

УТВЕРЖДАЮ

врио директора Федерального
государственного бюджетного

учреждения науки

Федеральный исследовательский

центр Институт прикладной физики

Российской академии наук (ИПФ РАН)

д.ф-м.н., член корреспондент РАН

Денисов Григорий Геннадьевич

27 Февраля 2019 г



**Отзыв ведущей организации
на диссертацию Грудцына Якова Викторовича
«Самосопряжение 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»**

В настоящее время достигнутая минимальная длительность импульсов на выходе тераваттных и петаваттных лазерных комплексов составляет ~ 20 фс. Ограничение связано с конечной полосой лазерных и/или параметрических усилителей, а также согласованностью стретчера и компрессора, являющихся неотъемлемой частью работающих по принципу CPA (Chirped Pulse Amplification) лазерных систем. Для достижения более коротких длительностей активно развиваются методы, основанные на применении нелинейно-оптических эффектов. Здесь ключевая идея заключается в использовании материальной среды с нелинейностью Керра (например, тонких плоскопараллельных пластин из плавленого кварца) для модификации параметров лазерного излучения. В том случае, когда нелинейная фаза (В-интеграл) небольшая ($\sim 3-5$ радиан) кубическая нелинейность приводит к модуляции фазы и, как следствие, модификации/уширению интенсивности спектра. Использование корректоров фазы спектра (например, дисперсионных зеркал) позволяет в разы сократить длительность без значительной потери энергии и тем самым увеличить пиковую мощность. Для применения данного подхода необходимо, чтобы эффекты мелкомасштабной самофокусировки (ММСФ), которые разрушают лазерный пучок, были малы. Существует и другой подход, рассмотренный в диссертации Грудцына Якова Викторовича. В рамках

него величина нелинейной фазы должна быть значительной, а развитие процесса ММСФ является необходимым условием для реализации самосокращения длительности. Из-за того, что ММСФ приводит к образованию нитевидной структуры в лазерном пучке и плазменных каналов, часть излучения, а именно центральная и задняя часть импульса, рассеивается, что приводит к укорочению длительности исходного импульса, фактически, за счет потери энергии. Ключевыми преимуществами, как утверждает автор, является отсутствие необходимости применения корректоров фазы спектра, простота подхода и возможная масштабируемость по энергии.

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 представлен обзор проводимых в мире исследований по рассматриваемой тематике, обоснованы актуальность работы, новизна полученных результатов, их достоверность и практическая значимость. Во Введении также сформулированы цели и выносимые на защиту положения.

В Главе 1 рассмотрена математическая модель физических процессов, лежащих в основе самосокращения длительности интенсивных ($\sim \text{ТВт/см}^2$) фемтосекундных импульсов видимого диапазона при их распространении в тонкой плоскопараллельной пластине из плавленого кварца. В главе представлен обзор значений нелинейного показателя преломления и других характеристик плавленого кварца по данным из литературы. Описан метод решения уравнений и указаны используемые значения материальных констант.

В главе 2 представлено краткое описание твердотельного лазерного комплекса СТАРТ-480М и используемого оборудования для диагностики параметров лазерного излучения. Проанализирована точность измерения длительности с применением одноимпульсного автокоррелятора интенсивности второго порядка.

Глава 3 посвящена измерениям нелинейного показателя преломления и сечения четырёхфотонного поглощения плавленого кварца. Измерения проводились с использованием лазерного излучения с центральной длиной волны 473 нм. Ключевыми результатами главы являются уточнение данных из литературы нелинейной составляющей показателя преломления и, что не было сделано ранее, определение значения величины сечения четырёхфотонного поглощения плавленого кварца.

Глава 4 состоит из четырёх частей. В первой части приведены исследования сокращения длительности отрицательно chirпированных импульсов. Во второй части представлены результаты расчётов, которые описывают распространение лазерного излучения в схеме эксперимента. В третьей части подробно описаны эксперименты по значительному

сокращению интенсивных ($\sim 3 \text{ ТВт/см}^2$) 87 фс спектрально-ограниченных импульсов в образце кварца толщиной 1 мм, представлены характеристики лазерного излучения (поперечное распределение, спектр и др.) после взаимодействия с кварцем при разной интенсивности. Показано, что наблюдаемое сокращение длительности объясняется ростом мелкомасштабной неустойчивости в центральной части импульса в рамках теории Беспалова-Таланова. В четвертой части представлены результаты численного моделирования эволюции одиночного возмущения, позволившие объяснить спектрально-угловую зависимость рассеянного излучения.

