

Отзыв

официального оппонента доктора физико-математических наук Андреева Степана Николаевича на диссертационную работу Байдина Ивана Сергеевича «Генерация высокочастотного радиоизлучения в начальной фазе высоковольтного протяженного искрового разряда в воздухе», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертационная работа Байдина Ивана Сергеевича «Генерация высокочастотного радиоизлучения в начальной фазе высоковольтного протяженного искрового разряда в воздухе» посвящена экспериментальному изучению основных характеристик всплесков СВЧ радиоизлучения, регистрируемых в предпробойной фазе высоковольтного атмосферного разряда в лабораторных условиях, а также обработке и анализу полученных экспериментальных данных.

Протяженные атмосферные разряды являются достаточно распространённым природным явлением. Они протекают в различных условиях и могут существенным образом влиять на работу различной аппаратуры и оборудования. В настоящее время механизмы протяженных атмосферных разрядов изучены недостаточно. Понимание процессов, происходящих в таких разрядах, позволит повысить электромагнитную совместимость устройств и, таким образом, повысить безопасность людей в различных условиях. Поэтому, исследования протяженных атмосферных разрядов, описанные в диссертации, актуальны и имеют практический интерес.

Контактные методы диагностики плазмы не применимы при изучении процессов, протекающих в высоковольтных разрядах. Поэтому наиболее информативным методом исследований представляется анализ плазменных процессов по излучению. Радиоизлучение несет в себе информацию о быстропротекающих токовых процессах в плазме, происходящих на наносекундных масштабах времени. При этом источник радиоизлучения может быть локализован как в пространстве, так и во времени. В связи с этим, используемый в диссертации метод экспериментального исследования высоковольтных атмосферных разрядов по радиоизлучению представляется вполне обоснованным.

Диссертация Байдина И. С. состоит из введения, четырех глав и заключения, а также списка литературы, содержащего 50 ссылок на публикации. Общий объем диссертации – 92 страницы, включая 39 рисунков, 3 таблицы.

Во введении автором сформулирована цель и задачи диссертационной работы обоснована актуальность проведенных исследований, а также научная новизна и практическая значимость. Приводятся положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, аргументируются достоверность и обоснованность результатов, представлены сведения об апробации работы и приводится список публикаций автора.

В первой главе диссертации автор приводит литературный обзор по механизмам высоковольтного электрического пробоя в атмосфере, а так же высокочастотному радиоизлучению от таких разрядов и связи его характеристик с параметрами самого разряда.

Во второй главе подробно описаны характеристики разработанной сверхширокополосной антенны для исследования параметров высокочастотного радиоизлучения, генерируемого высоковольтным искровым разрядом. Антенны были спроектированы, изготовлены и протестированы на лабораторном стенде, где было обнаружено, что они подходят для регистрации и исследования характеристик высокочастотного радиоизлучения, наблюдаемого в начальной, предпробойной стадии развития искрового разряда. Экспериментально было показано, что высокочастотное радиоизлучение имеет различные характеристики на разных стадиях развития искрового пробоя разрядного промежутка. Наиболее высокочастотная часть спектра радиоизлучения приходится на стадию, в течение которой напряжение в разрядном промежутке достигает своих максимальных значений.

В третьей главе изложена техника и методика экспериментов: описан генератор импульсного напряжения, системы диагностики импульсов тока и напряжения и разработанный автором диагностический комплекс для измерений высокочастотного радиоизлучения на основе многоканальной системы сверхширокополосных антенн, с высокой точностью синхронизированных по времени с приборами измерения тока и напряжения. Обнаружено, что высокочастотное радиоизлучение атмосферного разряда с межэлектродным расстоянием порядка 1 м при максимальном приложенном напряжении 1 МВольт и временем его нарастания 200 нс обладает наибольшей

интенсивностью в конфигурации электродов «обратно-конический катод с остриём — сетчатый анод». Приведены результаты локализации источников радиоизлучения в мегавольтном атмосферном разряде, выполненные при помощи четырёх сверхширокополосных антенн. Погрешность измерения пространственных параметров источников высокочастотного радиоизлучения составляла не более 12 см, что для межэлектродных расстояний порядка 1 м достигнуто впервые. При этом для калибровки системы регистрации был использован оригинальный метод. Автор впервые определил, что изучение имеет стохастическую природу и локализуется в прикатодной области разрядного промежутка. Механизм возникновения данного излучения остаётся не до конца понятным, представляя собой задачу для будущих исследований.

В четвертой главе исследуются частотные характеристики радиоизлучения на различных стадиях развития электрического пробоя разрядного промежутка. Исследование ведется в двух полосах частот с помощью двух различных типов сверхширокополосных антенн работающих в полосе частот от 5 до 1080 МГц и от 1 до 6 ГГц. Экспериментально показано, что радиоизлучение генерируется в виде серий коротких всплесков длительностью от сотен пикосекунд до нескольких наносекунд, причём большинство всплесков характеризуются частотами от 1 до 5 ГГц, а максимальные значения интенсивности достигаются на частотах 1–2.5 ГГц. Автором отмечается корреляция особенностей генерации всплесков ВЧ и СВЧ излучения.

