

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.238.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ ИМ. А.В. ГАПОНОВА-
ГРЕХОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23.06.2025 № 210

О присуждении Соловьеву Александру Андреевичу, гражданину РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Развитие методов диагностики и исследование лазерно-плазменного взаимодействия на параметрическом петаваттном лазерном комплексе» по специальности 1.3.19 – лазерная физика принята к защите 17 марта 2025 г., протокол № 206, диссертационным советом 24.1.238.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ о создании совета № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель, Соловьев Александр Андреевич, 1980 года рождения, в 2003 году окончил Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук «Особенности тепловой линзы и деполяризации в цилиндрических оптических элементах с произвольным аспектным соотношением» защитил в 2012 году в диссертационном совете Д 002.069.02, созданном на базе ИПФ РАН, работает заместителем заведующего отделом по научной работе в ИПФ РАН. Диссертация выполнена в отделении нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Официальные оппоненты: Лотов Константин Владимирович, доктор физ.-мат. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник Института ядерной физики им. Г. И. Будкера; Стариков Федор Алексеевич, доктор физ.-мат. наук, начальник научно-исследовательской лаборатории Института лазерно-физических исследований Российского федерального ядерного центра ВНИИЭФ; Савельев-Трофимов Андрей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор

физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), в своем положительном заключении, подписанном к.ф.-м.н., ведущим научным сотрудником ИОФ РАН Чижовым Павлом Алексеевичем, к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником ИОФ РАН Ушаковым Александром Александровичем, и утвержденном директором ИОФ РАН, академиком РАН, д.ф.-м.н. Гарновым Сергеем Владимировичем, указала, что диссертация актуальна, имеет большое значение как для фундаментальных исследований, так и для практических применений, является законченным научным исследованием, а автор диссертации, Соловьев Александр Андреевич, заслуживает присуждения степени доктора физ.-мат. наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Соискатель имеет 48 статей по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных журналах, удовлетворяющим требованиям ВАК к научным изданиям, в которых излагаются основные результаты диссертации, в том числе 27 работ опубликовано в журналах, индексируемых в Q1–Q2 по наукометрической базе данных Scopus. Наиболее значимыми работами по теме диссертации являются:

1. Soloviev A. et al. Experimental evidence for short-pulse laser heating of solid-density target to high bulk temperatures // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7, no. 1. P. 12144.
2. Соловьев А. А. и др. Исследования в области физики плазмы и ускорения частиц на петаваттном лазере PEARL // *УФН*. 2024. Т. 194, № 3. С. 313.
3. Khazanov E. et al. eXawatt center for extreme light studies // *High Power Laser Science and Engineering*. 2023. Vol. 11. P. e78.
4. Мухин И. Б. и др. Дизайн стартовой части субэкзаваттного лазера проекта XCELS // *Квантовая электроника*. 2021. Т. 51, № 9. С. 759–767.
5. Soloviev A. et al. Improving focusability of post-compressed PW laser pulses using a deformable mirror // *Optics Express*. 2022. Vol. 30, no. 22. P. 40584–40591.
6. Soloviev A. A. et al. Two-screen single-shot electron spectrometer for laser wakefield accelerated electron beams // *Review of Scientific Instruments*. 2011. Vol. 82, no. 4.
7. Albertazzi B. et al. Laboratory formation of a scaled protostellar jet by coaligned poloidal magnetic field // *Science*. 2014. Vol. 346, no. 6207. P. 325–328.

