

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 75.2.005.01 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук по научной специальности 1.3.18
Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника
на базе НИЦ «Курчатовский институт»-ИФВЭ

20.11.2025

протокол № 4

На заседании диссертационного совета присутствовали 11 членов совета из 11 человек, входящих в состав совета, из них очно – 9, а именно:

№ п/п	Фамилия, Имя, Отчество	Ученая степень, ученое звание, шифр специальности и отрасль науки в совете	Примечание
1	Иванов Сергей Владиславович, председатель	доктор физико-математических наук, академик РАН, 1.3.18 физико-математические науки	
2	Козуб Сергей Сергеевич, заместитель председателя	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
3	Мочалов Василий Вадимович, ученый секретарь	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
4	Васильев Александр Николаевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
5	Егорычев Виктор Юрьевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
6	Зайцев Александр Михайлович	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
7	Каримов Александр Рашатович	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	
8	Образцов Владимир Фёдорович	доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, 1.3.18 физико-математические науки	
9	Полозов Сергей Маркович	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	Присутствовал дистанционно
10	Сеничев Юрий Валерьевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	Присутствовал дистанционно
11	Чесноков Юрий Андреевич	доктор физико-математических наук, 1.3.18 физико-математические науки	

Повестка дня: Защита диссертации Лосева Антона Андреевича «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18— физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Председательствующий: д.ф.-м.н., академик РАН, Иванов Сергей Владиславович

Ученый секретарь совета: д.ф.-м.н. Мочалов Василий Вадимович

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Сатов Юрий Алексеевич, ведущий научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва

Официальные оппоненты:

- д.ф.-м.н. Зеленский Анатолий Николаевич, главный научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва
- к.ф.-м.н. Донец Евгений Евгеньевич, начальник сектора, Лаборатория физики высоких энергий ОИЯИ, г. Дубна

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», г. Нижний Новгород

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Коллеги, приступаем к сегодняшнему заседанию диссертационного совета 75.2.005.01. Я являюсь председателем этого совета. Иванов Сергей Владиславович.

Повестка дня диссертационного совета следующая: защита диссертации Лосева Антона Андреевича «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 - физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

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 Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Помимо членов Диссертационного Совета присутствуют официальные оппоненты диссертации, а именно:

- 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, лаборатории физики высоких энергий имени Виталия Иосифовича Векслера и Александра Михайловича Балдина, ускорительного отделения научно-исследовательского отдела инжектора кольца нуклотрона в составе международной межправительственной научно-исследовательской организации Объединенный институт ядерных исследований.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики имени Андрея Викторовича Гапонова-Грехова Российской Академии Наук из Нижнего Новгорода. В заседании принимают личное участие 9 членов диссертационного совета. Кворум имеется.

На заседании присутствуют научный руководитель диссертации Сатов Юрий Алексеевич и оба официальных оппонента Зеленский Анатолий Николаевич и Донец Евгений Евгеньевич. Сейчас я предоставляю слово ученому секретарю диссертационного совета Мочалову Василию Вадимовичу для ознакомления с содержанием материалов соискателя.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Добрый день. У нас в деле имеются все необходимые документы. Лосев Антон Андреевич в 2014 году окончил специалитет НИЯУ МИФИ с присвоением квалификации инженер-физик по направлению подготовки физика конденсированного состояния вещества и выдачей соответствующего диплома. В период подготовки диссертации соискатель обучался на очном отделении аспирантуры ФГБУ Институт теоретической и экспериментальной физики имени Алиханова Национального

исследовательского центра «Курчатовский институт», а также работал в том же институте в должности инженера, а затем младшего научного сотрудника. В настоящее время работает в подразделении установка ионного ускорителя И-4, ускорительного центра Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт» в должности младшего научного сотрудника. Прошел обучение в аспирантуре Национального центра «Курчатовский институт» по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», с присвоением квалификации исследователь, преподаватель-исследователь и выдачей соответствующего диплома. В деле имеется диплом об окончании аспирантуры. Сдал кандидатские экзамены и получил следующие оценки: иностранный (английский) язык - оценка отлично, история и философия науки - оценка хорошо, по специальности - оценка отлично. В деле есть справка о сдаче кандидатских экзаменов, заверенная НИЦ «Курчатовский институт». Также в деле имеется заявление Лосева Антона Андреевича от седьмого июля двадцать пятого года и список научных трудов. Текст диссертации и автореферата размещен на сайтах ВАК и диссертационного совета. Так что все необходимые документы есть.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Сейчас слово предоставляется соискателю Лосеву Антону Андреевичу. По регламенту сколько мы имеем времени?

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В. Двадцать — двадцать пять минут, желательно не больше.

Председательствующий д.ф.-м.н. Иванов С.В. Вас устраивает двадцать пять минут?

Соискатель Лосев А.А.: Да.

Председательствующий д.ф.-м.н. Иванов С.В. Хорошо, мы готовы. Надо только свет погасить на экране.

Соискатель Лосев А.А. (на экране демонстрируется презентация):

Здравствуйте, коллеги. Меня зовут Антон Лосев. Я буду представлять диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, которая называется «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4». Руководителем является доктор физико-математических наук Юрий Алексеевич Сатов, работа выполнена в НИЦ «Курчатовский институт».

Ионные пучки сегодня востребованы, например, для генерации экстремальных состояний вещества, для испытаний на радиационную стойкость электронных компонентов и материалов, для радиационной модификации материалов и ионной имплантации, управляемого термоядерного синтеза на пучках тяжелых ионов, и для протонной и ионной лучевой терапии. Для ряда из этих приложений лазерно-плазменный источник имеет неоспоримые преимущества.

Принцип работы большинства источников ионов заключается в создании плазмы каким-либо способом и извлечении ионного пучка из нее. В случае лазерно-плазменного источника плазма образуется воздействием сфокусированного лазерного излучения на поверхность мишени, которая состоит из вещества, ионы которого требуется получить. Лазерно-плазменный источник способен получать пучки, содержащие ионы высокой кратности ионизации, высокая плотность расширяющейся плазмы позволяет извлекать сильнооточный пучок короткой длительности, имеется возможность менять мишень и условия ее облучения, и возможность выбирать тип иона из широкого ряда химических элементов.

Целью работы являлась методики восстановления энергетических и зарядовых распределений ионов лазерной плазмы для нахождения режимов облучения мишени с максимальным выходом ионов требуемого зарядового состояния и получения параметров ионов плазмы необходимых для численного моделирования извлечения и согласования пучка и динамики пучка в ускоряющей структуре. И разработка лазерно-плазменного источника ионов на основе

импульсно-периодического лазера «Малыш» для работы с ускорителями И-3, И-4 в области прикладных задач.

Для достижения поставленных целей требовалось решить ряд задач.

- Реализовать контроль и анализ параметров лазерного импульса, чтобы найти оптимальный режим работы лазерной установки.
- Разработать программное обеспечение для обработки исходных экспериментальных данных и для задания входных данных для программ численного моделирования динамики пучков заряженных частиц Kobraz и Dynamion.
- Изучить энергетические и зарядовые распределения ионов углерода в лазерной плазме и найти условия облучения углеродной мишени для достижения максимального количества требуемых ионов для инъекции в ускорители И-3, И-4.
- Провести ускорение пучка ионов углерода в этих ускорителях.