В Заключение сформулированы основные научные результаты.

Выполненные исследования находятся на переднем крае нелинейной оптики. Полученные в работе результаты являются новыми и оригинальными, а их достоверность не вызывает сомнения. Эксперименты выполнены на высоком научном уровне с использованием сертифицированного оборудования. Результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, а также опубликованы в пяти рецензируемых научных статьях журналов, входящих в базу данных Web of Science.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в организациях, изучающих взаимодействие фемтосекундного излучения с веществом: ФИАН, ИОФАН, ИСАН, ИСЭ СО РАН. В частности, предложенный подход к сокращению длительности фемтосекундных лазерных импульсов может быть применен на выходе сверхмощных лазерных комплексов, а установленное значение сечения четырех-фотонного коэффициента поглощения является важным параметром для численного моделирования нелинейных процессов.

В то же время диссертация не лишена недостатков, среди которых необходимо выделить следующие:

1. Выносимые на защиту положения сформулированы в недостаточной степени аккуратно. В частности, первое положение не является общим утверждением, поскольку заведомо не выполняется при значениях V -интеграла меньших единицы. Во втором положении есть противоречивое утверждение: “за передним невозмущенным фронтом импульса, на котором за счет фазовой самомодуляции формируется более короткий спектрально-ограниченный импульс, наблюдаемый в дальней зоне.” Если присутствует эффект самомодуляции фазы, который, по мнению автора, меняет параметры фронта импульса так, что на нем формируется более короткий импульс, то утверждение, о том, что фронт является невозмущенным, несправедливо. Более того, в утверждении подразумевается, что формируемый импульс обладает более короткой длительностью по сравнению с длительностью исходного импульса, однако, с чем происходит сравнение в

положении не указано прямо. Третье положение: “В кварце марки КУ-I на длине волны 473 нм сечение четырёхфотонного поглощения равно $\sigma_4=(1,0\pm 0,5)\times 10^{-115} \text{ см}^8\text{с}^3$ ” плохо сформулировано с точки зрения русского языка. По всей видимости смысл заключается в том, что сечение четырёхфотонного поглощения в кварце измерялось для излучения с центральной длиной волны 473 нм.

2. В формуле 4 на стр. 43 используются пространственная и временная переменные r и t . Исходя из того, что они непосредственно используются в аргументе функции можно предположить, что переменные являются безразмерными, т.е. нормированными. На какие величины они нормируются в работе не указывается. Если же считать, что переменные являются размерными, то формула 43 по своей сути является абсурдной, поскольку в ней происходит сложение/вычитание переменных разной размерности, а затем этот результат используется в аргументе математической функции экспонента. Аналогичное замечание относится к последней формуле на стр.41 и обозначениям в табл. 3.2.

3. В диссертации на стр.52 присутствует рис. 4.5 на котором представлены автокорреляционные функции второго порядка интенсивности. Из этого рисунка, как утверждает диссертант, видно, что “импульс на оси в дальней области состоит из излучения заднего и переднего фронтов, т. е. из двух импульсов, что и подтверждается автокорреляционной функцией.” Вид автокорреляционной функции (АКФ) второго порядка интенсивности не позволяет различать передний и задний фронт диагностируемого импульса, поскольку используемая АКФ в силу своего определения является симметричной функцией, и тем более некорректно утверждать, что регистрируемое излучение во временной области состоит из излучения заднего и переднего фронтов исходного импульса.

4. На стр. 53 присутствует утверждение: “Однако дальнейшее исследование механизма сокращения длительности импульсов, в частности, формирование одиночного импульса, мы проводили со спектрально-ограниченным импульсом, так как в случае начального отрицательно chirпированного импульса ширина спектра становится слишком большой и измерения автокоррелятора могут быть недостоверными.” На основании чего сделан вывод о том, что при одинаковых исходных интенсивностях импульс с отрицательным chirпом при распространении в кварцевой пластинке уширит свой спектр из-за самомодуляции больше, чем импульс с положительным chirпом той же абсолютной величины? Было бы полезно привести сравнения, полученные с использованием численных методов, подтверждающие данное утверждение.

