

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук Залозной Елизаветы Дмитриевны  
на тему: «Свойства экстремально сжатого волнового пакета среднего  
инфракрасного диапазона в объеме прозрачной среды»,  
по специальности 1.3.19 –Лазерная физика

**Актуальность** темы диссертационной работы «Свойства экстремально сжатого волнового пакета среднего инфракрасного диапазона в объеме прозрачной среды» Залозной Елизаветы Дмитриевны определяется как необходимостью развития фундаментальных представлений о явлениях, сопровождающих распространение мощного лазерного фемтосекундного излучения среднего инфракрасного диапазона в прозрачных диэлектрических средах, так и рядом потенциальных практических приложений высокоинтенсивных экстремально сжатых до одного оптического цикла световых пуль, формирование которых обсуждается в рассматриваемой диссертации.

Результаты диссертационного исследования, несомненно, обладают **научной новизной**. Автором впервые показана определяющая роль соотношения между дифракционной и дисперсионной длинами излучения на сценарий и условия компрессии излучения во времени при аномальной дисперсии групповой скорости. Установлена возможность управления положением антистоксова крыла спектра световой пули при варьировании энергии волнового пакета и порядка многофотонности процесса ионизации. Впервые изучена динамика изменения световой пули при взаимодействии с диэлектрической средой. При изучении филаментации в условиях аномальной дисперсии групповой скорости фемтосекундного излучения, сфокусированного аксионом, впервые выделены различные режимы этого процесса и продемонстрировано формирование особых точек с разрывом волнового фронта.

Выводы, сформулированные в работе, и положения, выносимые на защиту, **обоснованы**. **Достоверность** представленных в диссертации

результатов обусловлена использованием апробированных компьютерных пакетов моделирования и согласием с результатами экспериментальных исследований. Материалы диссертации опубликованы в 16 рецензируемых статьях, а также легли в основу более 20 докладов, представленных автором лично на научных конференциях.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Текст диссертационной работы изложен на 115 страницах и включает 59 рисунков. Библиографический список содержит 123 наименования. Автореферат правильно отражает содержание диссертационного исследования и соответствует тексту работы.

Во **введении** обоснована актуальность темы, указаны цель и задачи диссертации, а также методология исследования и степень достоверности результатов, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, сформулированы защищаемые положения, приведены данные об апробации материалов, представленных в диссертации.

**Первая глава** является обзорной, в ней представлены результаты основных исследований по теме диссертации. Описан режим формирования световой пули при филаментации фемтосекундного излучения в условиях аномальной дисперсии групповой скорости. Обсуждается влияние условий фокусировки и периодического изменения абсолютной фазы излучения на процесс филаментации.

Во **второй главе** представлены математические модели, с помощью которых описывается распространение мощных сверхкоротких лазерных импульсов в объеме прозрачных диэлектриков.

**Третья глава** посвящена изучению процесса формирования световой пули при филаментации фемтосекундного излучения в условиях аномальной дисперсии групповой скорости. Определена зависимость пороговой мощности образования световой пули от начальных параметров волнового пакета, исследовано влияние аксионной фокусировки на сценарий формирования световой пули и длину ее пробега.

В **четвертой главе** описывается исследование сверхширины спектра излучения при образовании световой пули. Установлено влияние энергии излучения и порядка многофотонности процесса ионизации на угол раствора

и положение антистоксового крыла в спектре световой пули. Исследован спектр последовательности световых пуль.

В **пятой главе** приведены результаты исследования динамики одноциклового волнового пакета сложной пространственно-временной формы – световой пули, распространяющейся в объеме прозрачного диэлектрика с материальной дисперсией. Показано осциллирующее изменение пикового значения напряженности в световой пулье, размеров ее ядра и содержащейся в нем энергии, наблюдаемое вследствие различия групповой и фазовой скоростей. Исследовано влияние параметров излучения и среды на период и амплитуду осцилляций.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

### **Замечания:**

Замечания можно разбить на три группы. Первая относится к некоторой небрежности оформления и носят скорее технический характер:

- с.4 - по-видимому опечатка, указана интенсивность  $10^{14}$  ТВт/см<sup>2</sup>
- Рис.9 - в подписи нет ничего про панель "а"
- Рис.15 - в подписи нет ничего про штриховые линии
- В описании рис.26 сказано "Положение коротковолновой отсечки отмечено ... круглым символом", на рисунке символов нет
- В последнем абзаце п.5.1 отсутствует ссылка.
- Рис.46 - на рис. нет указания "а" и "б", нет символов для абсолютной и эффективной длительности.
- Рис.58 - "Зависимость ... от начальной эллиптичности поляризации ..." На рисунке зависимость от угла альфа. Наверное, это угол поворота пластиинки - нигде не написано.