Источником лазерного излучения являлся двухмодульный импульсно-периодический CO₂-лазер атмосферного давления с поперечным возбуждением, работающий в режиме свободной генерации. Форма импульса представлена справа. Она регистрировалась с помощью германиевого photon-drag детектора, сигнал которого регистрировался цифровым осциллографом. Полная энергия импульса измерялась с помощью термпарного калориметра. В качестве ключевых параметров лазерного импульса были взяты пиковая мощность, длительность на полувысоте, полная энергия импульса, доля энергии в первом пике генерации. Был разработан комплект программ для онлайн мониторинга ключевых параметров лазерного импульса и разряда в модулях, что позволило оперативно производить настройку лазерной установки.

Для ряда соотношений газов CO₂/N₂/He активной смеси были получены зависимости ключевых параметров лазерного импульса от напряжения зарядки генератора импульсного напряжения. Здесь представлены зависимости для максимальной мощности и длительности первого пика. Была выбрана рабочая точка, в которой достигается максимальная пиковая мощность 105 МВт при длительности примерно 28 нс. Эти параметры реализуются при соотношении газов CO₂/N₂/He 3 к 1 к 3.

Плазма исследовалась с помощью времяпролетной диагностики. Лазерный импульс доставляется с помощью системы зеркал в вакуумную камеру, вводится через входное окно внутрь вакуумной камеры и фокусируется с помощью зеркального объектива на поверхность цилиндрической мишени. Плазма анализируется с помощью комбинации времяпролетной трубы и электростатического энергоанализатора, который представляет собой сектор цилиндрического конденсатора, электроды которого находятся под симметричным потенциалом относительно земли. Для такой конфигурации можно аналитически решить уравнение движения для частиц, попадающих в дефлектор. Оказывается, что по центральной траектории пролетят от входной щели до выходной щели только ионы с определенным отношением энергии к заряду, которое зависит исключительно от геометрии дефлектора и симметричного потенциала электродов. В качестве детектора частиц используется вторично-электронный умножитель, его сигналы регистрируются с помощью цифрового осциллографа. Для начала отсчета времени регистрируется часть лазерного импульса, отраженная от входного окна, которая записывается на тот же самый осциллограф. Идентификация ионов проводится по времени прилета. Пролетную длину можно измерить с высокой точностью без применения дополнительных специальных приборов записывая времяпролетный спектр с добавочной вставкой к времяпролетной трубе заранее известной длины и без нее.

Записывая серию сигналов по напряжению настройки энергоанализатора можно восстановить парциальные токи и распределения по энергии для каждого зарядового состояния. Значения в абсолютных единицах можно получить путем нормировки суммы парциальных токов на измеренный полный ток. Был разработан комплект программ, реализующий управление

регистрирующим оборудованием, а также построение распределений из времяпролетных спектров и нормировки на полный ток. Когда известна длина пролета, разность между расчетным и измеренным временем прилета иона позволяет реконструировать времена вылета ионов из плазмы. Они изображены в виде зависимости от энергии иона. И видно, что ионы с максимальной энергией и максимальным зарядом генерируются преимущественно во время первого пика генерации CO₂-лазера, в то время как низкоэнергетичные генерируются на протяжении практически всего лазерного импульса.

На защиту выносится метод диагностики ионной компоненты потока лазерной плазмы, основанный на одновременной регистрации сигналов времяпролетного анализатора ионов и детектора формы лазерного импульса, который 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 дает уникальную возможность уточнить энергии генерируемых частиц каждого заряда. Применение разработанного метода позволяет получить как информацию о процессах генерации ионов в плазме, так и информацию, необходимую для формирования пучка ионов для дальнейшей инжекции в ускоритель. Метод защищен патентом Российской Федерации.

В первую очередь разработанная методика была применена для настройки лазерно-плазменного источника на генерацию ионов углерода для линейного ускорителя И-4, который представляет собой секцию ПЛОФ с рабочей частотой 81 МГц способную ускорять сильнооточный пучок ионов с соотношением заряда к массе 1/3 до энергии 1.6 МэВ/н. Лазерный импульс генерируется с помощью того же самого лазера «Малыш», доставляется до мишенной камеры с помощью системы зеркал и фокусируется на цилиндрическую мишень с помощью линзы. Мишень поворачивается на небольшой угол после каждого импульса для исключения образования крагера. Плазма разлетается в пролетную трубу и попадает в систему извлечения и формирования пучка. Далее поступает на вход ускорителя И-4.

На этом слайде более крупно изображена система формирования пучка. Она состоит из плазменного электрода, отрицательного запирающего электрода и заземленного электрода. Далее установлена электростатическая сеточная линза, которая собирает пучок на вход ускоряющей структуры (изображена справа), слева стрелкой показана налетающая плазма. В ходе поиска с помощью разработанной методики анализа плазмы условий облучения, при которых реализуется максимальное количество ионов C⁴⁺, было выявлено влияние сетки, устанавливаемой в плазменный электрод для стабилизации границы плазмы на зарядовый состав пучка.

Для трех сеток с различным периодом и примерно одинаковой прозрачностью было проведено исследование состава плазмы углерода и тяжелого элемента вольфрама. Столбчатые диаграммы показывают отношение количества ионов с разным зарядом с установленной сеткой к количеству ионов в ее отсутствии. Видно, что отношение уменьшается с увеличением заряда ионов, с уменьшением периода сетки и для тяжелых ионов. Это влияние можно объяснить возникновением препятствия в области установки сетки, подобного остаточному газу, возникающему в результате распыления материала сетки.

Установка сетки влияет также и на плотность тока в лидирующей части пучка, где наиболее представлены многозарядные ионы. Происходит снижение плотности тока. Для углерода с частой сеткой она уменьшается примерно в 3 раза, а для крупной сетки примерно в 2 раза. Для вольфрама установка мелкой сетки приводит к почти полному пропаданию ионов с зарядами 6+ 7+, а для крупной сетки такого не происходит.

На защиту выносится экспериментально обнаруженный эффект воздействия на характеристики пучка металлических сеток, устанавливаемых в высоковольтном электроде системы экстракции, связанный с распылением материала сетки и последующим рассеянием ионного пучка на образовавшемся атомарном облаке. Эффект усиливается с увеличением

массового числа ионов пучка и с уменьшением периода расположения проволок в сетке, но слабо зависит от геометрической прозрачности сетки. Получены данные для разработки высоковольтной системы экстракции источника ионов.

Было установлено, что разброс ионов по энергии велик и превышает 1% заложенный при проектировании ускорителя И-4. Полученные с помощью разработанной времяпролетной методики данные по энергетическим и зарядовым распределениям были использованы в качестве входных данных для расчета процесса извлечения и формирования пучка из плазмы углерода с помощью программы Kobra3. Результаты этого расчета в свою очередь были исходными для кода Dynamion, моделирующего динамику пучка в ускоряющей структуре И-4. Код Dynamion был разработан А. Коломийцем и С. Ярамышевым из ИТЭФ и использовался при проектировании ускорителя И-4.

Выставив настройки, полученные по результатам моделирования получили ток на выходе ускорителя с амплитудой 7.8 мА. Из полного тока на входе примерно половину составляют ионы C^{4+} . Ионы с зарядом от 1 до 3 не будут захвачены в ускорение, а пятизарядного углерода всего несколько процентов. Таким образом на выходе пучок почти полностью состоит из ионов углерода C^{4+} . И получилось, что ускорено примерно 60% ионов C^{4+} , поступивших на вход ускорителя.

