

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Васильева Евгения Владимировича «Филаментация фемтосекундных оптических вихрей при аномальной дисперсии групповой скорости в прозрачных твердотельных диэлектриках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Диссертационная работа Е.В. Васильева посвящена исследованию филаментации вихревых пучков фемтосекундного лазерного излучения в твердотельных диэлектриках.

Основным методом исследования является постановка и проведение вычислительного эксперимента на базе математической модели распространения излучения в условиях филаментации, которая в настоящее время сформулирована достаточно полно. В ее основе лежит уравнение для комплексной медленно меняющейся амплитуды светового поля с оператором волновой нестационарности, с помощью которого учитываются линейная и нелинейная дисперсия. Использование данного оператора представляется особенно важным для описания динамики импульсов фемтосекундных длительностей.

Актуальность работы не вызывает сомнений. Уникальные свойства явления филаментации открывают принципиально новые возможности для фемтосекундных лазерных технологий в оптике. Изучение сингулярных пучков перспективно с точки зрения множества потенциальных приложений, к которым относится, в частности, создание протяженных каналов микромодификации в объеме диэлектриков. Режим аномальной дисперсии групповой скорости в присутствии винтовой дислокации фазы позволяет говорить о формировании кольцевых световых пучков фемтосекундного излучения, что дополняет многочисленные исследования о получении световых пучков в гауссовых пучках.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение, Списка публикаций, Приложения и Списка цитируемой литературы.

Во Введении изложена актуальность работы, степень разработанности темы, цели и задачи, объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертации, методология исследования, защищаемые положения, степень достоверности, а также апробация результатов и личный вклад автора.

В первой главе проводится обзор состояния исследований, связанных с изучением режима формирования световых пучков при филаментации в твердотельных диэлектриках. Проанализированы условия возникновения и характерные параметры световых пучков в гауссовых пучках. Приведены результаты исследований, касающиеся пространственно-временной динамики и спектрального уширения оптических вихрей при самовоздействии за счет оптической нелинейности. Рассмотрены возможные применения вихревых пучков.

Во второй главе представлен вывод уравнений используемой математической модели филаментации пучков с сингулярностью. Изложены и обоснованы приближения, которые касаются, в частности, наличия в волновом уравнении оператора волновой нестационарности. Проведено тестирование разработанного программного пакета и проанализировано влияние различных параметров модели на самовоздействие оптического вихря. Проведена оценка величины шума в вихревом пучке на входе в среду, при котором пучок остается квази-осесимметричным на расстояниях, превышающих расстояние до первого нелинейного фокуса, и не распадается на ряд горячих точек под влиянием азимутальной неустойчивости.

Третья глава посвящена анализу формирования кольцевых световых пучков при филаментации фемтосекундного оптического вихря в плавленом кварце. В начале главы рассмотрены особенности самофокусировки вихревых пучков и предложена обобщенная на случай оптических вихрей формула Марбургера, описывающая зависимость нелинейной длины самофокусировки от превышения мощности пучка над критической. При переходе к нестационарному случаю проведена оценка характерных пространственных и временных параметров кольцевых световых пучков, которая находится в согласии с многочисленными результатами изложенных в литературе экспериментов для гауссовых пучков. Помимо этого проанализирована многофокусная структура излучения, а также трансформация энергии импульса в стоксову и антистоксову области спектра.

В четвертой главе исследована роль различных параметров излучения при распространении фемтосекундных вихревых пучков. Показано, что ограничение интенсивности в первом нелинейном фокусе при самовоздействии оптического вихря на длине волны $\lambda_0 = 1800$ нм с пятикратным превышением пиковой мощностью критического значения в кристалле LiF наступает не из-за дефокусировки в наведенной лазерной плазме, а в результате дифракции кольцевого оптического вихря. Получено, что как и в случае с гауссовыми пучками, наиболее интенсивные пули формируются при равенстве дифракционной и дисперсионной длин.

Представлен анализ влияния мощности излучения, топологического заряда вихревого пучка и параметров сред на формирование кольцевых пульс.

Пятая глава посвящена исследованию уширения спектра излучения при самовоздействии оптических вихрей. Проведено сравнение данных эксперимента, полученных коллегами из Института спектроскопии РАН, с численными расчетами для самовоздействия оптического вихря в плавленом кварце. Полученные частотные и частотно-угловые спектры имеют качественное сходство с результатами моделирования.

В Заключении сформулированы основные выводы работы.

Следует отметить, что в работе Е.В. Васильева впервые получены характерные параметры кольцевых световых пульс при филаментации в оптических вихрях инфракрасного диапазона. Отдельного внимания заслуживает предложенная в диссертации качественная модель, объясняющая появление полос вдоль угловой координаты частотно-углового спектра излучения при самовоздействии вихревых пучков. Кроме того, представляет безусловный интерес часть работы, посвященная влиянию параметров используемой математической модели на решение системы уравнений, описывающей распространение фемтосекундного излучения в нелинейной оптически изотропной среде.

Диссертация является законченной научной работой. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В то же время, работа Е.В. Васильева не лишена недостатков.

1. В третьей главе утверждается, что характерная длительность световых пульс, полученных на основе численного решения уравнения (2.65а), соответствует одному колебанию электромагнитного поля. Но в таком случае приближение медленно меняющейся огибающей, использованное при получении упомянутого уравнения, перестает быть справедливым.

2. В четвертой главе проводится упомянутая выше мысль о том, что ограничение самофокусировки оптического вихря при сильно-аномальной дисперсии групповой скорости обусловлено дифракционной расходимостью, а не плазменной нелинейностью. В то же время известно, что наличие одной только керровской нелинейности не может привести к формированию световой пули. Может быть, здесь становится важной также роль дисперсии данной нелинейности, описываемой действием оператора волновой нестационарности на кубическую нелинейность? Обсуждение этого важного вопроса в работе не содержится.

Данные замечания не снижают научной значимости работы.

Соискатель проявил необходимую квалификацию, физическую интуицию и хорошие навыки в использовании численных подходов к решению нелинейных уравнений в частных производных.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным п.п. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Работа оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Васильев Евгений Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

Доктор физ. – мат. наук,
профессор,
начальник отдела
НИЦ «Курчатовский институт»

С.В. Сазонов
14.02.2023

Сазонов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, начальник отдела Курчатовского ядерно-физического комплекса Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

тел.: (499)1967662

e-mail: sazonov_sv@nrcki.ru

Подпись С.В. Сазонова заверяю
Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»

К.Е. Борисов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.,
тел.: +7 (499) 196-95-39, факс.: + 7 (499) 196 17-04, e-mail: nrcki@nrcki.ru