

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».

Актуальность исследований. Кандидатская диссертация Васильева Е.В. посвящена установлению закономерностей нелинейного распространения фемтосекундных волновых пакетов с фазовой сингулярностью в поперечном сечении пучка в прозрачных диэлектрических средах и фактически является новой главой в сборнике трудов по исследованию фемтосекундной филаментации. Основным методом исследования является численный эксперимент, основанный на решении нелинейного уравнения для медленно меняющейся амплитуды светового поля в осесимметричной геометрии. Результаты работы могут быть использованы в задачах по созданию элементов микрофотоники, например, для записи протяженных трубчатых каналов микромодификаций показателя преломления в объеме прозрачных диэлектриков.

Достоверность выполненных автором исследований не вызывает сомнений и подтверждается использованием современных численных методов исследования. Результаты работы опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях из списка ВАК и обсуждены на научных конференциях.

Приведенные в диссертации результаты исследований являются обоснованными, каждый из сделанных выводов подкрепляется анализом соответствующих физических механизмов. Бесспорная научная новизна исследований подтверждается тем, что описание и объяснение множества особенностей самовоздействия фемтосекундных оптических вихрей в твердотельных диэлектриках сделано впервые.

Структура диссертационной работы. Работа Е.В. Васильева содержит введение, пять глав текста, заключение, перечень публикаций, приложение и список цитируемой

литературы. Объем диссертации составляет 186 страниц, список литературы включает 276 наименований.

Введение посвящено раскрытию актуальности работы, научной новизне и значимости. Помимо этого, в нем перечислены защищаемые положения, а также журналы и труды конференций, где публиковались работы соискателя.

В Главе 1 представлен обзор литературы, посвященной проблематике работы. Приведена история открытия самофокусировки и филаментации лазерного излучения, рассмотрены основные механизмы нелинейного самовоздействия лазерных импульсов в среде. Описан режим формирования световых пучков среднего ИК диапазона в волновых пакетах с гауссовым распределением интенсивности. Введено понятие фазовой сингулярности и оптического вихря, рассмотрены работы, которые посвящены нелинейному распространению фемтосекундных вихревых пучков в средах с кубичной нелинейностью.

Глава 2 посвящена получению и описанию нелинейного уравнения, описывающего эволюцию медленно меняющейся амплитуды светового поля фемтосекундного волнового пакета с фазовой дислокацией при распространении в прозрачной среде. Представленная модель описывает дифракцию, дисперсию, керровскую и плазменную нелинейность, обратное тормозное и нелинейное поглощения и экстинкцию. Подробно освещены использованные численные схемы решения и методы сокращения времени расчетов. На примере ряда аналитических зависимостей проведено тестирование кода. Отдельно хотелось бы выделить раздел, посвященный влиянию оператора волновой нестационарности на пространственно-временную динамику световой пули и соответственно ее пространственно-угловой спектр. Показано, что неполный его учет приводит к несбалансированности уравнения и артефактам численного решения. Проведена оценка уровня амплитудно-фазового шума, который может иметь стационарный кольцевой пучок с фазовой сингулярностью и при этом не распадаться из-за азимутальной модуляционной неустойчивости на ряд горячих точек.

В Главе 3 рассматривается нелинейное распространение стационарных и нестационарных ИК оптических вихрей в плавленом кварце. Получено обобщение формулы, описывающей зависимость нелинейного фокуса от превышения мощности над критической мощностью самофокусировки для сингулярных пучков с различными топологическими

зарядами. Исследована филаментация фемтосекундного оптического вихря с фиксированными параметрами. Получены характерные пространственно-временные и спектральные параметры кольцевых пучков, дана характеристика возникающей многофокусной структуре излучения.