На защиту выносятся результаты «сквозного» численного моделирования динамики пучка ионов углерода C^{4+} от плазменной границы до выхода ускорителя-инжектора И-4, проведенного с учетом экспериментально полученного распределения ионов по зарядовым состояниям и энергиям в генерируемой лазерным импульсом плазме. И результаты ускорения пучка ионов углерода C^{4+} в ускорителе И-4 при настройках систем ускорителя, установленных на основании «сквозного» моделирования, подтвердившие его правильность.

Радиационная модификация — это один из процессов в производстве полупроводников. На ускорителе И-3, бывшем инжекторе ионов для проекта ИТЭФ-ГВН, в настоящее время проводится исследования по радиационной модификации полупроводников.

С помощью разработанной методики диагностики плазмы источник был настроен на получение пучка с максимальной долей ионов C^{2+} , C^{4+} в импульсе с амплитудой 120 мА длительностью 20 мкс на полувысоте. Были проведены сеансы облучения кремниевых пластин с флюенсом (поток) от 1 до 4 на 10^{12} частиц на квадратный сантиметр. Это требовалось для управления временем жизни носителей заряда в полупроводниках с целью уменьшения времени обратного восстановления кремниевых диодов. До облучения время обратного восстановления составляло примерно 100 нс и ток утечки был меньше 1 нА. В результате был найден режим облучения, при котором время обратного восстановления уменьшилось почти в 20 раз, а ток утечки практически не вырос. Радиационная модификация таким образом повышает быстродействие полупроводниковых диодов.

В настоящее время в Сарове в РФЯЦ ВНИИЭФ строится ускорительный комплекс для испытания электронной компонентной базы на радиационную стойкость. В ускорительном отделении ККТЭФ разрабатывается лазерно-плазменный источник тяжелых ионов для этого проекта. В ККТЭФ имеется прототип, который будет поставлен для этого проекта. Он основан на лазерной системе «Фокус», которая способна генерировать лазерные импульсы с пиковой мощностью более 6 ГВт при длительности на полувысоте 14 нс. Лазерно-плазменный источник был настроен на генерацию целевого заряда ионов висмута Bi^{27+} в импульсе тока длительностью 5 мкс. Получилось, что в одном импульсе имелось $2.8 \cdot 10^8$ частиц Bi^{27+} с 1 см^2 извлекающего отверстия. Исследовав плазму с помощью плазмы с помощью разработанной диагностики показано, что в этой плазме присутствуют при этом ионы Bi с зарядовым состоянием вплоть до 31.

Результаты диссертации были опубликованы в 6 работах, из которых 6 в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, а 5 в журналах списка ВАК. Зарегистрирован 1 патент на изобретение. Результаты доложены на четырнадцати конференциях. И на этом слайде собраны вместе защищаемые положения. Доклад закончил. Спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Теперь мы предоставляем слово желающим задать вопросы диссертанту.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Вы говорите, что в своей работе вы используете численное моделирование и используете программное обеспечение Kobra и Dynamion. Скажите, это стандартное программное обеспечение, которое известно во всем мире и верификация которого прошла, либо это программное обеспечение, которое используется в вашей области или конкретно в вашей лаборатории. Чуть-чуть, хотя бы пару слов об этом.

Соискатель Лосев А.А.: Kobra3 — это известная программа, она была разработана Петром Шпедтке из GSI.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Известная в мире?

Соискатель Лосев А.А.: С помощью нее было рассчитано много ЭЦР источников.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: То есть это стандартная программное обеспечение, используемое в вашей области науки?

Соискатель Лосев А.А.: Да. А Dynamion — это программа, как я уже говорил, разработанная в ИТЭФ, и с ее помощью были разработаны ускорители, и были проверены расчеты.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Расчеты с ее помощью были опубликованы и верифицированы?

Соискатель Лосев А.А.: Да.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Спасибо.

Член совета д.ф.-м.н. Чесноков Ю.А.: У меня вопрос. Вы в своем докладе оперируете в основном единицами мощности и миллиамперами. Для инжекционного комплекса важно количество ионов в секунду. Количество ионов в одну секунду можете привести?

Соискатель Лосев А.А.: Количество ионов приводится в импульсе и составляет 10^{11} .

Член совета д.ф.-м.н. Чесноков Ю.А.: Тогда еще частоту импульсов.

Соискатель Лосев А.А.: Когда мы получаем пучки ионов углерода, то в них содержится целевого заряда C^{4+} до 10^{11} частиц за один импульс. Частота повторения определяется частотой срабатывания лазера, и частота повторения составляет 0.2 Гц. Один раз в пять секунд.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: А длительность импульса сколько была?

Соискатель Лосев А.А.: Длительность импульса где-то 15 нс, а вот на этом слайде 20 нс.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: То есть это сколько получается, $10^{11} - 10^{18}$ в секунду?

Несколько членов совета: Нет, наоборот. Делить надо.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: Так я и делю. Говорю, что одиннадцать делим на десять в минус сколько там четвертой. Получаем десять в пятнадцатой в шестнадцатой, да получается?

д.т.н. Кулевой Т.В.: Мы получаем ток. Если мы количество заряда разделим на время, то получим ток.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: Ну вот это количество этих частиц.

д.т.н. Кулевой Т.В.: У него количество частиц в одном импульсе. Импульс раз в пять секунд. Если хотим на секунду, то количество частиц делим на пять. У нас получится количество частиц за секунду.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: Я про другое, я про интенсивность говорил.

д.ф.-м.н. Сатов Ю.А.: Он про интенсивность в течение импульса говорил. Интенсивность вот в течение импульса сколько получается?

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: Да, вот интенсивность сколько получается? В пересчете, большая какая-то.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Можно я тоже вопрос задам. Вот вы сказали, что у вас разброс существенно больше одного процента, который ускоряет ускоритель. Да, так я понимаю?

Соискатель Лосев А.А.: Ну который попадает.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Да. Значит вопрос такой, те цифры которые вы приводите, значит, это цифры на весь импульсный спектр, в том числе на его бесполезную часть, или же это вот на процент, который попадает и может быть ускорен ускорителем? Первый вопрос. И второй вопрос такой. А куда деваются ненужные заряды и те частицы, которые выходят за пределы захватываемого импульсного интервала? Вот по той картинке, которую вы представили, там не было видно каких-то специальных коллиматоров, абсорберов и чего-то еще. Создается такое впечатление, я надеюсь, ошибочное, что все это рассеивается как грязь на стенках ускорителя. Так ли это?

Соискатель Лосев А.А.: Так. Именно так.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Именно так. А вот на первый вопрос, значит вот, цифры вы приводите. Это по всему спектру?

Соискатель Лосев А.А.: Цифры по всему зарядовому состоянию.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Вот интенсивность Δp для всех частиц? Пять процентов или один процент?

Соискатель Лосев А.А.: По всему набору частиц разброс три с половиной — четыре процента.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Вот так. То есть все, что вы сказали перед этим надо на три с половиной еще поделить?

Соискатель Лосев А.А.: Нет. 60 процентов углерода C^{4+} захвачено в ускорение и доходит до выхода.

Член совета д.ф.-м.н. Зайцев А.М.: Спасибо.