8. Sladkov A. et al. Saturation of the compression of two interacting magnetized plasma toroids evidenced in the laboratory // Nature Communications. 2024. Vol. 15, no. 1. P. 10065.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов, все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В положительном отзыве ведущей организации, наряду с редакционными, содержатся замечания и вопросы: 1) при рассмотрении накачки усилителя автором предлагается использовать квазипрямоугольный чирпированный импульс со спектральной шириной, превышающей аналогичную для спектрально ограниченного импульса. Насколько можно считать такой режим накачки эквивалентным использованию спектрально ограниченного импульса в аналогичной схеме? 2) Насколько размер накладываемой маски при Фурье-фильтрации (рис. 2.13) влияет на величину получаемого числа Штреля до и после обработки? 3) Какое пространственное разрешение обеспечивается при использовании интерференционной диагностики? 4) На спектрах ускоренных протонов стоило указать доверительные интервалы.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Лотова К.В., наряду с редакционными, содержит замечания: 1) влияние переходного слоя является не единственным объяснением повышения энергии электронов в несогласованном режиме ускорения; 2) при обсуждении генерации и ускорения электронов в режиме лазерного скребка не приводится количество ускоренных электронов и КПД передачи энергии к ним от лазерного импульса; 3) при обсуждении аккреции в молодых звездах главный результат (проникновение потока плазмы через поперечное магнитное поле в форме плазменного листа) представляется без отсылки к явлению желобковой неустойчивости.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Старикова Ф.А. содержит, кроме редакционных, замечания: 1) в главе 2 приводимые значения числа Штреля с двумя значащими цифрами выглядят как неоправданное превышение точности; 2) в главе 2 не приводится анализ пространственно-временных спектров динамических оптических неоднородностей, возмущающих волновой фронт, который позволил бы сделать вывод по необходимому количеству полиномов Цернике и по требуемой частоте работы адаптивной системы для коррекции динамических искажений фазы; 3) в главе 4 при описании ускорения протонов при взаимодействии с тонкой алюминиевой фольгой не поясняется происхождение

протонов; 4) в главе 5 не описан физический механизм, позволяющей плазме проникать поперек магнитного поля.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Савельева-Трофимова А.Б. содержит, наряду с редакционными, следующие замечания: 1) в положении 3 утверждается, что «использование двухэкранного спектрометра *поднимает точность измерения спектров...*». Представляется, что здесь количественные оценки были бы уместны; 2) при рассмотрении спектрального подхода к подавлению искажения временной формы импульса при усилении в режиме насыщения используется одномерная модель. Насколько предлагаемый подход применим к реальным пучкам? 3) Приведенное в разделе 2.3.3 описание оригинального динамического метода коррекции волнового фронта лазерного пучка слишком краткое, следовало бы привести соответствующие формулы, алгоритмы и т.д.; 4) при обсуждении результатов главы 5 автор не приводит оценок параметров подобия реализованных экспериментов и астрофизических эффектов. Здесь же говорится о проведении численных расчетов в рамках трехмерного МГД моделирования, однако никакой дополнительной информации об использованных моделях нет.

Положительный отзыв на автореферат к.ф.-м.н. А.Г. Какшина, кроме редакционных, содержит замечания: 1) в автореферате нет данных о применении метода CafCa в лазерно-плазменных экспериментах, эта информация могла бы быть хорошим подтверждением эффективности метода; 2) параметры пучков электронов, ускоряемых из пенной мишени околоритической плотности, подтверждаются только расчетным образом, автору стоило бы привести экспериментально зарегистрированные энергетические спектры частиц; 3) было бы полезно в рамках исследований лазерного ускорения протонов провести эксперименты по определению зависимости параметров пучков ускоренных протонов от толщины мишеней. Положительные отзывы на автореферат к.ф.-м.н. С.Г. Бочкарева, д.ф.-м.н. С.Ю. Гуськова, д.ф.-м.н. С.В. Попруженко, к.ф.-м.н. С.Г. Рыкованова замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен соответствием их специализации тематике диссертационной работы: оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в областях применения и разработки адаптивных оптических систем, численного и экспериментального исследования лазерно-плазменного взаимодействия; ведущая

организация является передовым институтом в области разработки и применения перспективных лазерных систем.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований получены **следующие результаты**:

