

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 75.2.005.01
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ИМЕНИ
А.А. ЛОГУНОВА НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК.

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета №2025/4 от 20.11.2025 г.

О присуждении Лосеву Антону Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» по специальности 1.3.18 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника принята к защите 04.09.2025 протокол №2025/2 диссертационным советом № 75.2.005.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» 142281, пл. Науки, д.1, г. Протвино, Московская область, приказ Минобрнауки РФ № 1176/нк от 10 декабря 2024 г.

Соискатель Лосев Антон Андреевич, 1991 года рождения, в 2014 году окончил Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», в 2018 году аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ. Работает младшим научным сотрудником в НИЦ «Курчатовский институт».

Диссертационная работа выполнена в подразделении Установка ионного ускорителя И-4 Ускорительного отделения Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики (ККТЭФ) Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Научный руководитель Сатов Юрий Алексеевич доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Установки ионного ускорителя И-4 Ускорительного отделения Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики (ККТЭФ) Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

– Зеленский Анатолий Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»;

– Донец Евгений Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, начальник сектора источников высокозарядных ионов, Лаборатория физики высоких энергий имени В.И. Векслера и А.М. Балдина, Ускорительное отделение, Научно-экспериментальный отдел инжектора и кольца Нуклотрона, Международная межправительственная научно-исследовательская организация Объединенный институт ядерных исследований;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», г. Нижний Новгород, в своем положительном заключении, подписанном кандидатом физико-математических наук Изотовым Иваном Владимировичем, заведующим лабораторией ионных источников ИПФ РАН указала, что диссертационная работа Лосева Антона Андреевича «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения учёных степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842.

Соискатель имеет 6 печатных работ по теме диссертации опубликованных в рецензируемых научных изданиях, из которых 5 в изданиях, включённых в текущий перечень ВАК, 6 индексируемых в Web of Science и Scopus:

1. Характеристики импульсно-периодического CO₂-лазера для приложений в области лазерной плазмы / Ю. А. Сатов, А. В. Шумшуров, А. А. Васильев, А. А. Лосев, А. Н. Балабаев, И. А. Хрисанов, В. К. Рерих // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 3. С. 83—90
2. Развитие техники времяпролетных измерений в плазме, создаваемой CO₂-лазером / Ю. А. Сатов, А. В. Шумшуров, А. А. Васильев, А. А. Лосев, А. Н. Балабаев, И. А. Хрисанов, К. Н. Макаров, В. К. Рерих // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 4. С. 108—114
3. Измерение эмиттанса методом pepper-pot на лазерно-плазменном источнике ионов для ускорителя И-4 / А. А. Лосев, Ю. А. Сатов, А. В. Шумшуров, А. Н. Балабаев, И. А. Хрисанов, А. А. Васильев // Ядерная физика и инжиниринг. 2021. Т. 12, № 2. С. 124—128
4. Влияние металлических сеток на характеристики ионного пучка в лазерно-плазменном источнике / Ю. А. Сатов, А. В. Шумшуров, А. А. Лосев, А. Н. Балабаев, И. А. Хрисанов, А. А. Васильев // Приборы и техника эксперимента. 2022. № 1. С. 82—91
5. Point defect creation by proton and carbon irradiation of α -Ga₂O₃ / A. Y. Polyakov, V. I. Nikolaev, I. N. Meshkov, K. Siemek, P. B. Lagov, E. B. Yakimov, A. I. Pechnikov, O. S. Orlov, A. A. Sidorin, S. I. Stepanov, I. V. Shchemerov, A. Vasilev, A. V. Chernykh, A. A. Losev, A. D. Miliachenko, I. A. Khrisanov, Y. S. Pavlov, U. A. Kobets, S. J. Pearton // Journal of Applied Physics. 2022. Т. 132, № 3. С. 035701
6. Численное моделирование системы извлечения пучка и сеточной электростатической линзы для линейного ускорителя И-4 / А. А. Лосев, Г. Н. Кропачев, Е. Р. Хабибуллина, А. В. Зиятдинова // Ядерная физика и инжиниринг. 2024. Т. 15, № 3. С. 254—258

Зарегистрирован 1 патент на изобретение (№ 2649914 C1 Устройство для исследования характеристик ионного потока плазмы, создаваемой импульсным источником, в частности CO₂-лазером).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

а) отзыв официального оппонента Зеленского Анатолия Николаевича, в котором отмечены следующие замечания:

1) В обзоре установок для генерации тяжелых многозарядных ионов приведены только источники на основе ЛПГ и нет сравнения с другими методами ECR и EBIS источниками.