В Главе 4 изучено влияние параметров излучения на филаментацию оптических вихрей и проведено их сравнение с гауссовыми импульсами. Произведен подробный анализ влияния дисперсии групповой скорости на процесс самовоздействия кольцевых сингулярных пучков. Показано, что при мощности пучка менее $5P_{cr}$ остановка роста интенсивности в нелинейном фокусе обусловлена сильной дифракционной расходимостью сжатой кольцевой структуры светового поля. Установлено, что световые пули с максимальной интенсивностью формируются при условии равенства дифракционной и дисперсионной длин фемтосекундного вихря.

В Главе 5 исследованы особенности трансформации частотно-углового спектра оптических вихрей при нелинейном распространении. Предложена качественная модель, объясняющая появление колец в угловом спектре вихрей в окрестности первого нелинейного фокуса. Проведено сравнение расчётных решений с экспериментальными результатами филаментации фемтосекундного вихря ИК диапазона и гауссова пучка в кристалле LiF.

Замечания по диссертационной работе.

1. При численном моделировании выбрана осесимметричная геометрия, в которой принципиально не воспроизводится распад волнового пакета с кольцевым распределением интенсивности в поперечном сечении на нелинейные фокусы. Этот подход, позволяющий значительно сэкономить вычислительные ресурсы, обоснован решением стационарной задачи самофокусировки вихревого пучка с модельным шумом различной дисперсии и радиусом корреляции. Однако, как показано автором в последующих главах, самовоздействие стационарного пучка и волнового пакета, распространяющегося в условиях аномальной дисперсии групповой скорости (АДГС), значительно отличается, а именно «в отличие от рассмотренной стационарной самофокусировки при нестационарном самовоздействии не происходит выделения низкоинтенсивной периферической моды, поскольку АДГС раньше приводит к сжатию импульса и увеличению пиковой интенсивности». При этом вероятность распада волнового

пакета вследствие модуляционной неустойчивости значительно возрастает, и следовало бы произвести несколько модельных расчетов в (X, Y, T) геометрии для подтверждения правомерности использованного осесимметричного приближения.

2. Использование простой интерференционной модели при анализе частотно-углового спектра кольцевых световых пучков, позволило бы автору не только качественно, но и количественно объяснить положение максимумов и минимумов в плоскости (θ, λ) , являющимися результатом конструктивной и деструктивной интерференции широкополосного излучения многофокусного филамента фемтосекундного вихря.

3. При получении нелинейного уравнения некоторые нелинейные эффекты, например, такие как генерация нечетных гармоник, не учитываются, так как указано, что условие синхронизма не выполняется в «воздушной среде». Однако результаты расчетов в дальнейших главах осуществляются для твердых диэлектрических сред (SiO_2 , CaF_2 , LiF), где эффективность генерации каскада гармоник достаточно велика. Аналогично указано, что инерционный вклад в кубичную нелинейность вносит вынужденное комбинационное рассеяние на вращательных переходах молекул среды, что не верно для рассматриваемых твердых сред с кристаллической решеткой.

4. Для ускорения расчета инерционной керровской нелинейности использован метод интегрирования в ограниченном временном окне, выбор оптимальной величины которого подробно обоснован в Приложении к тексту диссертации. Однако не раскрывается, почему автор отказался от расчета полной свертки в спектральном пространстве.

5. При анализе и сравнении результатов численного решения во всех повествовательных главах работы присутствуют нефизичные термины: «слишком маленькое», «слишком большие», «некоторое увеличение», «менее крутые», что осложняет прочтение работы и анализ представленных автором результатов.

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 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. Васильев Евгений Владимирович, как автор работы, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 — «Лазерная физика».

Официальный оппонент,
начальник научно-исследовательского отдела
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»,
к.ф.-м.н.

Александр Евгеньевич Дормидонов

Контактные данные:
тел.: +7 (495) 730-12-82, доб. 417
e-mail: AEDormidonov@vniia.ru

Адрес места работы:
ФГУП «ВНИИА»
127030, Москва, ул. Сущевская, д.22

Подпись начальника отдела ФГУП «ВНИИА» Александра Евгеньевича Дормидонова
заверяю: