически и численно показано, что в волноведущей системе с двумя независимыми типами нелинейностей (кубическая и ионизационной) имеет место адиабатическое уменьшение длительности волнового пакета на два порядка (от 25 фс до 250 ас), сопровождаемое сверхшироким смещением спектра в ультрафиолетовую область.

Дальнейшее увеличение мощности генерируемого лазерного излучения сопряжено со значительными техническими трудностями. Они связаны, в первую очередь, со стойкостью оптических элементов при огромных мощностях лазерного излучения. Это приводит к необходимости значительного увеличения геометрических размеров используемой оптики, что создает технологические проблемы. На высоком уровне мощности для лазерной компрессии естественно использовать процессы в ионизованной среде, для которой не возникает проблем электрической прочности материалов. В пятой главе диссертации автором проведены исследования по ионизационной динамике мощных фемтосекундных лазерных импульсов, распространяющихся в газонаполненных диэлектрических капиллярах в режиме ионизации газа. Проведенные расчеты показывают, что, несмотря на сложную нестационарную природу ионизационной нелинейности, возможно возбуждение нелинейного плазменного канала в диэлектрическом волноводе. По аналогии со случаем квазимонохроматических пакетов был применен метод моментов для качественного исследования эволюции системы. Проведено детальное исследование самосжатия электромагнитного излучения в капилляре. Продемонстрирована временная самокомпрессия выходных импульсов вплоть до одного оптического периода (2.6 фс). Возбуждение нелинейной моды в капилляре и уширение спектра оптического импульса за счет нелинейного механизма фазовой самомодуляции, обусловленного полевой ионизацией газа, приводит к тому, что ионизационный импульс по мере распространения в диэлектрическом капилляре самокомпрессируется. Эти результаты представляют большой интерес с точки зрения получения предельно коротких лазерных импульсов Дж уровня энергии. Экспериментально продемонстрирована двух-трех кратная временная компрессия исходного импульса длительностью ~ 70 фс.

В шестой главе диссертации теоретически обоснован и экспериментально продемонстрирован новый метод самокомпрессии релятивистски сильных лазерных импульсов до нескольких колебаний поля при возбуждении кильватерной плазменной волны. Развита теория нестационарного самовоздействия широких (в масштабе длины плазменной волны) пространственно-ограниченных сверхкоротких лазерных импульсов. Самосжатие волнового поля длительностью меньше периода плазменных колебаний связано с самосогласованным вытеснением электронов в задней части импульса. Для мультитераваттных лазерных импульсов насыщение релятивистской нелинейности приводит к квазиодномерному режиму самосжатия лазерного импульса. При этом характерная длина формирования сжатого импульса зависит от интенсивности поля по степенному закону. При релятивистски слабых интенсивностях самокомпрессия волнового пакета протекает в условиях нестационарной самофокусировки излучения; в этом случае характерная длина компрессии зависит от интенсивности экспоненциально.

Экспериментально продемонстрировано самосжатие суб-петаваттных лазерных импульсов с длительностью 30 фс до 10 фс в газовой струе в квазиодномерном режиме.

В целом автореферат работы производит хорошее впечатление. Следует отметить, что в исследованиях динамики самовоздействия подобных волновых пакетов преобладающим является численное моделирование. В то же время весьма важным представляется развитие методов аналитического исследования, позволяющее сформулировать некоторые общие выводы о динамике системы. Особо приятно отметить, что в представленной диссертации, наряду с численным исследованием эволюции системы, проведено дальнейшее развитие методов теории нелинейных волн (метод моментов распределения поля, обобщенное линзовое преобразование, солитонные и автомодельные решения).

В качестве замечания можно отметить следующее: в тексте автореферата в разделе 6.1.1 автором не приведено условие, когда реализуется одномерная модель возбуждения кильватерной плазменной волны.

Несмотря на указанное замечание, считаю, что диссертация Скобелева Сергея Александровича «Самовоздействие широкополосного излучения и формирование предельно коротких лазерных импульсов», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9-14), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Скобелев Сергей Александрович несомненно заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур
Российской академии наук
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2.
+7(495) 485-97-22; frolov@ihed.ras.ru

А.А. Фролов

Подпись А.А. Фролова удостоверяю
Ученый секретарь Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур
Российской академии наук
доктор физико-математических наук
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2.
+7(495) 485-90-09; amirovravil@yandex.ru



Р.Х. Амиров