

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 марта 2024 г № 62

О присуждении Родионову Андрею Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Жесткое рентгеновское излучение в мегавольтном атмосферном разряде» по специальности 1.3.6 — Оптика принята к защите 25 декабря 2023 года, (протокол заседания № 57) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Родионов Андрей Александрович, 23 ноября 1991 года рождения, в 2015 году с отличием окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) по направлению «Прикладные математика и физика». С 2015 года обучался в аспирантуре МФТИ по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2019 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана МФТИ в 2023 году. С 2013 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности

высококвалифицированного младшего научного сотрудника в Отделе физики высоких плотностей энергии Отделения ядерной физики и астрофизики.

Диссертационная работа А. А. Родионова выполнена в Отделе высоких плотностей энергии Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН.

Научный руководитель: Огинов Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, специалист в области физики импульсных газовых разрядов, работает в должности высококвалифицированного ведущего научного сотрудника Отдела физики высоких плотностей энергии Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН.

Официальные оппоненты:

1. Василяк Леонид Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории №2.3. - плазмы отдела №2. - электрофизических и плазменных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН);
2. Лоза Олег Тимофеевич, доктор физико-математических наук, профессор, научный сотрудник Акционерного общества Научно-технологического центра "ПЛАЗМАИОФАН"

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"», город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук Казаковым Евгением Давидовичем, заместителем руководителя Отделения плазменных технологий Курчатовского комплекса ядерных транспортных энергетических технологий, кандидатом физико-математических наук Краузом Вячеславом Ивановичем, начальником лаборатории быстрых процессов Отдела Т-15 Отделения токамаков Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий, кандидатом технических наук Устиновым Василием Сергеевичем,

председателем НТС Курчатовского комплекса ядерных транспортных энергетических технологий НИЦ «Курчатовский институт», кандидатом технических наук Волковым Александром Николаевичем, заместителем руководителя Курчатовского комплекса ядерных транспортных энергетических технологий, ученым секретарем НИЦ «Курчатовский институт», и утвержденном доктором физико-математических наук Дьяковой Юлией Алексеевной, первым заместителем директора по науке НИЦ «Курчатовский институт», указала, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук специальности 1.3.6 – Оптика.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликована 21 работа, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 6 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем А. А. Родионовым работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Agafonov A. V., Bogachenkov V. A., Chubenko A. P., Oginov A. V., Rodionov A. A., Rusetskiy A. S., Ryabov V. A., Shepetov A. L. and Shpakov K. V., Observation of hard radiations in a laboratory atmospheric high-voltage discharge //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2017. – Т. 50. – №. 16. – С. 165202.
2. Родионов А. А., Огинов А. В., Шпаков К. В. Сцинтилляционные детекторы повышенной чувствительности и временного разрешения на основе ФЭУ для исследования измерений в условиях сильных

электромагнитных помех //Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2018. – Т. 82. – №. 4. – С. 463-467.

3. Agafonov A.V., Oginov A.V., Rodionov A.A., Ryabov V.A. and Shpakov K.V., Anisotropy in hard bremsstrahlung from a high-voltage laboratory simulation of an atmospheric discharge //Plasma Sources Science and Technology. – 2019. – Т. 28. – №. 9. – С. 095014.

4. Родионов А. А., Агафонов А. В., Рябов В. А., Шпаков К. В., Байдин И. С., Болотов Я. К., Медведев М. А., Паркевич Е. В., Мозговой А. Г., Огинов А. В., Исследование областей генерации жестких ионизирующих излучений в атмосферном разряде //Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2022. – Т. 116. – №. 4. – С. 225-232.

5. Родионов А. А., Агафонов А. В., Рябов В. А., Шпаков К. В., Байдин И. С., Болотов Я. К., Медведев М. А., Паркевич Е. В., Мозговой А. Г., Огинов А. В. Временные параметры ионизирующего излучения анодной и катодной локализации в мегавольтном разряде //Краткие сообщения по физике Физического института им. П. Н. Лебедева Российской Академии Наук. – 2022. – Т. 49. – №. 7. – С. 38-49.

6. Parkevich E.V., Shpakov K.V., Baidin I.S., Rodionov A.A., Khirianova A.I., Khirianov T.F., Bolotov Ya.K., Medvedev M.A., Ryabov V.A., Kurilenkov Yu.K., and Oginov A.V., Streamer formation processes trigger intense x-ray and high-frequency radio emissions in a high-voltage discharge //Physical Review E. – 2022. – Т. 105. – №. 5. – С. L053201.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области физики импульсных разрядов, физики плазмы и физики рентгеновского излучения, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования в области физики плазмы, физики газовых и вакуумных разрядов, ядерной физики и энергетики.

Диссертация Родионова А. А. посвящена экспериментальному исследованию энергетических, временных и пространственных характеристик рентгеновского излучения мегавольтного атмосферного разряда.

Актуальность темы диссертации подтверждается значительной востребованностью в настоящее время новых способов генерации рентгеновского излучения, а также развития физики и техники высоких напряжений для разработки новых устройств сильноточной электроники.

В настоящее время привлекают большой интерес исследования и разработки в области спектроскопии плазменных сред, в том числе изучение физических процессов, связанных с атмосферными разрядами протяженностью от десятков сантиметров и более. Мегавольтный атмосферный разряд всегда сопровождается генерацией рентгеновского излучения, которое имеет сложный многокомпонентный характер, механизмы которого до сих пор до конца не ясны. Одним из основных источников рентгеновского излучения является тормозное излучение быстрых электронов. Измерения характеристик такого излучения могут быть использованы для изучения энергетических параметров электронов на различных этапах разряда с высоким временным разрешением, что важно для понимания механизмов пробоя. Помимо этого, атмосферные разряды протяженностью от десятков сантиметров и более могут служить перспективной лабораторной моделью для исследования важных процессов, связанных с натурными молниями, которые до сих пор мало изучены.

Практическое значение проводимых исследований состоит в том, что они необходимы для разработки новых энергоэффективных источников рентгеновского излучения, основанных как на новых физических принципах, так и на использовании тормозного излучения электронов. Также исследования способны привести к разработке высокоэффективных систем электропитания и передачи электроэнергии на большие расстояния, созданию молниезащитных систем, разработке новых ускорительных устройств и их ключевых

коммутационных разрядных узлов, а также к получению электромагнитных полей высоких амплитуд и другим применениям.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Рассмотрены анизотропные свойства рентгеновского излучения, возникающего в результате мегавольтного атмосферного лабораторного разряда. Проведенные измерения с угловым разрешением 10° позволили установить связь между угловыми характеристиками рентгеновского излучения разряда и энергией его квантов. Показано, что диаграмма направленности рентгеновского излучения в общем случае, имеет несколько максимумов при различных значениях угла.

Обнаружено два типа рентгеновского излучения: с широкой (от $\sim 40^\circ$ до $\sim 150^\circ$) и узкой ($\sim 10^\circ$) угловой направленностью. Излучение с широкой угловой направленностью обладает энергией квантов менее 300 кэВ, в то время как излучение с узкой угловой направленностью имеет энергию квантов более 300 кэВ.

2. Исследовано распределение интенсивности рентгеновского излучения, происходящего от мегавольтного атмосферного лабораторного разряда, в различных его пространственных зонах - прианодной, прикатодной и межэлектродной. Проведены измерения с пространственным разрешением в 12 см. Установлено, что наиболее интенсивное рентгеновское излучение наблюдается в области анода в момент, когда напряжение, подаваемое на разряд, достигает максимума. Полученные характеристики излучения из прианодной области свидетельствуют о его тормозной природе.
3. Обнаружено рентгеновское излучение, исходящее из прикатодной области. Пиковая интенсивность излучения этого источника превышает аналогичную для рентгеновского излучения, генерируемого в газовом промежутке. Начало излучения из области катода происходит на ~ 140 нс

позже, чем начало излучения из области анода, и соответствует спаду напряжения разрядного промежутка.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Новизна обусловлена тем, что:

- Впервые определены спектральные и пространственно-временные характеристики рентгеновского излучения мегавольтного атмосферного лабораторного разряда.

- Впервые обнаружено рентгеновское излучение, исходящее из прикатодной области разряда. Интенсивность этого излучения достигает максимума и превышает интенсивность рентгеновского излучения из межэлектродной области. Генерация излучения начинается после достижения максимального значения приложенного напряжения и наблюдается в момент его снижения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что автором разработан и построен новый измерительный комплекс для измерения широкого набора энергетических, пространственных и временных параметров рентгеновского излучения, возникающего в атмосферном мегавольтном разряде. Измерительная система обладает уникальным, недостижимым ранее набором параметров: угловым разрешением 10° , пространственным - ~ 12 см и временным - 3 нс. Система позволяет делать оценки энергии квантов рентгеновского излучения и работать в условиях сильных электромагнитных наводок от импульсного высоковольтного разряда. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых устройств высоковольтной электроники, диагностики параметров плазменных сред и др.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к использованию в научных организациях, занимающихся исследованиями и применениями импульсных высоковольтных разрядов и рентгеновского излучения: Институте высоковольтной электроники СО РАН, Томском политехническом университете,

Институте электрофизики УрО РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Государственном научном центре Российской Федерации Троицком институте инновационных и термоядерных исследований, Российском федеральном ядерном центре Всероссийском научно-исследовательском институте экспериментальной физики, Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт", Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН), Российском федеральном ядерном центре - Всероссийском научно-исследовательском институте технической физики и других.

Достоверность результатов работы подтверждается согласием данных, полученных в ходе различных экспериментов, их воспроизводимостью, использованием современного оборудования и актуальных методов статистической обработки результатов измерений. Справедливость ряда представленных в диссертации результатов подтверждается их согласием с данными, полученными другими авторами.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Родионова А. А., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор лично принимал непосредственное участие в выборе объектов исследования, постановке задач, методики проведения экспериментов, обсуждении и публикации полученных результатов. Сборка, и наладка всех используемых экспериментальных установок и их частей, разработка и сборка диагностических устройств эксперимента, все измерения и обработка полученных данных также выполнены лично автором.

Автором были разработаны и созданы новые измерительные системы с рекордными параметрами, стойкие к сильным электромагнитным помехам (в частности, комплекс сцинтилляционной диагностики с использованием свинцовых коллиматоров, сцинтилляционных детекторов и фильтров ступенчатого ослабления, позволяющий измерять угловое, пространственное и временное распределение интенсивности рентгеновского излучения мегавольтного атмосферного разряда с возможностью оценки энергии

испускаемых квантов). Также, автором получены новые данные о рентгеновском излучении атмосферного мегавольтного разряда. Это позволит создать полезные приборы для диагностики атмосферного электричества на основе рентгеновского излучения. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Родионов А. А. аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 18 марта 2024 года диссертационный совет принял решение присудить А. А. Родионову учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи по установлению спектральных, пространственных и временных характеристик рентгеновского излучения в лабораторном атмосферном разряде метрового пространственного масштаба при приложенном напряжении на уровне 1 МВ.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человека, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.6 — Оптика), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 21,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотко Александр Степанович

18 марта 2024 г.