Член совета д.ф.-м.н. Васильев А.Н.: Скажите, пожалуйста, ваш лазерно-плазменный источник. Какое максимальное непрерывное время, в течение которого он работал стабильно?

Соискатель Лосев А.А.: Мы проводили сеансы по облучению полупроводников. Самый длинный сеанс он отработал без перерыва, без любых неполадок. Это было 9 часов и нам больше не требовалось. Но в принципе он может, то есть ничего не случилось, он и дальше бы работал.

Член совета д.ф.-м.н. Васильев А.Н.: А он основной источник у вас для И-4? Или другие есть?

Соискатель Лосев А.А.: Для И-3 это основной источник.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Еще вопросы. Больше не имеем. Хорошо. Тогда мы сейчас предоставляем слово научному руководителю, доктору физико-математических наук Сатову Юрию Алексеевичу.

д.ф.-м.н. Сатов Ю.А.: Добрый день, уважаемые члены совета и коллеги. Антон изложил, на мой взгляд, хорошо материал. Я не буду повторяться здесь в деталях, которые, по-моему, ясны и так, только кое-какие уточнения. Лосев Антон Андреевич окончил специалитет факультета теоретической и экспериментальной физики МИФИ в 2014 году.

Официальный оппонент д.ф.-м.н. Зеленский А.Н.: Можно погромче немножко.

д.ф.-м.н. Сатов Ю.А.: По специальности физика конденсированного состояния вещества, и был принят на работу в качестве инженера в лабораторию ускорительного центра ИТЭФ имени Алиханова, ныне ККТЭФ НИЦ «Курчатовский институт». С самого начала научной деятельности работа Лосева была посвящена разработке элементов установки для проведения экспериментов по облучению твердотельных мишеней импульсами лазера и генерации ионов в создаваемой плазме, проведению соответствующих исследований, целью которых являлось создание лазерно-плазменного источника нового уровня. Потому что источник, вообще говоря, существовал давно. Лазер неприлично давно был создан в том железе, которое сейчас существует габаритно, но начинка его, существо схемы все время менялось. И особенно радикально это было сделано в течение работы Антона. Это позволило вывести источник на

совсем другой уровень, и по возможности генерации с C^{3+} мы можем перейти на C^{3+} с тем же количеством частиц, которое было до того. А еще может быть более важно, что он приобрел очень высокую стабильность, воспроизводимость от выстрела к выстрелу и, вообще говоря, и ресурс соответствующий. Вот он оговорил, что проверено это и практически необходимо в течение рабочей смены нам по условиям работ. Но вообще-то продолжение его связано с заменой рабочей смеси в лазере, потому что регенератора эффективности недостаточно. Это занимает несколько минут. Можно сказать долговременно не проверено, потому что практических не было приложений, насколько долго можно его эксплуатировать до поломки. Оценки нет.

Мне кажется, непонятно было многим по поводу сеток, каким образом вот это пропускание было померено. Дело в том, что мы использовали тот же анализатор времяпролетный спектра, для того чтобы смотреть сигналы с сеткой без сетки. У этого прибора на языке ускорительной техники аксептанс очень жесткий. И всякие, скажем, эффекты рассеяния ионов тут же сказывались на выходном сигнале. Там чувствительно получилось очень это измерить. Мне кажется, не очень это понятно изложил.

Большая часть работ Лосева была выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт». По итогам соавтор шести статей, в журналах индексируемых в базах Web of Science и Scopus, зарегистрирован патент. Наиболее важные практические результаты, я не знаю, надо ли мне зачитывать? Вы, по-моему, это слышали.

Ну вот, мне кажется с точки зрения руководителя, мне по крайней мере наиболее ценна последняя часть, как вишенка на торте, упоминая по поводу моделирования. Поскольку эта работа была вообще не под моим даже руководством, я ставил только общую задачу. А конкретно этим руководил большей частью Тимур Вячеславович Кулеков и сотрудники его. И ценна она тем, что он перспективу создал для дальнейшей работы и своей, и, вообще говоря, подразделения нашего, потому что в плоскости задач всех как раз это очень важно. Сквозное моделирование плазмы, от характеристик плазмы до выхода ускорителя. Это вот для меня как-то очень ценно, может потому, что я в этом совсем не эксперт. Создает хорошую просто перспективу для дальнейшей работы, ну и показывает, конечно, уровень его профессиональный как физика. Результаты научной работы имеют и практический интерес большой, в том числе в работах, запланированных в ускорительном центре ИТЭФ. Результаты опубликованы. Ну это уже говорилось. Вот работа Лосева отличается высоким профессионализмом при выполнении научных и инженерных задач. Следует отметить свойственное его характеру ответственное отношение к поставленным заданиям, аккуратность, упорство в преодолении. Такая дисциплинированность не в банальном понимании, а вот в смысле выполнения поставленных задач, у него есть и упорство, и такая тщательность работы. Считаю, что диссертационная работа Лосева «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Лосев заслуживает присуждения степени кандидата физмат наук по специальности один три восемнадцать физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Спасибо, Юрий Алексеевич. Есть желающие вопросы задать? Нет. Тогда мы сейчас попросим Василия Вадимовича Мочалова зачитать отзывы ведущей организации Института прикладной физики имени Андрея Гапонова-Грехова и по автореферату.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В. Сначала первое заключение — заключение организации, где выполнялась диссертация. Я начну не по порядку Заключения, а с конца, где заключение было принято. Диссертационная работа была представлена на заседании номер шесть научно-технического совета ККТЭФ НИЦ «Курчатовский институт» после обсуждения на семинаре Экспериментальная физика высоких энергий, физика ускорителей заряженных

частиц и физико-химические исследования материалов. На заседании присутствовали 13 членов НТС из 15 все проголосовали «За». И вот это заключение подготовлено на основании выступления на этом семинаре. Не буду перечислять все вещи, основные результаты Диссертации, которые уже были перечислены. Остановлюсь только на некоторых, может быть, более ярких моментах. Основные результаты заключались, коротко, в следующем:

- Проведена модернизация схемы питания разряда, в результате достигнута максимальная удельная мощность, что является рекордным значением среди известных из литературы результатов для данного типа лазеров.
- Для исследования плазмы применена запатентованная времяпролетная методика, то есть по результатам исследований был получен патент.
- Создан и опробован в экспериментах комплекс измерительных методик и программного обеспечения, что дает возможность генерировать данные для программ численного моделирования.
- В измерениях запатентованной методикой наблюдались и измерены потери многозарядных ионов, что дало рекомендации для конструирования дальнейших систем, а именно было показано, что при генерации многозарядных ионов из лазерной плазмы введение в конструкцию системы экстракции сетки может приводить к потерям головной наиболее многозарядной и энергичной компоненты пучка.
- На основе измеренных характеристик было проведено численное моделирование при помощи двух программ, и впервые на ускорителе И-4 был ускорен пучок ионов углерода, полученный из лазерно-плазменного источника.
- Выполненные исследования позволили успешно применить лазерно-плазменный источник в прикладных задачах, а именно на установке И-3 были проведены длительные сеансы облучения образцов кремниевых диодов.
- Разработанная времяпролетная методика успешно применена при разработке лазерно-плазменного источника для ускорительного комплекса МЦКИ.

Актуальность заключается в том, что исследования с помощью таких источников применяются в различных областях от генерации экстремальных состояний вещества до управляемого термоядерного синтеза и применений в медицине и биологии.