- Оптическая синхронизация сигнального импульса с импульсом накачки позволила более чем на порядок поднять стабильность выходных параметров фемтосекундной петаваттной параметрической лазерной системы.
- Использование оригинального динамического метода калибровки адаптивной оптической системы позволило повысить число Штреля с 0.3 до более, чем 0.72 при фокусировке субпетаваттного лазерного излучения.
- При помощи адаптивной системы коррекции волнового фронта на основе деформируемого зеркала в петаваттном лазерном излучении после нелинейного укорочения CafCA достигнуто повышение пиковой интенсивности в фокусе, составляющее 70 % от фактора повышения мощности, достигнутого за счет нелинейной компрессии CafCA.
- Достигнута субрэлеевская точность наведения перетяжки лазерного импульса на острый край твердотельной мишени.
- При помощи оригинального одноимпульсного двухэкранного электронного спектрометра повышена точность измерения узконаправленных квазимоноэнергетических электронных пучков, ускоренных кильватерной плазменной волной с лазерным драйвером.
- Зафиксированы квазимоноэнергетичные электронные пучки, ускоренные в кильватерной волне с лазерным драйвером до энергии отсечки, превышающей 1.2 ГэВ, и ускоренные полем виртуального катода протоны с энергиями более 43.3 МэВ.
- На основании лабораторного моделирования разлета наносекундной лазерной плазмы предложен механизм коллимации астрофизических джетов однородным полоидальным магнитным полем;
- В эксперименте обнаружено проникновение наносекундной лазерной плазмы поперек внешнего магнитного поля, давление которого превосходит динамическое давление плазмы, с образованием плазменной структуры в форме листа.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в обосновании ряда подходов и методов, существенных для реализации перспективных

исследований, в частности, в таких направлениях, как лазерно-плазменное взаимодействие, нелинейное укорочение лазерных импульсов, лабораторная астрофизика и других.

Значение полученных результатов состоит в том, что:

- эксперименты, проведенные на комплексе PEARL, позволили верифицировать такие технологии как параметрическое усиление чирпированных импульсов, оптическая синхронизация импульса накачки с сигнальным импульсом, нелинейная компрессия CafCA и коррекция сопутствующих нелинейных фазовых искажений; заложили технологическую базу для актуальных проектов мощных лазерных систем;
- предложенная в работе схема одноимпульсного двухэкранного спектрометра ускоренных электронов используется в экспериментах по ускорению электронов в поле кильватерной волны с лазерным драйвером;
- исследования по фокусировке и наведению на мишень легли в основу концептуального дизайна системы сведения пучков проекта XCELS;
- экспериментальные исследования режимов генерации вторичного излучения заложили основу для разработки компактных и эффективных источников вторичного излучения для различных приложений в промышленности и медицине.

Достоверность результатов подтверждается использованием хорошо зарекомендовавших себя экспериментальных и численных методов; сопоставлением результатов, полученных несколькими различными методами; качественным и количественным совпадением расчетных и экспериментальных результатов. Результаты диссертации опубликованы в авторитетных российских и зарубежных научных журналах, докладывались на многочисленных международных и всероссийских конференциях.

Личный вклад соискателя. Все выносимые на защиту результаты и положения получены автором лично, либо при его непосредственном участии или руководстве. А.А. Соловьев внес определяющий вклад в постановку всех задач диссертационного исследования, проведение теоретических и экспериментальных исследований, интерпретацию результатов. Проведение экспериментов и обработка данных выполнены автором лично, либо при его непосредственном руководстве.

На все вопросы и замечания, высказанные в ходе защиты и содержащиеся в отзывах, А.А. Соловьевым были даны ответы и комментарии.

На заседании от 23 июня 2025 г. диссертационный совет принял решение: за разработку на основании выполненных исследований теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присудить Соловьеву А.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за - 24, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета,

академик РАН



Литвак Александр Григорьевич

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Абубакиров Эдуард Булатович

23 июня 2025 г.