

## ОТЗЫВ

**научного руководителя на диссертационную работу Ефименко Евгения Сергеевича  
«Самосогласованные нелинейные эффекты при ионизации вещества и вакуума  
сильнофокусированными фемтосекундными лазерными импульсами»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.21 - Лазерная физика**

В настоящее время одной из важных задач является изучение механизмов взаимодействия сверхсильного излучения с веществом, что объясняется не только фундаментальной ценностью полученных результатов, но и наличием большого числа практически важных приложений. Исследования в диссертации Е.С. Ефименко направлены на изучение нелинейных режимов взаимодействия фемтосекундного лазерного излучения с веществом (газом, конденсированной средой, вакуумом) в условиях, когда определяющим фактором взаимодействия является ионизация среды. Особое внимание уделяется режимам, когда для достижения максимальной интенсивности при фиксированной мощности лазерного излучения применяют резкую фокусировку лазерного излучения. Помимо увеличения интенсивности лазерного излучения в данном случае возможно достижение высокой локализации взаимодействия и плотности формирующейся плазмы. Практическое применение подобных систем охватывает широкий круг областей, от микрохирургии тканей и клеток в биологии и медицине до модификации показателя преломления в прозрачных диэлектриках для создания фотонных устройств, например, волноводов или резонаторов, и молекулярной спектроскопии. Особое значение в этом случае представляет вопрос о структуре плазменного распределения в области фокуса и максимально достижимом значении плотности плазмы или изменения показателя преломления. В работе демонстрируется, что при превышении некоторого критического угла, в плотном газе возможно формирование неоднородного распределения плазмы, вызванного модуляцией сильнофокусированного лазерного излучения в области фокуса. Не менее важным представляется вопрос устойчивости лазерного импульса при распространении в прозрачной среде в условиях резкой ионизации. Хорошо известно, что при распространении электромагнитной волны в присутствии ионизации возможно развитие различных ионизационных неустойчивостей. В работе исследуется сильно нелинейный режим ионизационной неустойчивости типа вынужденного ионизационного рассеяния фемтосекундных лазерных импульсов. Предлагается метод использования эффекта вынужденного ионизационного рассеяния для усиления ультракоротких лазерных импульсов.

В работе также теоретически и экспериментально рассмотрена ионизационная динамика при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с одиночными водяными каплями и аэрозолями с учетом пробоя вещества внутри капли, а также свойства рассеянного излучения. Данные исследования важны с точки зрения атмосферной оптики, а также возможных применений одиночных капель в виде одиночных нелинейных зондов для диагностики пространственного распределения интенсивности. На основе предложенной самосогласованной модели в работе показано, что сильная локализация поглощения внутри капли приводит к значительным плотностям поглощенной энергии, достигающим  $100 \text{ кДж/см}^3$ , что делает рассматриваемый объект интересным с точки зрения изучения вещества в экстремальных условиях.

Развитие современных лазерных систем (APOLLON, ELI, XCELS, SEL) сделает возможным в ближайшей перспективе исследование пробоя такой среды как физический вакуум за счет развития квантово-электродинамических (КЭД) каскадов. Оптимизация конфигурации многопучковых лазерных систем вместе с экстремальной фокусировкой лазерного излучения позволят снизить порог развития КЭД каскадов и сделает возможным их использование, например, в качестве источников высокоэнергичных фотонов и элементарных заряженных частиц. В этой связи диссертантом были исследованы новые нелинейные режимы взаимодействия сверхмощного лазерного излучения с электрон-позитронной плазмой, образующейся в процессе взаимодействия излучения мультипетаваттного уровня мощности с

плазменными мишенями. Показано, что в результате взаимодействия формируются мелкомасштабные плазменные структуры со сверхвысокой плотностью электрон-позитронной плазмы. В данных режимах, как параметры плазмы, так и величины электромагнитных полей могут достигать экстремальных значений, что может представлять общефизический интерес, например, для задач лабораторной астрофизики.

Проведенные Е.С. Ефименко исследования, несомненно, имеют высокий научный уровень. Полученные результаты по теме диссертационной работы опубликованы в 7 статьях в реферируемых научных журналах, 2 сборниках конференций и лично представлены в докладах 4 российских и 16 международных конференций, совещаний и научных школ. Е.С. Ефименко является исполнителем работ по Мегагранту правительства РФ (2018-2020 гг.), различным грантам РНФ и РФФИ. Евгений был удостоен поощрительного диплома на конкурсе молодых ученых ИПФ РАН (2009 г.), стипендии им. Г.А. Разуваева правительства Нижегородской области (2009 г.), стипендии Президента РФ (2013-2015 гг. и 2016-2018 гг.). Е.С. Ефименко является победитель конкурсов «У.М.Н.И.К.-2010» и «У.М.Н.И.К.-НН-2011» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, в составе коллектива авторов ННГУ и ИПФ РАН победитель и лауреат следующих конкурсов научно-исследовательских проектов: - «Компьютерный континуум: от идеи до воплощения» (Интел-фонд Сколково), «Моделирование плазмы на гетерогенных кластерных системах» (2012), «Эффективное использование GPU-ускорителей при решении больших задач» (МГУ+Т-Платформы, 2011), «Высокопроизводительные вычисления в медицине/численное моделирование плазмы» (2011), «Компьютерный континуум: от идеи до воплощения» (Интел).

За время выполнения работы Е.С. Ефименко продемонстрировал отличную математическую подготовку, отличное владение вычислительными методами, целеустремленность, быструю обучаемость, творческий подход к постановке задач и анализу полученных результатов. За время работы над диссертацией Евгений научился как решать поставленные научные задачи, так и самостоятельно формулировать цели последующих исследований, став, таким образом, высококвалифицированным специалистом в области лазерной физики.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа «Самосогласованные нелинейные эффекты при ионизации вещества и вакуума сильнофокусированными фемтосекундными лазерными импульсами» полностью соответствует выбранной специальности 01.04.21 - Лазерная физика и критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор, Евгений Сергеевич Ефименко, несомненно, заслуживает присвоения искомой степени кандидата физико-математических наук.

к. ф.-м. н., зав. лаб. 332

*актис*

А.В. Ким

«14» *сентября* 2020 г.

e-mail: kim@ufp.appl.sci-nnov.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН).  
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, Бокс-120, ул. Ульянова, 46

Подпись к.ф.-м.н. Кима А.В. удостоверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН,  
кандидат физико-математических наук

*И.В. Корюкин*

И.В. Корюкин