Цели и задачи я не буду указывать, потому что они были хорошо доложены, для достижения поставленных целей необходимо было реализовать контроль и анализ лазерных параметров, усовершенствовать диагностику, что было сделано, получить распределения и, главное, провести ускорение пучка в ускорителе.

Основные положения, выносимые на защиту, прозвучали здесь, поэтому я не буду тогда зачитывать. А вот что важно - научная новизна.

- Оптимизация условий работы импульсно-периодического CO₂-лазера в режиме свободной генерации с помощью схемы контроля параметров излучения позволила 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.
 - В результате усовершенствования времяпролетной методики диагностики ионных пучков впервые получены экспериментальные данные по моментам генерации ионов в плазме углеродной мишени на масштабе импульса облучения, типичного для CO₂-лазера в режиме свободной генерации, с пиковой плотностью мощности на поверхности мишени до 10^{11} Вт/см².
- Практическая ценность:

- Создан лазерный генератор с указанной мощностью 100 МВт и энергией до 10 Дж, работающий с частотой повторения 0.5 герца для широкого круга применений.
- Создан лазерный источник ионов вольфрама, вольфрам 7+, указана плотность тока.
- Разработана и проверена в большом количестве времяпролетная диагностика.
- На основе экспериментальных данных получены рекомендации для конструкторской разработки системы экстракции формирования пучка, связанные с использованием сеток.

- Уже говорилось, что полученный из плазменного источника пучок успешно применен в экспериментах на И-3 и проведено ускорение пучка ионов на И-4.
- Разработан программно-аппаратный комплекс для управления длиной резонатора задающего генератора лазерной системы «Фокус», обеспечивающий работу лазера в режиме одной продольной моды для получения максимальной стабильности результатов.

Личный вклад автора. Получение научных результатов, лежащих в основе диссертации, является определяющим.

- При ключевом участии автора разработаны и внедрены диагностические методики, используемые при исследовании энергетического и зарядного состава плазмы.
- Автором лично освоены и применены для исследований электростатический энергоанализатор, цилиндр Фарадея и измеритель эмиттанса.
- Автором лично получены и проанализированы экспериментальные результаты при изучении генерации плазмы в лазерно-плазменном источнике ионов.
- При активном участии автора оптимизирован лазерно-плазменный источник ионов углерода для ускорителя И-4, и впервые проведено ускорение ионов углерода C^{4+} в нем.
- При активном участии автора оптимизирован лазерно-плазменный источник ионов для ускорителя И-3, и обеспечено длительное стабильное получение пучка ионов углерода для проведения исследований в области ионной имплантации.
- Автор лично принимал участие в написании отчетных материалов и публикаций. Большая часть материала докладывалась автором лично на научных конференциях.

Основные результаты, как было доложено, опубликованы в шести печатных изданиях, из которых пять в списке ВАК и шесть в журнальных списках Scopus или Web of Science. Приведен список публикаций, патентов и докладов.

Таким образом, на основании этого заключения было принято решение, что диссертация Лосева Антона Андреевича «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, а работа удовлетворяет требованиям положения о присуждении ученых степеней.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Предполагается ли ответ?

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Здесь нет. Это заключение.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: То есть ответ будет на отзыв ведущей организации?

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Да, но я чуть-чуть поменяю порядок. Я сначала хочу зачитать отзыв на автореферат диссертации, который поступил нам. И хочу поменять отзыв по одной единственной причине - дело в том, что в этом отзыве вообще нет никаких замечаний и вопросов, то есть на него не надо отвечать.

Отзыв на автореферат подготовлен доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе Института ядерных исследований Фещенко Александром Владимировичем, и заверен отделом кадров. Диссертационная работа Лосева посвящена вопросам исследования плазмы, образованной лазерным импульсом ТЕА CO_2 -лазера, для разработки лазерно-плазменных источников ионов. Работа над созданием источников такого типа актуальна в связи с потребностью в ускоренных ионных пучках для задач радиационной модификации и испытания на радиационную стойкость. Созданная автором система онлайн-диагностики параметров лазерного импульса позволила оптимизировать состав лазерной смеси для достижения воспроизводимости импульса.

В своей работе автор предложил методику восстановления зарядовых и энергетических распределений ионов лазерной плазмы. С ее помощью удалось впервые восстановить моменты вылета ионов из плазмы мишени на масштабе импульса излучения CO_2 -лазера, создающего

плазму. Эта методика была использована для настройки лазерно-плазменного источника на максимальное содержание, требуемое для ускорения ионов в ускорителях И-3 и И-4.

В процессе исследования было обнаружено влияние сеток, устанавливаемых в систему извлечения на зарядовый состав пучка. Исходя из экспериментально полученных данных об ионах плазмы, было проведено численное моделирование динамики пучка от плазменной границы до выхода ускорителя И-4, и на его основании проведен опыт ускорения пучка в данном ускорителе.

Весомой практической значимостью обладают эксперименты по облучению кремниевых диодов пучком ионов углерода с целью уменьшения времени обратного восстановления, а также применение разработанных методик в процессе разработки лазерно-плазменного источника ионов на базе существенно более мощной установки.

Настоящее исследование является актуальным, обоснованным и относящимся к востребованной тематике. Автореферат написан понятным языком. На основании ознакомления с авторефератом и публикациями можно сделать вывод, что диссертационная работа Лосева Антона Андреевича «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3. И-4» отвечает требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного правительством РФ в 2013 году, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор Лосев Антон Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18 - Физика пучков зарядных частиц и ускорительная техника.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Ответ оппоненту не предполагается?

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В. Именно поэтому я переставил местами, потому что здесь не требуется ответов.

Переходим к отзыву ведущей организации Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики имени Гапонова-Грехова Российской академии наук на диссертацию Лосева Антона Андреевича. Опять же начну с конца, чтобы не было вопросов.

Заключение отзыва: доклад Лосева был заслушан и обсуждался на семинаре отделения физики плазмы и электроники больших мощностей Института прикладной физики имени Гапонова-Грехова Российской академии наук, состоявшемся 28 октября 2025 года. Диссертационная работа Лосева Антона Андреевича соответствует критериям, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук установленных в положении о присуждении ученых степеней. А ее автор Лосев Антон Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18.

Отзыв составил Изотов, заведующий лабораторией ионных источников, и заверен ученым секретарем. А теперь перехожу к главному. Я не буду читать, опять же, новизну, актуальность, практическую значимость, потому что очень перекрывается с тем, что было изложено ранее. А прочитаю только основные замечания, на которые как раз и будет отвечать соискатель. Итак, можно отметить следующие замечания к работе.

- Автором проведено исследование зависимости характеристик лазерного импульса от состава газовой смеси CO₂ лазера и получены уникальные результаты его генерации, но не сформулировано, за счет чего был достигнут короткий импульс лазера в режиме свободной генерации. Так, все вопросы зачитать, Антон? Или по очереди?

Соискатель Лосев А.А.: Давайте по очереди. Этот вопрос можно прокомментировать так, что для получения мощного импульса требуется в первую очередь, конечно, создать однородный самостоятельный разряд в активной среде, в которой будет примерно 50% молекулярных газов, то есть CO₂ и азота, а их соотношение будет 3 к 1 — 4 к 1. Самое сложное — это создать разряд в такой смеси. Когда его удастся создать, будет большая мощность.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: То есть импульс удастся создать за счет создания разряда в смеси определенного состава?