2) В параграфе 2.3.2 измерение парциальных токов ионов различной зарядности искажается различием коэффициентов ВЭУ для различных зарядностей и энергий ионов. Стоило бы рассмотреть возможность перехода к одночастичной регистрации с использованием, например, микроканальных пластин.

3) В параграфе 3.1.2 обсуждается стабильность долговременной работы лазерной системы, но не приведены количественные данные. Что такое многочасовые сеансы? Время непрерывной работы до необходимости технического обслуживания? Важно также указать долговременную стабильность источника в целом.

4) В параграфе 3.8.3 приведены результаты экспериментов по получению высокозарядных ионов висмута Bi²⁷, Bi²⁸ на установке «Фокус». Получена высокая эмиссионная плотность тока $2 \cdot 10^8$ ионов Bi²⁸/см² (Рис 3.43). Однако не указаны ограничения на площадь эмиссионной апертуры и соответственно на полный ток.

5) Также возникает вопрос о возможности увеличения зарядности до Bi³⁵⁻³⁷, что имеет практический интерес для применения в качестве инжектора коллайдера NICA (ОИЯИ).

б) отзыв оппонента Донца Евгения Евгеньевича, в котором указаны следующие замечания:

1) сделанный на стр. 57-58 диссертации вывод о более интенсивном распылении материала сеток для тяжелых (Bi) ионов (в сравнении, например, с углеродом), и соответствующем влиянии образующихся атомарных «облаков» на прохождение и параметры пучка извлекаемых из плазмы пучков высокозарядных ионов, конечно, имеет статус в качестве рабочей гипотезы. Но стоит отметить, что ситуация представляется существенно более сложной, особенно с учетом эффектов высоких зарядностей тяжелых ионов. Эти вопросы, вместе с основным вопросом о роли сеток требуют дальнейших исследований.

2) Использование энергоанализатора для точного анализа спектра зарядностей висмута (рис.3.41, стр. 81) указывает на наличие двух относительных максимумов интенсивности: в районе $Bi19+$ и $Bi24+$, что не имеет объяснений в рамках устоявшихся представлений об эволюции спектра зарядностей в лазерно-индуцированной плазме. Представляется очень важным и интересным более детальное исследование зарядовых спектров тяжелых элементов (таких, как висмут и тяжелее) в различных условиях, тем более имеющийся инструментарий позволяет это сделать.

3) По имеющимся результатам пока невозможно сделать вывод о стабильности параметров пучка высокозарядных ионов, извлекаемого из использованных лазерно-плазменных ионных источников, на масштабах времени недель и месяцев непрерывной работы, что необходимо для реального планирования источников в ускорительных сеансах.

в) в отзыве ведущей организации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» указаны следующие замечания:

1) Автором проведено исследование зависимости характеристик лазерного импульса от состава газовой смеси CO_2 -лазера и получены уникальные результаты его генерации, но не сформулировано, за счёт чего был достигнут короткий импульс лазера в режиме свободной генерации.

2) Работа могла быть более полной, если бы автор привел дополнительные оценки параметров плазмы, генерируемой на мишени, в частности температуры электронов, скоростей вторичных ионов, вылетающих с сеток системы формирования ионного пучка, при их бомбардировке первичным пучком. Данная информация могла быть использована для более достоверной трактовки наблюдаемых процессов.

3) В системе формирования ионного пучка лазерного источника, очевидно, еще много возможностей для улучшения фокусировки перед входом в ускоритель. Работа в этом направлении могла бы существенно повысить полное число захватываемых ускорителем частиц.

4) Описание способа измерения времён вылета и их визуализация несколько сложна для восприятия, что, впрочем, не умаляет новизны и оригинальности полученного результата.

5) Для большей очевидности, что пучок был ускорен ускорителем И-4, не хватает измерений за поворотным анализирующим магнитом.

6) Некоторые графики, на которых изображены парциальные токи ионов и распределения по энергии слишком перегружены. Возможно, стоило оставить на них только те зарядовые состояния ионов, которые пригодны для дальнейшего ускорения.

Поступил 1 отзыв на автореферат из Федерального государственного бюджетного учреждения Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), подписанный доктором физико-математических наук Фещенко Александром Владимировичем, заместителем директора по научной работе. Замечаний не содержит.