5. В диссертации присутствует достаточно большое количество опечаток и неточностей, которые портят впечатление о работе. Приведем лишь некоторые из них:

Формулировка цели №2 на стр.9 не согласована с точки зрения русского языка;
Используемые на стр.16 параметры T_0 , $T_{1/2}$, τ , ξ не определены в тексте диссертации;
На стр. 20 приведено определение параметра $GDD=k_2$ [$\text{фс}^2/\text{мм}$], на этой же странице в параметр GDD входит неопределенный параметр L , который по всей видимости является толщиной пластинки. В последнем определении размерность параметра GDD уже [фс^2];
На стр. 35 присутствует ссылка на рис. 3.18, которого в диссертации нет;
Фраза на стр.39: “образец перемещался по фокусу” является непонятной и др.


Приведённые выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Тематика диссертационной работы соответствует специальности 01.04.21 - лазерная физика. Текст автореферата правильно отражает содержание работы. Список цитируемой литературы соответствует содержанию.

Таким образом, 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 ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 Лазерная физика.

Доклад по материалам диссертации был представлен автором 26 февраля 2019 года на семинаре Отделения Нелинейной Динамики и Оптики.

Отзыв на диссертацию составлен старшим научным сотрудником Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), к.ф.-м.н. Мироновым Сергеем Юрьевичем и одобрен на семинаре Отделения нелинейной динамики и оптики 26 февраля 2019 года.

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Отделения нелинейной динамики и оптики

Миронов Сергей Юрьевич 

603950 г. Нижний Новгород, БОКС - 120, ул. Ульянова. 46.

Тел. 8(831)416-48-19, e-mail: sergey.mironov@mail.ru

Доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный

исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) руководитель Отделения нелинейной динамики и оптики

Хазанов Ефим Аркадьевич

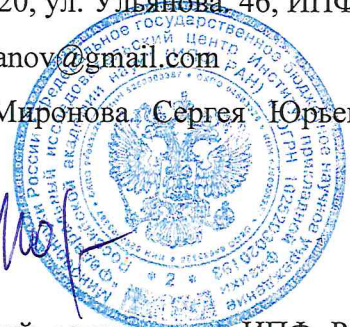
603950 г. Нижний Новгород, БОКС - 120, ул. Ульянова, 46, ИПФ РАН

Тел. 8(831) 416-48-48, e-mail: efimkhazanov@gmail.com

Подписи сотрудников ИПФ РАН Миронова Сергея Юрьевича и Хазанова Ефима Аркадьевича заверяю:

Ученый секретарь ИПФ РАН

к.ф.-м.н. Корюкин И.В.



Список основных научных публикаций сотрудников ИПФ РАН 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. В. Н. Гинзбург, А. А. Кочетков, А. К. Потемкин, Е. А. Хазанов, “Подавление мелкомасштабной самофокусировки сверхмощных лазерных пучков благодаря их самофилтрации при распространении в свободном пространстве”, Квантовая электроника, 48:4 (2018), 325–331
- 2 С. Ю. Миронов, В. Н. Гинзбург, И. В. Яковлев, А. А. Кочетков, А. А. Шайкин, Е. А. Хазанов, Ж. Муру, “Использование самомодуляции фазы для временного сжатия интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов”, Квантовая электроника, 47:7 (2017), 614–619
- 3 С. Ю. Миронов, Дж. Уилер, Р. Гонин, Г. Кожокару, Р. Унгуреану, Р. Баници, М. Сербанеску, Р. Дабу, Ж. Муру, Е. А. Хазанов, “О сжатии импульсов с энергией на уровне 100 Дж с целью повышения пиковой мощности”, Квантовая электроника, 47:3 (2017), 173–178
- 4 В. Н. Гинзбург, А. А. Кочетков, И. В. Яковлев, С. Ю. Миронов, А. А. Шайкин, Е. А. Хазанов, “Влияние кубической фазы спектра мощных лазерных импульсов на их фазовую самомодуляцию”, Квантовая электроника, 46:2 (2016), 106–108
- 5 P. Lassonde, S. Mironov, S. Fourmaux, S. Payeur, E. Khazanov, A. Sergeev, J. Kieffer, G. Mourou, “High energy femtosecond pulse compression”, Laser Physics Letters, 13:7 (2016), 075401.
- 6 S. Y. Mironov, V. N. Ginzburg, E. I. Gacheva, D. E. Silin., A. A. Kochetkov, Y. A. Mamaev, A A Shaykin, E A Khazanov, G. A Mourou, “Use of polyethylene terephthalate for temporal recompression of intense femtosecond laser pulses”, Laser Physics Letters, 12:2(2014), 025301.