

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Ефименко Евгения Сергеевича**

«Самосогласованные нелинейные эффекты при ионизации вещества и вакуума сильнофокусированными фемтосекундными лазерными импульсами»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.21 - Лазерная физика

Современное развитие лазерных систем позволяет рутинно получать интенсивности, при которых происходит пробой вещества, а на перспективных лазерных установках, как ожидается, будет возможен и пробой вакуума (каскадное рождение электрон-позитронной плазмы). Диссертация Евгения Сергеевича Ефименко посвящена изучению взаимодействия мощного лазерного излучения с плазмой, формируемой в результате пробоя газа, конденсированной среды и даже вакуума. Основное внимание уделено изучению нелинейных режимов, реализуемых в процессе самосогласованной динамики.

В первой главе рассмотрено самосогласованное распространение мощного фемтосекундного лазерного излучения в газе в условиях туннельной ионизации. Проанализирован важный с практической точки зрения режим острой фокусировки, позволяющий достичь высокой локализации взаимодействия и соответственно высокой плотности плазмы. В частности, показано, что при превышении граничного угла фокусировки в плотном газе возможно формирование неоднородности плазмы, вызванное модуляцией сфокусированного лазерного излучения.

Во второй главе изучен нелинейный режим процесса трехволнового рассеяния лазерного импульса на волне ионизации и продемонстрировано использование данного эффекта для усиления предельно коротких лазерных импульсов.

В третьей главе изучена ионизационная динамика при взаимодействии фемтосекундного лазерного импульса с водяной каплей. Эта задача может представлять особый практический интерес с точки зрения атмосферной оптики. В частности, показано, что внутри объема

капли достижима плотность поглощенной энергии до 100 кДж/см³ и продемонстрировано хорошее совпадение результатов численного моделирования и проведенных в ИПФ РАН экспериментов.

В четвертой главе изучены нелинейные режимы взаимодействия сверхплотной электрон-позитронной плазмы, формирующейся в результате развития квантово-электродинамического каскада при обжати плазменных мишеней предельно жестко сфокусированными мультитераваттными лазерными импульсами. Содержание этой главы близко к области моих научных интересов. На мой взгляд, отраженные в этой главе исследования (с которыми я ранее знакомился по публикациям соискателя) уникальны и впервые продемонстрировали возможность нетривиальной нелинейной динамики квантово-электродинамических каскадов. В частности, показано, что в зависимости от мощности лазерного излучения могут существовать два различных режима: токового расслоения и токовой контракции, причем оба ведут к формированию мелкомасштабных плазменных структуры со сверхвысокой плотностью электрон-позитронной плазмы. Также проработан вопрос о возможности практической реализации такого поведения на проектируемой в ИПФ РАН установке XCELS. Насколько мне известно, результаты, описанные в этой главе, включены в предполагаемую этим проектом программу исследований и в некоторой степени повлияли на предлагаемую в нем многоканальную схему.

Полученные в диссертации результаты опубликованы в таких журналах как *Physical Review Letters*, *JOSA B*, *Applied Physics B*, *Scientific Reports*, *Physical Review E* и *Physics of Plasmas*, и доложены на многочисленных конференциях, в том числе на организованных нами международных конференциях *International Laser Physics Workshop* в 2017 и в 2019 гг. Следует отметить, что в список работ, содержащих основные результаты диссертации, включены далеко не все работы соискателя - в действительности он является соавтором намного большего числа (в том числе хорошо известных) работ, чем указано в автореферате.

Автореферат дает полное представление о полученных результатах, однако содержит мало конкретных деталей об использованных в расчетах исходных предположениях и моделях, поэтому по запросу соискатель прислал мне полный текст диссертации, с которым я таким образом получил возможность также ознакомиться. Он не свободен от мелких несуразностей, шероховатостей и опечаток. Так, например, приведенный на стр. 20 график на рис. 1, возможно, требует дополнительных пояснений:

по непонятной мне причине красная кривая (как кажется, отвечающая туннельной ионизации) растет при уменьшении интенсивности и слева расположена над синей кривой ('Full'). Здесь же отмечу, что автор регулярно называет вероятность в единицу объема и единицу времени просто вероятностью или вероятностью в единицу времени. Далее, на стр. 24 в формуле (18) не определена буква α ("альфа"), а на стр. 33 написано, что якобы фотон может распасться в поле на электрон-позитронную пару если его энергия превышает ее энергию покоя (смысл этого условия мне неясен). Наконец, значительная часть формул в п. 3.1.1 практически дублируют таковые в п.1.1 (на мой взгляд в таких случаях достаточно было бы сослаться по номеру), а стили оформления списка литературы перемешаны, при этом в источнике [A10] фамилия соискателя сокращена до первой буквы. В то же время в автореферате таких ляпов мне найти не удалось.

По большому счету и по существу, в четвертой главе остро не хватает аналитической модели, которая бы демонстрировала обнаруженные структурные перестройки каскада в нелинейном режиме. Такая, пусть и сильно упрощенная, модель могла бы быть полезна как при исследовании принципиальных вопросов (например, для определения характерных масштабов наблюдаемых плазменных структур и их зависимости от параметров), так и при выявлении аналогичного типа поведения в других задачах. Например, принципиальная возможность стабильного удержания сверхплотной плазменной колонны, пусть и при наличии постоянной энергетической накачки, возможно могла бы представлять интерес в проблеме УТС. При наличии аналитической модели было бы намного яснее, что именно существенно а что нет. На мой взгляд, упрощенную модель можно было бы попробовать построить локально в стационарной аксиально-симметричной геометрии, с использованием подходящих граничных условий и постаравшись максимально абстрагироваться от имеющихся в задаче усложнений.

Отмеченные недостатки носят в целом больше технический характер (либо даже пожеланий на будущее) и не снижают ценности представленной диссертационной работы и полученных в ней многочисленных результатов. Автореферат диссертации отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в редакции Постановления Правительства РФ № 335 от 21.04.2016 г., а соискатель Евгений Сергеевич Ефименко заслуживает присвоения

степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации Е.С. Ефименко.

Составитель отзыва:

Доцент института лазерных и плазменных технологий (ЛаПлаз) НИЯУ МИФИ, к.ф.-м.н., доцент



А.М. Федотов

Рабочий телефон: +7(495) 788-56-99, доб. 9377

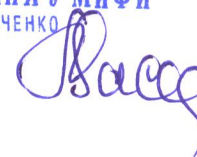
Email: AMFedotov@MEPhI.ru

Федотов Александр Михайлович

Подпись Федотова А.М. заверяю



Подпись заверяю
Зам. директора по персоналу НИЯУ МИФИ
Л. В. Васильченко



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(НИЯУ МИФИ)

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31