Соискатель Лосев А.А.: Да. Чтобы при таком соотношении газов смеси воспроизводимо создавался однородный разряд.

Член совета д.ф.-м.н. Васильев А.Н.: А разряд-то от чего зависит?

Соискатель Лосев А.А.: Прикладывается импульс напряжения к смеси атмосферного давления. Напряжение 25-27 кВ/см. А также нужно создать начальную концентрацию свободных электронов в этом объеме, чтобы разряд был объемным и однородным, а не сорвался в дугу.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: Вы смотрели, какой механизм поглощения при таких-то давлениях, параметры плазмы оценивали или нет?

Соискатель Лосев А.А.: В лазерном разряде ничего не оценивали.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Второе замечание. Работа могла бы 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 трактовке наблюдаемых процессов.

Соискатель Лосев А.А.: Здесь говорится об ионах, которые вылетают с материала сетки. Нашей рабочей гипотезой о том, откуда они берутся, является распыление материала установленной сетки. Из литературы можно узнать, что ионы имеют энергию от 5 до 10 эВ, то есть они медленно перекрывают пространство между проволочками.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Третье. В системе формирования ионного пучка лазерного источника, очевидно, еще много возможностей для улучшения фокусировки перед входом ускорителя. Работа в этом направлении могла бы существенно повысить полное число захватываемых ускорителем частиц.

Соискатель Лосев А.А.: Да. Там много что можно совершенствовать, и такие работы планируются.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Четвертое. Описание способа измерения времен вылета и их визуализация несколько сложна для восприятия, что, впрочем, не умаляет новизны оригинальности полученного результата. Ну я не знаю, на это наверно не надо отвечать.

Соискатель Лосев А.А.: Замечание принимается.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Пятое. Для большей очевидности, что пучок был ускорен в ускорителе И-4, не хватает измерений до поворота анализирующим магнитом. Ну тут единственный вопрос, что это вообще в будущем планируется?

Соискатель Лосев А.А.: Планируется.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: И шестое. Но на шестое тоже думаю, что не нужен ответ. Некоторые графики, на которых изображены порталы токи ионов распределения по энергии слишком перегружены. Возможно, стоило оставить на них только те зарядные состояния, которые пригодны для дальнейшего ускорения.

Соискатель Лосев А.А.: Принимается.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Вывод я прочитал, что данные замечания не являются критическими, не снижают ценность полученных результатов, и не влияют на общую оценку.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Все ответы на замечания прозвучали. Дальше двигаемся по протоколу. Сейчас мы переходим к отзыву официального оппонента, доктора физико-математических наук, Зеленского Анатолия Николаевича. Анатолий Николаевич, Вас просим.

Официальный оппонент д.ф.-м.н. Зеленский А.Н.: Краткое введение. В настоящее время на ускорителях применяются три метода получения многозарядных ионов: это электронно-

лучевой метод, метод получения в электронно-циклотронном разряде высокой частоты и лазерно-плазменный метод. Они имеют каждый свои области применения, длительность импульсов, скважность и прочее. Важной особенностью лазерно-плазменного метода является возможность быстрого изменения используемых пучков, переход с одного элемента на другой. Для некоторых применений это очень важно. В Брукхейвене они очень часто меняют ионы, потому что для исследований микросхем там нужны ионы различных элементов. Вот именно лазерно-плазменный метод позволяет это сделать. Здесь нужно отметить, что лазерно-плазменный метод был впервые предложен и изобретен у нас, в нашей стране, и он успешно пробивается. Я так понимаю, что работа Лосева продолжает эту славную традицию. В нашей стране эти источники представлены хорошо. Впервые это метод был применен в Дубне, и до сих пор источник лазерный там работает. Лазерно-плазменный источник работает здесь у вас ИФВЭ. И в ИТЭФе продолжается работа в этом направлении. Не буду повторять. Работа была доложена на семинаре в МФТИ. Видно, что автор профессионально квалифицированный специалист в этой области. Мне лично импонирует, как я увидел из семинара и доклада, его участие и вклад на всех этапах работы:

- в настройке лазера, лазерной смеси, стабилизации работы лазера, работа по блоку питания для стабилизации, исследования плазмы, диагностика плазмы. Все это сделано на хорошем уровне;
- формирование пучка из плазмы сеточной системой;
- показал себя специалистам в области численного моделирования процессов, которые происходят в плазме, что является немаловажным достоинством этой работы.

Очень важно, что виден потенциал, который заложен в его работе. Создана, как говорится, база для будущего развития. И я надеюсь, что эти работы получат свое продолжение как для применения для прикладных целей, так и для фундаментальных исследований для разработки источников ионов высокой зарядности.

Я должен проговорить свои замечания. Сразу перейду к замечаниям. Имеется несколько замечаний, которые, скорее, пожелания.

- В частности, что во введении нужно более подробно раскрыть положение источника с лазерно-плазменной генерацией по отношению к электронно-лучевым и ЭЦР источникам.
- Конкретное замечание. Я сам работал с этими установками, когда измеряется вклад ионов различных зарядностей. Когда мы измеряем их с помощью Faraday cup, конечно, могут быть различные чувствительности при вторичной ионизации. Я обычно применяю одночастичный способ регистрации, когда считаешь отдельные ионы, наверное, можно будет детально посмотреть вклад отдельных ионов. Тут был уже вопрос о стабильности работы. Для ускорителей серьезных, которые работают месяцами непрерывно, 24 часа 7 дней в неделю, конечно, важна длительность работы. Я вижу, что у CO_2 -лазера есть вопрос регенерации газа, но, в принципе, это техническая проблема, которая решается. В отличие, скажем, от твердотельного лазера, например, по опыту работы в Дубне. Там в течение сеанса один лазер сгорел — заменили, поставили второй лазер — тоже сгорел. Поэтому там есть некоторые вопросы по долговременной работе. Тем более, если планируется применять для медицинских целей. Для медицины не может быть ситуации, если пациент сидит в кресле, а нет пучка. Это должна быть абсолютно надежно работающая система. И над этим вам предстоит еще поработать, но я вижу, что вы понимаете эти задачи. И, конечно, интересны, действительно, такие экстремальные применения лазерного метода. В Брукхейвене работают в этом направлении над получением максимальной зарядности. То, над чем ваши коллеги работали для лазерно-плазменного источника в ЦЕРНе, где он рассматривался как основной источник для ЛНС. Но в конечном счете взяли ЭЦР и используют более сложную схему, хотя поставленные задачи почти были выполнены.

- И вот то, что вы планируете на установке «Фокус» - получение высокой зарядности? Вопрос зарядности в Дубне - можно ли получить зарядность 37 для висмута?

Эти вопросы надо держать в уме для наиболее интересных применений лазерно-плазменного источника. Сразу скажу, что эти замечания не влияют на мое впечатление и оценку этой работы. Я считаю, что она вполне удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются к диссертациям. Автор заслуживает присуждения степени кандидата наук. Спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Будешь комментировать?

