

**Отзыв официального оппонента Землянова Александра Анатольевича  
на диссертацию Грудцына Якова Викторовича  
«Самосокращение фемтосекундных импульсов в тонком кварце в  
режиме множественной мелкомасштабной самофокусировки»,  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук  
по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».**

Диссертация Грудцына Я. В. «Самосокращение фемтосекундных импульсов в тонком кварце в режиме множественной мелкомасштабной самофокусировки» посвящена разработке метода самосокращения фемтосекундных лазерных импульсов. Актуальность данной тематики не вызывает сомнений, так как импульсы с высокой энергией и с длительностью в несколько периодов световой волны могут быть использованы в таких областях фундаментальных и прикладных исследований, как генерацию аттосекундных импульсов и терагерцовых импульсов гигаваттного уровня мощности. Научная и практическая значимость диссертации обусловлена тем, что представленный метод сокращения длительности прост в реализации, не требует применения дополнительных дисперсионных элементов для посткомпрессии и имеет перспективу масштабирования по энергии. Достоверность положений и результатов диссертации обеспечивается применением сертифицированных приборов, хорошей воспроизводимости результатов, использованием надёжных численных методов решения. Новизна выполненных исследований и полученных результатов состоит в следующем:

1. Разработан оригинальный способ сокращения длительности фемтосекундных импульсов.
2. Экспериментально продемонстрировано четырёх – пяти кратное сокращение 87 фс спектрально-ограниченных импульсов и 120 фс отрицательно chirпированных импульсов (длительность спектрально-ограниченного импульса 70 фс) в образце кварца толщиной 1 мм при интенсивности выше  $3 \text{ ТВт/см}^2$
3. Для плавленого марки КУ-1 измерены сечение четырёхфотонного поглощения  $\sigma_4 = (1.0 \pm 0.5) \times 10^{-115} \text{ см}^8 \text{ с}^3$ . Для кварца подобные измерения проводились впервые.

Работа прошла апробацию на российских и международных конференциях и её результаты опубликованы в 5 статьях, входящих в базу данных Web of Science.

Диссертация состоит из Введения, четырёх глав, Заключения, Списка литературы и двух приложений. Объём диссертации составляет 106 страниц, включая 31 рисунок и 6 таблиц.

Во введении дан краткий обзор литературы по известным методам сокращения длительности, в частности, методам самосокращения, обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, показана новизна, представлены положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации.

В главе 1 кратко описано нелинейное уравнение Шрёдингера, на котором основано численное решение задачи распространения фемтосекундного излучения в веществе. Также в отдельном разделе приведён обзор значений нелинейного показателя преломления и других материальных констант, известных в литературе для кварца.

Глава 2 посвящена экспериментальному оборудованию, которое использовалось для проведения исследований (твердотельный лазерный комплекс, спектрометры, ПЗС камера, измерители мощности, одноимпульсный автокоррелятор).

Глава 3 посвящена измерению нелинейного показателя преломления и сечения четырёхфотонного поглощения на длине волны 473 нм для плавленого кварца в схемах с I и с Z сканированием. Следует отметить, что прямые измерения четырёхфотонного коэффициента поглощения для кварца ранее не проводились. Эксперименты проводились неоднократно, и согласие результатов, полученных с помощью разных методик, свидетельствует об их достоверности.

В главе 4 описано четырёх кратное самосокращение длительности отрицательно chirпированных и спектрально-ограниченных импульсов без использования посткомпрессии на основе дополнительных дисперсионных элементов в образце кварца толщиной 1 мм при интенсивности выше  $3 \text{ ТВт/см}^2$ . Обсуждается основное физическое явление, которое обеспечивает сокращение длительности - мелкомасштабной неустойчивости, рост которой приводит к возникновению дифракционных и рефракционных потерь для излучения центральной части пучка. Задний фронт импульса дополнительно испытывает рефракцию на образовавшейся плазме. Это приводит к формированию короткого импульса в приосевой области распространения пучка в дальней зоне. В главе приводятся экспериментальные оценки уровня начальных шумов, на основании численного моделирования эволюции одиночного возмущения объяснена спектрально-угловая зависимость рассеянного излучения.

В Заключении сформулированы основные научные результаты диссертации

Полученные в работе результаты являются новыми, их актуальность и достоверность не вызывает сомнений. Защищаемые положения и вывод хорошо обоснованы, а результаты работы могут быть использованы для сокращения длительности лазерных импульсов различного уровня пиковой мощности.

Диссертация не лишена недостатков, среди которых можно выделить следующие:

1. На стр.9 в разделе "Научная новизна" утверждается, что на базе разработанного в диссертации метода сокращения длительности импульса возможно рассчитывать на получение импульсов с длительностью короче 10 фс. Данное утверждение не получило в диссертации какого либо обсуждения и доказательства. Здесь в первую очередь следует ожидать влияния нормальной дисперсии на процесс.