Во всех поступивших отзывах дана положительная оценка диссертации, а также указано, что соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их опытом и профессионализмом, а также высоким уровнем экспертизы в

вопросах, на которых сосредоточена диссертация, подтверждаемым соответствующими публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработан метод диагностики ионной компоненты потока лазерной плазмы, основанный на одновременной регистрации сигналов времяпролетного анализатора ионов и детектора формы лазерного импульса. Он позволяет получить не только распределение частиц по зарядовым состояниям и парциальные токи для каждого заряда, но и времена вылета ионов из мишени на масштабе лазерного импульса, что даст возможность уточнить энергии генерируемых частиц каждого заряда. Метод защищен патентом Российской Федерации.

- Экспериментально обнаружен эффект воздействия на характеристики пучка металлических сеток, устанавливаемых в высоковольтном электроде системы экстракции, который усиливается с увеличением массового числа ионов пучка и с уменьшением периода расположения проволочек в сетке, но слабо зависит от геометрической прозрачности сетки.

- Впервые проведено ускорение пучка ионов углерода C^{4+} в ускорителе И-4 при настройках систем ускорителя, установленных на основании численного моделирования динамики пучка ионов углерода от плазменной границы до выхода ускорителя, выполненного с учетом экспериментально полученного распределения ионов по зарядовым состояниям и энергиям в генерируемой лазерным импульсом плазме.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что получаемые с помощью разработанной автором методики данные об энергетических и зарядовых распределениях ионов в лазерной плазме, а также данные о временах вылета ионов на масштабе лазерного импульса могут быть использованы для проверки численных моделей плазмы, образованной лазерным излучением.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы:

- метод времяпролетной диагностики плазмы с задействованием электростатического энергоанализатора, с получением обладающих новизной данных по моментам генерации ионов в плазме углеродной мишени на масштабе импульса облучения, типичного для CO₂-лазера в режиме свободной генерации.
- схема контроля параметров излучения импульсно-периодического CO₂-лазера в режиме свободной генерации, позволившая произвести оптимизацию условий работы с помощью и создать генератор с удельной мощностью излучения 190 МВт с литра активного объема в импульсе с длительностью 28 нс на полувысоте, что является рекордным по литературным источникам.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанный метод диагностики плазмы успешно применяется для разработки лазерно-плазменного источника ионов для проекта синхротронного исследовательского комплекса (СКИ) в РФЯЦ ВНИИЭФ на основе более мощного лазера, а также успешным применением для настройки лазерно-плазменного ионного источника в экспериментах на ускорителе И-3 для имплантации ионов углерода в полупроводники.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- результаты исследований прошли апробацию в виде публикаций в рецензируемых журналах и докладах на конференциях;
- разработанная методика диагностики лазерной плазмы прошла независимую экспертизу при получении патента.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии соискателя в получении экспериментальных данных и их обработке и интерпретации. Соискателем предложена и реализована система контроля характеристик импульсов лазерной установки. Соискателем разработаны программные коды для обработки исходных экспериментальных данных, получаемых при исследовании энергетического и зарядового состава плазмы с нормировкой на полный ток ионного пучка, а также предложен и реализован способ определения

времен вылета ионов из плазмы на масштабе лазерного импульса. Соискателем освоены и применены для исследований электростатический энергоанализатор, цилиндр Фарадея и измеритель эмиттанса. При непосредственном участии соискателя оптимизирован лазерно-плазменный источник ионов углерода для ускорителя И-4 и впервые в этом ускорителе реализовано ускорение ионов углерода. При непосредственном участии соискателя оптимизирован лазерно-плазменный источник ионов углерода для ускорителя И-3 и обеспечено длительное стабильное получение пучка ионов углерода для проведения исследований в области ионной имплантации. Соискатель лично принимал участие в составлении отчетных материалов и публикации результатов работы.

На заседании 20.11.2025 диссертационный совет 75.2.005.01 принял решение за исследование характеристик и модернизацию лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4 присудить Лосеву А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 9 человек, из них 9 докторов наук по специальности 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, очно участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали за 9, против 0, недействительных бюллетеней 0, не роздано бюллетеней - 2.

Председатель

диссертационного совета № 75.2.005.01



Иванов С.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета № 75.2.005.01



Мочалов В.В.

20.11.2025

