

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Митиной Екатерины Владимировны  
«Формирование регулярных массивов филаментов и генерация терагерцевого излучения  
слабосфокусированными и коллимированными фемтосекундными лазерными пучками»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

**Актуальность исследований.** Кандидатская диссертация Митиной Е.В. посвящена задачам формирования и исследования упорядоченного множества филаментов при распространении фемтосекундного излучения с амплитудной модуляцией в воздушной среде и изучению генерации терагерцевого излучения, сопровождающей филамент при наложении внешнего электростатического поля. Предложен акустический метод исследования структуры плазменных каналов филаментов с высоким пространственным разрешением. Основным методом исследований в диссертационной работе является эксперимент, проводимый с 800-нм излучением тераваттной фемтосекундной лазерной системы в режиме нелинейного взаимодействия с воздушной средой. Результаты экспериментальных измерений при этом сопоставляются с простыми численными оценками, полученными автором, и с численным моделированием на основе решения нелинейного уравнения распространения фемтосекундного излучения, выполненным соавторами Митиной Е.В. по совместным публикациям. Результаты работы могут быть использованы для разработки диагностических методик пространственной стабильности мощных импульсных лазеров и в задачах по созданию новых источников терагерцевого излучения, формируемого вблизи удаленного объекта исследования.

**Достоверность выполненных автором исследований** не вызывает сомнений и подтверждается использованием современных экспериментальных методов исследования. Результаты работы опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях из списка ВАК и Перечня изданий МГУ и представлены на научных конференциях.

**Структура диссертационной работы.** Работа Митиной Е.В. содержит введение, три главы текста, заключение и список цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 119 страниц, список литературы включает 145 наименований.

Введение посвящено раскрытию актуальности и степени разработанности темы диссертационной работы, научной новизне и значимости. Помимо этого, в нем перечислены защищаемые положения, а также журналы и труды конференций, где публиковались работы соискателя. Кроме того, каждая повествовательная глава перед своей оригинальной частью содержит подробный обзор литературы, касающейся непосредственной тематики представленных в главе исследований.

В Главе 1 развит новый экспериментальный метод исследования пространственной структуры фемтосекундного филамента на основе акустического сигнала, формируемого при термализации плазменного канала в воздушной среде. Метод позволяет в одном лазерном выстреле неинвазивно регистрировать параметры плазменного канала одиночного филамента или структуру массива плазменных каналов при множественной филаментации. В качестве детектора акустической волны предложено использовать широкополосный пьезоэлектрический детектор на основе полимерной пленки с рабочей полосой пропускания до 6 МГц. При этом достигнутое поперечное и продольное пространственное разрешение структуры плазменных каналов филаментов составляет не более 100 мкм и 7 мм, соответственно. На основе одновременности регистрации акустического сигнала плазменного канала предложен способ оценки пространственной стабильности мощного фемтосекундного лазерного излучения, формирующего при слабой фокусировке в воздушной среде одиночный филамент.

Глава 2 посвящена экспериментальным исследованиям регуляризации множества филаментов, образующихся при распространении в среде фемтосекундного импульса с пиковой мощностью, многократно превышающей критическую мощность самофокусировки. Упорядочение филаментов осуществлялось методом амплитудной регуляризации при помощи масок, представляющих собой непрозрачную пластину с регулярными отверстиями, пропускающими лазерное излучение. Регистрация структуры сформировавшихся филаментов осуществлялось как непосредственно ПЗС-камерой, так и акустическим методом, предложенным в предыдущей главе. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили, что амплитудная регуляризация

пространственной структуры тераваттного фемтосекундного пучка с помощью маски с несколькими отверстиями позволяет создать устойчивый массив протяженных филаментов. Определено оптимальное соотношение размеров ячейки амплитудной маски и начальной энергии воздействующих фемтосекундных импульсов для режима эффективной регуляризации.