Вторая группа относится к несоответствию рисунков и их описания:

- Описание Рис.27 - "...сильным сдвигом коротковолновой отсечки от 800 до 500 нм." На рисунке до 500 нм коротковолновая отсечка не сдвигается даже в счете - минимальная длина волны около 600 нм. Соответственно, "оценка скорости уширения спектра ... составляет примерно 100 нм на 100 мкм длины распространения" - также не верна.
- Описание рис.30 - "вследствие изменения энергии волнового пакета от 1.5 до 2 мкДж в BaF<sub>2</sub> и от 1.4 до 2.7 мкДж в CaF<sub>2</sub> длина волны

максимума антистоксового крыла смещается от **850** до 615 нм и от 700 до **550** нм" - значения выделенных энергий не совпадают с обозначенными на рисунке. На мой взгляд, выделенные длины волн не соответствуют рисунку.

- "Длины волн нулевой дисперсии групповой скорости ( $k_2 = 0$ ) фторидов указаны на рисунке 53а вертикальными рисками: в LiF  $\lambda(k_2=0) = 1200$  нм, в CaF<sub>2</sub> — 1500 нм, в BaF<sub>2</sub> — 1900 нм." - на мой взгляд, указанные длины волн не соответствуют показанным на рисунке.

Третья группа замечаний уже по смыслу:

- В личном вкладе автора сказано, что "Автором осуществлено планирование и постановка экспериментальных исследований", однако в тексте диссертации описание эксперимента представлено довольно скучно, нет оптических схем и др. Этого не хватает для понимания.
- При описании рис.32 вводится неочевидный термин "интервал до образования световой пули и формирования антистоксова крыла". Критерий этого интервала не введен. Тем не менее, в тексте анализируется его абсолютное значение. На мой взгляд, приведенные в тексте цифры не соответствуют рисункам.
- п.3.1.2. (с.43) в тексте есть утверждение "относительная пороговая мощность ... не зависит от длины волны излучения и параметров нелинейной диспергирующей среды". Такой вывод делается на основании одного эксперимента и нескольких расчетов для трех сред и различных параметров лазерного импульса. На мой взгляд, более доказательным было бы зафиксировать параметры импульса для всех трех сред, или провести расчет и дополнительный эксперимент для одной среды и разных длин волн лазерного импульса.
- В конце пункта 4.4 говорится об "определяющем влиянии порядка многофотонности процесса ионизации среды на антистоксово уширение". Я не согласен с такой категоричной формулировкой. Этот вывод делается на основе результатов численных экспериментов, где изменялся **только** порядок многофотонности. В реальности мы изменить этот порядок не можем. Если мы берем другой кристалл, то изменяется все - порядок многофотонности, дисперсия, длина волны излучения и др. Ярким доказательством тому служит рис.34, где

приведены спектры уширенные в LiF и CaF<sub>2</sub>. Если бы порядок многофотонности был определяющим, то при одинаковой многофотонности в разных кристаллах антистоксово уширение было бы одинаково, чего явно не наблюдается. Таким образом, я согласен, что порядок многофотонности играет весьма важную роль, но на формулировку "определяющий" согласиться не могу.

- При описании рис.45 в тексте написано "Более стремительное уменьшение пространственного размера волнового пакета по сравнению с длительностью на начальном этапе распространения вызвано проявлением эффекта двумерного сжатия пучка при самофокусировке, в отличии от одномерной компрессии импульса во времени". Мне эта фраза непонятна - рассматривается радиус пучка, как на скорость его уменьшения может повлиять двумерное сжатие?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация «Свойства экстремально сжатого волнового пакета среднего инфракрасного диапазона в объеме прозрачной среды» 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), удовлетворяет критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что соискатель Залозная Елизавета Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент

и.о. заведующего лабораторией фемтосекундной нелинейной оптики,  
ведущий научный сотрудник  
отделения квантовой радиофизики  
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

Селезнев Леонид Владимирович

1

«16» ноябрь 2023 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 13267-35.e-mail: seleznev@lebedev.ru.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена  
диссертация:

01.04.21—Лазерная физика

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 53, стр. 1

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физического  
института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Тел.: +7 (499) 132 65-54; e-mail: office@lebedev.ru

Подпись Селезнева Л.В. заверяю