Важным вопросом в проблеме сокращения длительности импульса в керровской среде с нормальной дисперсией является вопрос о влиянии дисперсии групповой скорости на характер самофокусировки.

В диссертации этот вопрос обсуждается в том плане, что для нелинейной конденсированной среды, имеющей продольный размер меньший, чем характерная длина дисперсии её влиянием на ход процесса самофокусировки можно пренебречь.

Это действительно так, если мы оцениваем уширение импульса в линейной среде.

В случае с самофокусировкой важную роль играет эффект фазовой модуляции импульса в нелинейной среде, где реализуются высокие интенсивности излучения и, таким образом, происходит передача "ощутимой" мощности излучения из предшествующих временных слоев в текущие. Это может изменить условие самофокусировки и плазмообразования и сказаться на реализации эффекта самофокусировки импульса на его переднем фронте, а также на плазмообразовании в центре импульса и на его заднем фронте.

2. Автор использует не общепринятую терминологию в отношении коэффициента нелинейности  $n_2$  (связывающего значение нелинейного показателя преломления с интенсивностью волны) называя его "нелинейным показателем преломления" (стр.62, 15 и др.) либо "нелинейностью" (стр.61).

В диссертации было бы целесообразно не использовать одинаковые термины "интенсивность" в описании спектра импульса и в описании поверхностной плотности потока энергии импульса.

На многих графиках с изображением спектральных зависимостей по осям ординат не указана размерность величин (рис.3.4, 3.5, 3.7, 4.17.2 и др.)

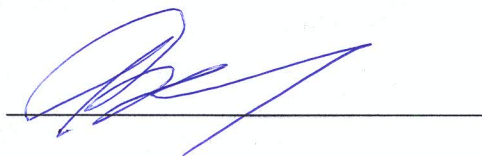
Номер уравнения (2) стоит над выражением для уравнения (стр.46).

Используется непонятная терминология: на стр.76 введено понятие "величина поперечных колебаний". Не ясно, что такое "начало распада пучка": время или координата.

Приведённые выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Тематика диссертационной работы соответствует специальности "Лазерная физика". Текст автореферата правильно отражает её содержание. Список цитируемой литературы соответствует содержанию.

Представленная Грудцыным Яковом Викторовичем диссертация "Самосокращение фемтосекундных импульсов в тонком кварце в режиме множественной мелкомасштабной самофокусировки" удовлетворяет требованиям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., а автор работы, Грудцын Яков Викторович, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 Лазерная физика.

Официальный оппонент доктор физико-математических наук, профессор Землянов Александр Анатольевич, зав. лаб. нелинейно-оптических взаимодействий Института оптики атмосферы им.В.Е.Зуева СО РАН



634055, пл. Академика Зуева, 1, Томск,  
Томская обл. ИОА СО РАН тел (3822)  
492-738

e-mail [zaa@iao.ru](mailto:zaa@iao.ru)

Подпись Землянова Александра Анатольевича заверяю:



Ученый секретарь ИОА СО РАН кандидат физико-математических наук Тихомирова Ольга Владимировна



Список основных научных публикаций зав. лаб. нелинейно-оптических взаимодействий Института оптики атмосферы СО РАН д.ф.-м.н. Землянова Александра Анатольевича по теме диссертации Грудцына Якова Викторовича «Самосокращение фемтосекундных импульсов в тонком кварце в режиме множественной мелкомасштабной самофокусировки», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

1. Geints Y. E., Zemlyanov A. A. Numerical simulations of ultrashort laser pulse multifilamentation in fused silica: plasma channels statistics //Journal of Optics. – 2016. – Т. 18. – №. 1. – С. 015501
2. D. V. Apeksimov, O. A. Bukin, S. S. Golik, A. A. Zemlyanov, A. N. Iglakova, A. M. Kabanov, O. I. Kuchinskaya, G. G. Matvienko, V. K. Oshlakov, A. V. Petrov, E. B. Sokolova.. Multiple filamentation of laser pulses in a glass //Russian Physics Journal. – 2016. – Т. 58. – №. 11. – С. 1581-1586.
3. Zemlyanov A. A., Bulygin A. D. Analysis of Some Properties of the Nonlinear Schrödinger Equation Used for Filamentation Modeling //Russian Physics Journal. – 2018. – Т. 61. – С. 357-363.
4. Ю. Э. Гейнц, С. С. Голик, А. А. Землянов, А. М. Кабанов, А. В. Петров, “Микроструктура области множественной филаментации фемтосекундного лазерного излучения в твердом диэлектрике”, Квантовая электроника, 46:2 (2016), 133–141
5. Ю. Э. Гейнц, А. А. Землянов, “Закономерности фемтосекундной филаментации при суперпозиции гауссова и кольцевого лазерных пучков”, Квантовая электроника, 47:8 (2017), 722–729