Соискатель Лосев А.А. Первое замечание принимается. В обзор стоило добавить сравнение с другими типами источников. По второму замечанию, в разработанной методике диагностики плазмы учитывается коэффициент вторичной электронной эмиссии для ВЭУ. Он взят из литературы. По поводу генерации более многозарядных ионов висмута. Мы планируем работы в этом направлении. По поводу длительности работы. Была показана генерация ионов висмута Bi^{27+} в требуемом количестве, и сейчас первоочередной задачей является удлинение непрерывной работы лазерной установки, которая и ограничивает ресурс работы всего источника.

Официальный оппонент д.ф.-м.н. Зеленский А.Н. И еще один момент. У меня вчера была интересная экскурсия на И100, где стоит лазерный источник углерода. Есть конкретный вопрос. Для И100 задача поставлена, нужна высокая зарядность — пятизарядный углерод. И там было определено, что высокую зарядность можно получить только при извлечении ионов с одной точки в течение достаточно длительного времени, углубления и получения кратера.

И вот физика этого процесса, мне кажется, не совсем понятна. Вот с вашей точки зрения, с чем связано это наблюдение, что максимальная зарядность растет с увеличением количества импульсов, извлекаемых с одной точки катода?

Соискатель Лосев А.А. Хороший вопрос. Во-первых, мы считаем, что нужно сдвигать и стрелять каждый раз в новую точку для воспроизводимости от импульса к импульсу. А по поводу того, как можно было бы объяснить повышение количества более высокозарядного углерода, я считаю, что это может быть связано с тем, что мишень, ее поверхность, немножко отдалается от фокальной плоскости. И в диссертации было показано, что наилучшее количество ионов, требуемых нам, возникает не в случае, когда поверхность мишени находится в фокальной плоскости, а когда несколько отстоит от нее.

Официальный оппонент д.ф.-м.н. Зеленский А.Н. Я думаю, что вам было бы очень хорошо с вашими коллегами здесь, которые работают на источнике это обсудить. У меня такое предложение.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Хорошо, спасибо.

Официальный оппонент д.ф.-м.н. Зеленский А.Н. Все, спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Хорошо, значит, мы сейчас переходим к отзыву второго официального оппонента, кандидата физико-математических наук Донца Евгения Евгеньевича.

Официальный оппонент к.ф.-м.н. Донец Е.Е. Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемые коллеги. Я прочитал диссертацию Антона Андреевича с большим интересом, что не часто бывает. Наше комьюнити людей, занимающихся ионными источниками разных типов, в нашем богохранимом отечестве очень мало, по пальцам можно пересчитать. Особенно приятно, что появляются новые люди, и квалифицированные люди. Антон Андреевич также рассказал о своей работе на семинаре в лаборатории физики высоких энергий в конце октября и его доклад вызвал положительную дискуссию. Коллеги нашей группы и я, все восприняли результаты работы Антона как нечто полезное, которое мы можем извлечь из этого. Я бы хотел его работу, кстати, разделить на две части.

- Одна, собственно, поставленная перед ним задача, какой источник должен быть сделан, какие там параметры, голы, очки, секунды и так далее. Это одно.

- Другая, это было другими отмечено, это методическая часть, которая основана на патенте, который, который входит в, собственно, диссертацию. Собственно, методика анализа плазмы, не обязательно лазерно-индуцированной. Эта методика может быть применена для совершенно других вещей, для импульсных источников ионов других типов.

И то, как соискатель все это сделал, видно, что сквозь текст проступает такая, может быть, плохо алгоритмизируемая, как сказать, это такая тонкая материя, как искусство экспериментатора. Вот что я хочу сказать. Это вот искусство экспериментатора видно из работы. Потому что можно все сделать, можно, прибор поставить, а включаешь - не работает. Вот это как раз совсем не тот случай. Это, как раз, случай, когда экспериментатор своим, кстати, видением, своим чутьем внутренним соединил много всего, много очень различных тем. Там и лазер, там и собственно плазма, там и вакуумная техника, которая была здесь не обсуждена, но она тоже важна там, и все остальное, и моделирование. Без искусства экспериментатора этого не достичь, и это говорит о квалификации Антона Андреевича.

Я не буду говорить уже дальше о содержании. Все тут было сказано. Скажу о нескольких замечаниях, которые опять же имеют характер пожеланий.

- Первое касается вывода о более интенсивном распылении материала сеток и о том, что возникающие облака в районе сетки препятствуют, рассеивают высокозарядные частицы. То есть, экспериментальный факт этого, конечно, не вызывает сомнений, но объяснение, что это только рассеяние на этих облаках, это, конечно, только гипотеза. Там ситуация наверняка гораздо более сложная, что подтверждает, что именно на висмуте, на более высокозарядном, у вас совсем другой результат. Там наверняка есть перезарядка, там есть взаимодействие высокозарядных частиц с самой сеткой. Это не то же самое, что протон с сеткой. То есть, как экспериментальный факт – это понятно. Но объяснение, и что-то извлечь из него в теории - предстоит еще подумать, поработать.

- Второе касается спектров, если можно, страницу 24 слайдов. Да, вот это. Я много спектров в своей жизни видел, но никогда не видел двугорбых спектров, надо сказать. Вот как вот здесь, где два пика 19 и 24. Вот всегда, в общем, если есть ионизация электронным ударом, есть последовательное прохождение максимумов, и такие горбы возможны, если мы через оболочку проходим, но это не те энергии. Конечно, методика позволяет вот такие тонкости выделить. Что за этим стоит? Не очень понятно. То ли это новая физика, то ли какой-то артефакт. В общем, это интересно, и просто говорит о том, что этому надо уделить внимание. Это не просто показали и прошли мимо. Тут много чего интересного может быть.

- Ну и третье. Это уже было сказано, я еще раз тоже повторю, что если вы претендуете на то, чтобы источник работал на ускорительном комплексе, то 9 часов работы – это, конечно, ни о чем. И тут вот важно понять, что может быть, в принципе, препятствием к длительной стабильной работе. Только ли лазер? То есть отдельно лазерные проблемы – это можно решить. Но, наверное, есть еще другого сорта проблемы. Это вот, собственно, вакуумное запыление всех этих материалов. То есть это комплекс вопросов, которые нужно решать, то есть нужно непрерывно работать и нарабатывать это, потому что совершенно с неожиданной стороны может проблема прийти.

Но еще раз говорю, эти замечания не умаляют достоинства, а как пожелания. И вот формальные слова. Я хочу сказать, что, на мой взгляд, диссертационная работа Лосева Антона Андреевича «Разработка и исследование лазерно-плазменного генератора многозарядных ионов для тяжелоионного инжектора И-3, И-4» на мой взгляд, отвечает требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Лосев Антон Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физмат наук по специальности 1.3.18 - Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника. Спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Антон Андреевич, будете отвечать?

Соискатель Лосев А.А.: По первому замечанию могу сказать, что разработанная методика диагностики плазмы применялась к расширяющейся плазме, образованной лазерным импульсом. Информацию о частицах, вылетающих с проволочек сетки, и механизмах взаимодействия с налетающей плазмой она дать не может. Для этого нужны другие методики.

По второму замечанию. Я могу прокомментировать эту картинку. Замечание было в том, что два максимума на 24 и на 19. Здесь одна осциллограмма сигнала ВЭУ, и если снять 10-15 раз, поставить погрешности на амплитудах этих сигналов, то в пределах погрешности, возможно, будет один какой-то максимум.

Член совета д.ф.-м.н. Каримов А.Р.: То есть артефакт?

