

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Евгения Владимировича Васильева
«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».

Диссертация Е.В.Васильева посвящена изучению особенностей филаментации фемтосекундных оптических вихрей среднего ИК диапазона спектра в твердотельных средах. Проанализирован процесс формирования кольцевых световых пульс при самовоздействии излучения в кварцевом стекле, а также во фторидах кальция и лития. Работа представляет **как фундаментальный, так и прикладной научный интерес**. За фемтосекундную длительность импульса даже при высоких интенсивностях излучения твердотельные материалы разрушаться не успевают, и можно изучать весьма необычные для импульсов больших длительностей **новые фундаментальные** закономерности взаимодействия света с веществом, в том числе сложные нелинейно-оптические трансформации пространственно-временных структур поля, спектр которого при этом сверхуширяется. Среди **практических приложений** можно выделить, в частности, микромодификацию объема прозрачных твердотельных диэлектриков, которая может быть использована при разработке различных элементов микрооптики. Поэтому считаю, что тема диссертационной работы является **актуальной и важной**.

Диссертация, на мой взгляд, написана хорошим литературным языком. Она включает в себя введение, пять глав, заключение, список литературы и приложение. Полный объём диссертации составляет 186 страниц. Список литературы содержит 276 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель, поставлены задачи, необходимые для достижения цели, приведены защищаемые положения, сведения об апробации результатов и личном вкладе автора диссертации.

Первая глава содержит обзор литературы по теме работы. Проанализированы известные результаты изучения фемтосекундной филаментации гауссовых пучков. С особым вниманием рассмотрены особенности этого явления в твердотельных диэлектриках. Дан обзор работ, посвященных самовоздействию фемтосекундных оптических вихрей. Рассмотрены основные известные закономерности как их пространственно-временной динамики, так и спектральной трансформации излучения.

Вторая глава посвящена описанию математической модели, с помощью которой в диссертационной работе проводился численный анализ самовоздействия фемтосекундных вихревых пучков. Подробно обсуждается получение системы самосогласованных уравнений, состоящей из нелинейного волнового уравнения и кинетического уравнения для электронов самоиндуцированной лазерной плазмы. Указаны используемые численные схемы решения и способы их тестирования. Обсуждается влияние различных параметров модели на особенности получаемых решений. Особенно отмечу проведенный в главе **оригинальный** анализ азимутальной модуляционной неустойчивости решений. Считаю, что результаты расчетов в диссертации Е.В. Васильева по разработанной и детально обоснованной модели взаимодействия фемтосекундного излучения с твердотельными диэлектриками в рамках используемых приближений являются **достоверными**. Проведенная соискателем работа по созданию и отладке сложного программного пакета для моделирования филаментации оптических вихрей, на мой взгляд, обладает **практической значимостью**.

В третьей главе дан анализ режима появления кольцевых световых пуль при фемтосекундной филаментации оптических вихрей в условиях аномальной групповой дисперсии в плавленом кварце. Для нестационарного вихря с топологическим зарядом $m = 1$ соискателем в этих условиях **впервые** детально описаны механизмы появления световых пуль и оцениваются их характерные параметры. Эти результаты сформулированы в первом научном положении диссертационной работы. Выделю **важность** приведенных результатов исследования пространственно-временной динамики излучения, а также особенностей уширения его спектра. В этой же

главе Е.В. Васильевым **впервые** сформулировано обобщение формулы Марбургера для оптических вихрей с топологическими зарядами $m = 1..4$.

В четвертой главе описаны различные особенности филаментации фемтосекундных вихрей. Приведены результаты исследования влияния дисперсии групповой скорости на характер самовоздействия вихревых пучков. Показано, что при аномальной групповой дисперсии кольцевые световые пули могут образовываться, тогда как при нормальной и нулевой групповой дисперсии – нет. **Впервые** средствами вычислительного эксперимента обнаружен безыонизационный механизм ограничения роста интенсивности в первом нелинейном фокусе вихревого кольцевого пучка при относительно небольшом ($P_0 = 4 \div 5P_{cr}$) превышении мощности излучения над критической мощностью самофокусировки. **Очень интересно**, что кольцевые световые пули в условиях аномальной групповой дисперсии оказались с наивысшей интенсивностью при равенстве длин дисперсии и дифракции. **Важным** является сравнение особенностей самовоздействия вихревых и гауссовых пучков. Показано, что характерные параметры световых пуль в этих двух случаях схожи как по пространству, так и по времени. При этом максимум интенсивности световых пуль в гауссовом пучке достигается на оптической оси, в то время как оптическая энергия пуль в вихревых пучках вытесняется с оси фазовой сингулярностью, из-за чего пули в таких пучках приобретают кольцевую форму по пространству.

В пятой главе приведены результаты исследования спектрального уширения вихревых пучков, и приводится сравнение численных расчетов с экспериментальными результатами. Для объяснения полос вдоль угловой координаты частотно-угловых спектров в первом нелинейном фокусе предлагается **оригинальная** качественная модель суперпозиции спектров. Показано, что в условиях аномальной групповой дисперсии уширение спектра в оптическом вихре меньше, чем в гауссовом пучке при одинаковом превышении их мощности над критической мощностью самофокусировки. **Достоверность** результатов соискателя подтверждается качественным согласием между частотными и частотно-угловыми спектрами, полученными им численно и в эксперименте.

Отмечу, что результаты, представленные в диссертационной работе, и сформулированные защищаемые положения являются **обоснованными**, поскольку подкрепляются подробными объяснениями с описанием соответствующих физических механизмов.

Таким образом, защищаемые Е.В. Васильевым научные положения, на мой взгляд, являются **новыми** и **достоверными**.

В то же время, к диссертационной работе у меня возник ряд вопросов и замечаний:

- 1) При обосновании математической модели взаимодействия излучения с веществом в главе 2 соискатель аккуратно описывает эффекты, которые он учитывает в модели. Но, на мой взгляд, стоило бы прописать и условия, когда эта модель явно не будет работать. Например, вижу, что она выписана в параксиальном приближении. А в работе ведь анализируется уширение не только временного, но и пространственного спектра. Возникает продольная компонента поля. Во всех ли приведенных расчетах ей можно пренебречь?
- 2) Во втором научном положении первое предложение, на мой взгляд, лишнее. Оно видится для специалистов в нелинейной оптике очевидным.
- 3) Соискатель анализирует самовоздействие фемтосекундных волн, в том числе, в условиях сопоставимых длин дифракции и дисперсии. Интересны были бы его выводы, как в этих условиях меняется критическая мощность самофокусировки? Ведь при расчете ее значения обычно рассматривают конкуренцию только дифракции и нелинейной рефракции. Особенно интересным было бы услышать различия в этих выводах для двух случаев: нормальной и аномальной групповой дисперсии.

Все эти замечания не умаляют достоинств и научной значимости диссертационной работы Е.В. Васильева. Она, с моей точки зрения представляет собой **цельное** и **законченное научное исследование**. Основные результаты, представленные в диссертации, широко апробировались на российских и международных конференциях, должным образом опубликованы в научных журналах.

Диссертация, на мой взгляд, отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к

работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует 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, автор работы, Васильев Евгений Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19– «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

Козлов Сергей Аркадьевич,
доктор физико-математических наук, профессор,
Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет ИТМО,
факультет фотоники, профессор
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
kozlov@mail.ifmo.ru, +7 (812) 480-05-80

Козлов Сергей Аркадьевич

Подпись Сергея Аркадьевича Козлова заверяю.