

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Шипило Даниила Евгеньевича «Широкополосное электромагнитное излучение сходящегося пучка фемтосекундных филаментов в воздухе», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — «Лазерная физика»

В диссертации Даниила Евгеньевича Шипило представлено теоретическое исследование филаментации фемтосекундного излучения в сфокусированной геометрии распространения. Актуальность данной проблемы обусловлена большим числом экспериментальных работ, выполненных в таких условиях. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, логично структурирована, ее результаты апробированы публикациями в рецензируемых журналах высокого уровня и докладами на международных конференциях.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав основного текста, Заключение и списка цитируемой литературы.

Во **Введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, обозначена научная и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту, и сведения об апробации результатов работы.

Первая глава — это обзор литературы по филаментации в атмосфере, достаточно полный и качественный.

Во **второй главе** описана развитая автором методика подхода к описанию и теоретическому исследованию фокусировки и филаментации лазерного излучения. Ключевым моментом здесь является перенос начальных условий с криволинейной поверхности фокусирующего элемента (зеркала) на некоторую плоскость, перпендикулярную направлению распространения лазерного излучения и разделяющую режимы без учета (до плоскости) и с учетом нелинейности после прохождения излучением данной плоскости. При этом если в первой части пространства решение находится аналитически, то после прохождения указанной плоскости уравнения распространения должны решаться численно, с нелинейностью, учитываемой в полной мере. Такой подход важен, т.к. он обеспечивает существенную экономию ресурса времени для численных расчетов.

В **третьей главе** описаны результаты исследования филаментации фемтосекундных лазерных импульсов при фокусировке отражающим зеркалом и при установке фазово-амплитудных масок на пути распространения, в результате чего импульс разбивается на серию отдельных пучков, расположенных симметрично относительно оси распространения. Показано, что при фокусировке пучков происходит их слияние и образование суперфиламента. Показано, что при слиянии пучков происходит генерация третьей гармоники лазерного излучения и что интенсивность третьей

гармоники от суперфиламента оказывается на порядок большей, чем от одного филамента той же мощности.

Четвертая глава посвящена исследованию генерации терагерцового излучения при фокусировке в воздухе двухцветного чирпированного фемтосекундного лазерного излучения (первой + второй гармоник). Получено подтверждение экспериментальных результатов, полученных в работе китайских авторов, в которых наиболее высоко-энергетичный терагерцовый сигнал наблюдался при положительном чирпе. Найдено, что при формировании регулярной структуры из четырех филаментов распространение терагерцового излучения между ними имеет волноводный характер. Найдено также, что по мере распространения в таком волноводе спектр терагерцового излучения испытывает сдвиг в высокочастотную область.

Таковы основные результаты диссертации, суммированные в Заключение. Все указанные результаты являются новыми. Они безусловно значимы, поскольку демонстрируют существенное расширение понимания и знаний в такой популярной и актуальной области исследований как филаментация, слияние филаментов, образование суперфиламентов и целая серия возникающих при этом новых явлений. Отмечу также, что теоретические исследования автора и коллектива, в котором он работает, производятся в тесном контакте с ведущими экспериментальными работами как российских, так и иностранных ученых, что является несомненным стимулирующим фактором как для теоретиков, так и для экспериментаторов, а также подтверждает достоверность получаемых результатов.

Что касается замечаний по диссертации, отмечу, во-первых, что в ней рассмотрен только один из возможных режимов фокусировки лазерного излучения, а именно фокусировка зеркалом при совпадении центрального направления падающего и отраженного импульсов с оптической осью зеркала. На самом деле есть и другие режимы фокусировки, не менее интересные и также используемые. Например, это внеосевое отражение от зеркала или фокусировка линзой, а не зеркалом. Хотя и нельзя требовать от соискателя рассмотрения всех этих режимов сразу, но были бы полезны хотя бы краткие замечания по поводу ожидаемых отличий от осевого режима отражения зеркалом.

Еще одно замечание скорее терминологическое. И в названии диссертации и в тексте говорится о слиянии филаментов, в то время как в п. 3 Заключения ясно сказано, что имеется в виду "фокусировка нескольких суб-критических лазерных пучков", т.е. фокусировка еще не совсем филаментов. Хотелось бы видеть в этом плане немного большей согласованности формулировок.

Есть еще и ряд замечаний стилистического характера по тексту диссертации. Например, на стр. 7 говорится от том, что "Ионизация вычислялась по формуле Переломова-Попова-Терентьева". Ясно конечно, что

невозможно *вычислить* ионизацию, а можно вычислить только **вероятность** ионизации в единицу времени.

Другой пример: на стр. 12 сказано: “Показан волноводный режим распространения терагерцового излучения в этом режиме”. Режут слух словосочетания “Показан режим”, а также “режим ... в режиме”. Конечно, по большому счету все это мелочи. Однако, если рассматривать диссертацию как литературное произведение, то и за такими мелочами тоже надо следить и шероховатости исправлять.

Приведенные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не умаляют значимости основных полученных в ней результатов.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

Диссертация «Широкополосное электромагнитное излучение сходящегося пучка фемтосекундных филаментов в воздухе» соответствует паспорту специальности 01.04.21 — «Лазерная физика» и всем требованиям к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09. 2013 г., редакция от 29.05.2017 № 650, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а ее автор — Шипило Даниил Евгеньевич — заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела мощных лазеров Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

Федоров Михаил Владимирович

119991, г. Москва, ул. Вавилова, дом 38

Тел. +7 (499) 503-8777, доб. 257, e-mail fedorov@ran.gpi.ru

Подпись М. В. Федорова заверяю:

Зам. директора ИОФ РАН

доктор физ.-мат. наук, доцент В. В. Глушков