Соискатель Лосев А.А.: Это не артефакт. Это как раз случайность образования ионов с данной энергией и данным зарядом, которые соответствуют данной энергии настройки.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Антон Андреевич, вы сейчас перечеркнули себе будущую докторскую. Понимаете, вас аккуратно подводили к тому, над чем еще поработать, и получить результат. И здесь наотмашь мы, как говорится, говорим, зачем прислушиваться, оно здесь все зарастет, и это просто статистическая флуктуация. Молодец! Лучше поблагодари оппонента, скажи, что еще раз внимательно обратишь на это внимание.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: В данный момент он видит так.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: Нет, он имеет право, конечно. Я к тому, что еще раз настойчиво рекомендую. Посмотри на это внимательно, потому что тебе очень настойчиво рекомендовали.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Еще у нас есть какие-то вопросы? Начинаем общую дискуссию уже вне контекста замечаний оппонента.

Член совета д.ф.-м.н. Егорычев В.Ю.: В рамках общей дискуссии необходимо сказать пару слов про Антона Андреевича. Я призываю членов диссертационного совета положительно отреагировать на диссертацию и проголосовать за Антона Андреевича. Я знаю его с первых шагов в ИТЭФе, когда он поступал в аспирантуру. Приятно отметить его рост от аспиранта до самостоятельно сложившегося ученого. Сегодня он нам это все продемонстрировал. Приятно отметить его целеустремленность, упорство и его человеческие качества. Поэтому я честно прошу и призываю всех членов совета голосовать «За» с открытыми глазами. Спасибо.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Интересно, влияла ли на сроки исполнения его работы другая специальность, полученная при окончании ВУЗа.

д.т.н. Кулевой Т.В.: Будучи сегодня ответственным за ускорители в ИТЭФ, я могу сказать, что не от хорошей жизни у нас люди становятся многостаночниками. И если, когда я пришел к источнику, людей, которые занимаются ускорителями был миллион. Потом, потихоньку, я сам стал заниматься ускорителем, потому что стало некому заниматься ускорителем. Антон пришел в ту ситуацию, когда у него на руках два ускорителя И-3, И-4. На все два ускорителя у меня 12 человек людей, которые должны их развивать, проводить эксперименты. Поэтому, конечно же, он пришел, занимаясь конденсированным состоянием. Ему понравились лазеры, он погрузился туда, освоил и стал разбираться в лазерных источниках. Не от хорошей жизни, но ему пришлось разбираться и в ускорителях. То, что он проделал — это та работа, которую в свое время я прошел, когда от моего источника для нашего тяжелоионника надо было разбираться. И он все это освоил, все это взял в свои руки. Причем у нас есть еще один молодой человек. Для меня молодой. Я привык, что в наше время в 25 закончился молодой, сейчас до 39, говорят. Есть еще один молодой человек, который даже немножко старше Антона, который вот как раз развивает тот источник, который имеет мощность 100 Джоулей. Но вот Антон своей дисциплинированностью, целеустремленностью, умением поставленную задачу довести до ума как раз и опередил его на этой дистанции. Подготовил работу. Сделал работу. И сегодня, когда идет обсуждение стабильности на «Малыше», все правильно было замечено. Вопрос, конечно, вылезет ли что-то еще? Источник всегда самое слабое место на ускорителе. Но с точки зрения генерации лазера, есть только одна проблема — это система регенерации. На сегодняшний день девятичасовая работа показала, что ничего не поменялось. За 9 часов стабильность пучка остается без деградации. Насколько выдержит система регенерации, как долго выдержит? Пока не было оснований считать, что она показывает уровень деградации. Вопрос насколько быстро запылятся окна — это отдельный вопрос, который действительно

требует очень длительной работы, работы на отказ. Понятное дело, в тех режимах, в которых мы есть, проводить ее просто ради того, чтобы провести, я, как руководитель, не вижу смысловой нагрузки. Потому что потом придется менять эти окна, тратить на это время, тратить на это деньги. Когда приходит заказчик, ему нужно обеспечить работу. Это вопрос выживаемости нашего подразделения.

Я, конечно, отмечая все достоинства, про которые я рассказал, про работу Антона, про него самого, призываю диссертационный совет проголосовать за утверждение его диссертационной работы.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Спасибо. Еще есть желающие выступить? Рук поднятых нет. Заключительное слово.

Соискатель Лосев А.А.: Я хочу поблагодарить членов совета за оказанное внимание, за вопросы, которые были заданы и за дискуссию. Также хочу поблагодарить своего научного руководителя, который потратил много времени на научное руководство мной. Хочу поблагодарить Тимура Вячеславовича Кулевого, который включился на финальном этапе работы над диссертацией и особенно помог мне отработать выступление с презентацией. Также хочется поблагодарить оппонентов, которые пригласили меня на выступления в своих организациях. Там тоже я получил много интересных отзывов. У меня все.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В.: Хорошо. Коллеги, нам выбрать надо счетную комиссию из состава членов совета. Предлагается в состав комиссии включить Васильева Александра Николаевича, Козуба Сергея Сергеевича и Образцова Владимира Фёдоровича. Согласны? Голосуем открыто. Комиссия утверждается единогласно.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В.: Переходим к голосованию. Уважаемые коллеги, у меня для вас просьба. Давайте мы сегодня проголосуем двумя способами. Первый способ стандартный – голосуют только те, кто участвует в Совете очно – 9 человек, достаточно для кворума. Поэтому я счетной комиссии передаю бюллетени, чтобы приступила к работе. Сергей Сергеевич, как зампредседателя Дис. Совета, возьмите и раздайте бюллетени, пожалуйста. А второе, когда проголосуете, просьба подойти к моему компьютеру, мы опробуем дистанционный способ, чтобы на следующем Совете можно было проводить голосование дистанционно. Сергей Маркович, Юрий Валерьевич, вы тоже приступайте к дистанционному голосованию.

Все, кроме членов совета, покидают зал. Происходит процесс голосования.

Председатель счетной комиссии д.ф.-м.н. Козуб С.С. Минуточку внимания. Протокол номер 1-25 заседания счетной комиссии, избранной диссертационным советом при НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ от 20.11.2025. Состав избранной комиссии: председатель Козуб, члены Образцов и Васильев. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Лосева Антона Андреевича на соискание ученой степени кандидата физмат наук. Присутствовало на заседании очно 9 членов совета из них докторов наук по профилю - 9. Роздано бюллетеней 9, осталось не розданных 2, оказалось в урне 9. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук. Самое главное, «За» — 9, «Против» — 0, недействительных бюллетеней — 0. Председатель счетной комиссии Козуб. Теперь нужно утвердить протокол.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В. Утверждаем. Открытым голосованием. Проводится голосование – Протокол утвержден единогласно.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Сейчас нам надо обсудить и принять Заключение.

Ученый секретарь совета д.ф.-м.н. Мочалов В.В. Вас был разослан проект Заключения. поступили несколько мелких замечаний, которые были учтены. Если других замечаний нет, то предлагаю голосовать открытым голосованием за текст заключения.

Проводится голосование – Протокол утвержден единогласно.

Председатель совета д.ф.-м.н. Иванов С.В. Повестка дня исчерпана. Заседание закрыто. Поздравляем Антона Андреевича с присуждением степени.

Председатель диссертационного совета



Иванов С.В.

Ученый секретарь диссертационного совета

Мочалов В.В.