Глава 3 посвящена генерации терагерцевого излучения протяженным одноцветным филаментом при его прохождении через область со внешним электростатическим полем, вызывающим поперечные колебания свободных электронов плазменного канала. Установлена прямая связь между амплитудой акустического сигнала, пропорциональной плотности плазменного канала филамента, и энергией регистрируемого терагерцевого импульса. Это позволило получить экспериментальные зависимости влияния количества филаментов, сформированных в поперечном сечении пучка, их протяженности и длины приложения поперечного электростатического поля на эффективность генерируемого терагерцевого излучения и свойства его частотно-углового спектра. Определены оптимальные условия фокусировки фемтосекундного излучения, при которых формируется протяженный плазменный канал с высокой концентрацией свободных электронов и происходит генерация высокоэнергичного терагерцевого излучения.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Раздел **Научная новизна** не содержит общепринятых терминов: «впервые показано...», «новый метод...» и т.д. Вместо чего, в нем представлено перечисление основных результатов работы без их сопоставления с ранее полученными, известными фактами.

2. При описании метода исследования пространственной стабильности мощных импульсных лазеров не пояснено с чем связана флуктуация положения нелинейного фокуса в поперечном сечении пучка — с конструктивными особенностями фемтосекундной лазерной системы или турбулентностью атмосферной трассы, на которой происходило формирование одиночного филамента.

3. При описании акустического метода исследования плазменного канала филамента, указано (стр. 31): «...детектировалась акустическая волна, генерируемая при пробое воздуха». Термин «пробой» в данном случае не применим, так как существует

значительное отличие между оптическим пробоем и процессом формирования лазерной плазмы в филаменте [N. T. Nguyen et al. Opt. Lett. 28(17) 2003].

4. В Главе 2 указано, что в проведенных экспериментах одиночный филамент формировался при пиковой мощности импульса свыше 40 ГВт. Однако, данная величина более чем на порядок превосходит общеизвестное значение критической мощности самофокусировки в воздухе и, соответственно, в данном случае должна проявляться множественная филаментация.

5. На рисунке 10 приведены распределения флюенса фемтосекундного излучения с различной начальной энергией, сфокусированного линзами с различным фокусным расстоянием  $F$ . При этом не обоснован выбор расстояния  $z = 1.5F$  от маски, на котором представлены все данные распределения. Уместно было бы сравнить полученные картины флюенса, например, в точках формирования филаментов, расстояния до старта которых различны для описанных начальных условий.

6. Главе 3 рационально было бы представить результаты генерации терагерцевого излучения от упорядоченного массива филаментов, условия формирования которого подробно рассмотрены в главе 2. Возможно, конструктивная интерференция излучения когерентных протяженных источников, упорядоченно расположенных в плоскости поперечного сечения, при определенных условиях позволит получить дополнительный рост энергии результирующего импульса терагерцевого диапазона.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер, не снижают целостности и качества работы, и не влияют на положительную оценку.

**Заключение.** Диссертация выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что по актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «Лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1 – 2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени

М.В. Ломоносова, соответствует критериям «Положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК (утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842)». Диссертационная работа оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Митина Екатерина Владимировна, как автор работы, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 — «Лазерная физика».

Официальный оппонент,  
начальник научно-исследовательского отдела  
Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»),  
к.ф.-м.н.

А.Е. Дормидонов

13.11.2023

Контактные данные:  
тел.: +7(499)730-12-82 (доб. 4-17),  
e-mail: AEDormidov@vniia.ru  
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
01.04.21 — «Лазерная физика»

Адрес места работы:  
Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им Н.Л. Духова»  
ул. Сущевская, д. 22, Москва, 127030  
Тел.: (499) 978-78-03  
E-mail: vniia@vniia.ru

Подпись начальника отдела ФГУП «ВНИИА» А.Е. Дормидонова заверяю

Начальник группы отдела кадров



Н.В. Бондарева

13.11.2023