

**Отзыв научного руководителя  
о диссертационной работе Шутова Алексея Викторовича  
«Нелинейные процессы при усилении мощных субпикосекундных УФ лазерных  
импульсов в KrF лазерной системе и их распространении в атмосфере»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».**

Шутов Алексей Викторович в 2011 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный Исследовательский Ядерный Университет (МИФИ)» с присвоением квалификации инженер-физик по специальности «физика конденсированного состояния вещества». С 2012 по 2016 год обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), с 2017 года работает в Лаборатории газовых лазеров Отделения квантовой радиофизики им. Н. Г. Басова ФИАН, в настоящее время в должности высококвалифицированного научного сотрудника.

Диссертационная работа Шутова А.В. посвящена исследованию нелинейных процессов при усилении в многокаскадной KrF лазерной системе субпикосекундных УФ импульсов с тераваттной пиковой мощностью и их распространении вдоль 100-м трассы в атмосферном воздухе. Актуальность решаемой в диссертации задачи обусловлена потенциальными возможностями применения мощных широкоапертурных KrF лазерных усилителей с накачкой электронными пучками в качестве эффективных драйверов для лазерного термоядерного синтеза (ЛТС), а также для создания протяженных филаментированных слабоионизованных каналов в атмосферном воздухе для инициирования и управления длинными электрическими разрядами и направленной передачи СВЧ излучения вдоль плазменных волноводов. Исходя из этих задач в диссертации исследовано явления множественной самофокусировки и филаментации в коллимированных или слабосходящихся лазерных пучках с достаточно большой апертурой  $\sim 10$  см в сравнительно малоисследованном УФ диапазоне, где порог самофокусировки излучения в 30 раз ниже, чем для ИК титан-сапфировых лазеров, широко используемых в исследовании филаментации.

К моменту начала работы А.В. Шутова над диссертацией практически отсутствовала информация о нелинейных процессах при усилении мощных коротких УФ лазерных импульсов в эксимерных усилителях, хотя такие работы начинались ещё в 90 годы прошлого века для получения сверхмощных коротких лазерных импульсов. Реализация усиления chirпированных по частоте лазерных импульсов с последующим сжатием дифракционными решетками позволило решить эту задачу с твердотельными лазерами. Однако, актуальность исследований KrF лазеров для ЛТС, и особенно для его перспективной схемы «ударного зажигания» сохранилась. Множественная филаментация излучения приводит к стократному локальному возрастанию интенсивности и плотности энергии в филаментах, на которые в сумме приходится значительная часть энергии импульса. Это приводит к росту ненасыщаемых потерь в активной среде KrF усилителей, ограничению энергии и мощности выходного излучения. В диссертации показано, что нелинейное поглощение филаментов приводит разрушению оптических окон усилителей, а нелинейное рассеяние и уширение спектра сверх полосы усиления активной среды вносит дополнительные потери при усилении. Филаментация лазерного пучка при распространении вдоль воздушной трассы ухудшает его расходимость и тем самым ограничивает интенсивность при фокусировке излучения, а также уширяет спектр излучения. В диссертации найден эффективный способ подавления филаментации при использовании ячейки с Хе, в котором нелинейный показатель преломления, ответственный за самофокусировку, отрицательный и по абсолютной величине в 70 раз превышает значение для воздуха.

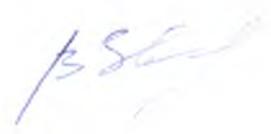
С другой стороны, большая энергия кванта KrF излучения (5 эВ) облегчает многофотонную ионизацию воздуха, а двух и трехфотонные резонансы поглощения при возбуждении электронных уровней атомов и молекул значительно усиливают эффективность фотоионизации. В диссертации А.В. Шутова для различных длительностей импульсов в фемто- и наносекундном диапазонах изучены механизмы многофотонной ионизации атмосферного воздуха и его основных компонентов. Измерены сечения этих процессов и впервые показано, что едва ли ни главный вклад в образование плазмы дает атмосферная влага, присутствующая в воздухе в сравнительно небольших (1–2%) количествах. Рассмотрены основные процессы релаксации фотоионизационной воздушной плазмы, связанные с прилипанием электронов к молекулам кислорода и их рекомбинацией с положительными ионами. Найдены соотношения между этими двумя механизмами в зависимости от плотности плазмы, напряженности приложенного электростатического поля и влажности воздуха. И вновь вода, участвующая в качестве третьей частицы в прилипании электронов к кислороду, как оказалось, вносит существенный вклад в измеренные времена прилипания.

Диссертационная работа А.В. Шутова выполнялась на большой и сложной установке, в обеспечении работы которой и проведении экспериментов участвовал большой коллектив сотрудников. Тем не менее, А.В. Шутов четко обозначил приоритеты своих исследований и самостоятельно получил все основные приведенные в диссертации результаты. Его работа прошла апробацию в многократных выступлениях на научном семинаре ОКРФ ФИАН, докладывалась на 16 Международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 11 работ в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, и входящих в перечень ВАК.

Высокий уровень исследований и оригинальность полученных результатов отвечают всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Работая над диссертацией, А.В. Шутов продемонстрировал творческую активность и хорошие экспериментальные навыки, умение самостоятельно планировать и проводить сложные эксперименты и интерпретировать полученные результаты, которые в итоге оказались чрезвычайно важными для решения поставленных задач.

Считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а А.В. Шутов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика».

Высококвалифицированный ведущий научный сотрудник  
Отделения квантовой радиофизики  
им. Н.Г. Басова Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки  
Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Российской академии наук,  
кандидат физико-математических наук

  
Зворыкин Владимир Дмитриевич  
28.11.2019

ФИАН, 119991 Москва, Ленинский пр. 53,  
Тел.: 499-132-67-39; e-mail: zvorkinvd@lebedev.ru

Подпись В.Д. Зворыкина заверяю.  
Ученый секретарь Федерального  
государственного бюджетного учреждения науки  
Физический институт им. П. Н. Лебедева  
Российской академии наук,  
кандидат физико-математических наук



  
Жолобов Андрей Владимирович