В Заключение приведены основные научные результаты и выводы.

Основные результаты диссертационной работы, определяющие её новизну и научную значимость:

1. Разработан и применен метод регистрации всплесков СВЧ излучения высоковольтного атмосферного лабораторного разряда с помощью комплекса сверхширокополосных антенн.
2. Показано, что СВЧ излучение в разряде генерируется в виде коротких всплесков, причем на разных стадиях развития разряда излучение имеет различные характеристики.
3. С сантиметровой точностью локализована область разрядного промежутка, в которой начинается генерация СВЧ излучения.

4. Показаны спектральные характеристики СВЧ излучения и их эволюция в процессе развития электрического разряда.

Научные положения, выносимые на защиту, а также выводы, сформулированные в диссертации, достоверны и обоснованы. В работе представлены экспериментальные результаты, хорошо согласующиеся с предлагаемыми моделями. Экспериментальные данные получены на современном сертифицированном научном оборудовании. Проанализированы результаты диагностики нескольких сотен высоковольтных разрядов, на основе которых можно сделать вывод, что полученные результаты устойчиво воспроизводятся.

По содержанию диссертации могут быть сделаны следующие замечания:

1. Англоязычные надписи на большинстве рисунков следовало бы перевести на русский язык.

2. В четвертой главе на рисунке 4.2 во вставках 1 и 2 используется термин «спектральная мощность», что в данном контексте не является уместным.

3. По тексту диссертации не до конца понятно, чем обусловлена необходимость разработки и изготовления антенны Вивальди для диапазона частот 1,6–9,7 ГГц, а не использование коммерчески доступных образцов? В чем состоит новизна подобной разработки?

4. В тексте диссертации достаточно подробно рассмотрены механизмы генерации СВЧ излучения при лобовом столкновении стримеров или при воздействии стримера на прикатодную плазму на поверхности металла электрода, не объясняются закономерности, обнаруженные в эксперименте даже на качественном уровне.

Сделанные замечания не влияют на основные результаты и выводы диссертации, а также на высокий уровень научного исследования.

Полученные результаты многократно докладывались на ведущих международных и российских научных конференциях по радиофизике, физике плазмы и физике газового разряда и опубликованы в 10 сборниках трудов конференций. Результаты диссертационной работы опубликованы в 8 статьях в отечественных и зарубежных научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ и базу данных Web of Science, а также в одной главе в коллективной монографии.

Заключение

На основании полученных диссертантом результатов, сделанных выводов и выдвинутых научных положений следует считать, что поставленная цель исследований успешно достигнута. Диссертационная работа Байдина Ивана Сергеевича выполнена на высоком научном уровне, в ней получены новые результаты, имеющие научную и практическую значимость. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Полученные результаты опубликованы в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ и базу данных Web of Science. Текст диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат правильно отражает основные результаты диссертации.

Диссертация Байдина Ивана Сергеевича «Генерация высокочастотного радиоизлучения в начальной фазе высоковольтного протяженного искрового разряда в воздухе» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Байдин Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Отзыв составил:

Доктор физико-математических наук, Андреев Степан Николаевич, начальник отдела радиофотоники научно-технического центра телекоммуникаций федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» («МФТИ, Физтех»)

Андреев Степан Николаевич

«26» марта 2025 г.

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Научный переулок, д. 4, к.1.
телефон: +7(498) 744-66-17. email: andreev.sn@mipt.ru

Подпись начальника отдела Радиофотоники МФТИ Физтех, д.ф.-м.н. Андреева С.Н. заверяю:

Ученый секретарь ученого совета

Евсеев Е.Г.



Список основных публикаций официального оппонента Андреева С.Н. по теме диссертации Байдина Ивана Сергеевича в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Андреев С.Н., Матафонов А.П., Тараканов В.П., Беляев В.С., Кедров А.Ю., Крайнов В.П., Муханов С.А., Лобанов А.В. Численное моделирование процессов ускорения быстрых протонов и инициирования ядерных реакций $^{11}\text{B}(\text{p},3\alpha)$ и $^{11}\text{B}(\text{p},\text{n})^{11}\text{C}$ при интенсивностях пикосекундного лазерного излучения в диапазоне 1018 – 1019 Вт/см² // Ядерная физика – 2023. – Т. 86(4). – С. 495-505. DOI: 10.31857/S0044002723040037
2. Elizaveta Kozhina, Sergey Bedin, Alexander Martynov, Stepan Andreev, Alexey Piryazev, Yuri Grigoriev, Yulia Gorbunova, and Andrey Naumov. Ultrasensitive Optical Fingerprinting of Biorelevant Molecules by Means of SERS-Mapping on Nanostructured Metasurfaces // Biosensors. – 2023. – Vol. 13. – P. 46. DOI: 10.3390/bios13010046
3. Sergej V. Belov, Yury K. Danilevko, Roman Y. Pishchalnikov, Sergey V. Gudkov, Alexej V. Egorov, Vladimir I. Lukanin, Vladimir A. Sidorov, Vladimir B. Tsvetkov, Stanislav K. Ali, Sergey V. Kondrashev, Evgeny G. Rotanov, Andrei V. Shakhovskoy, Stepan N. Andreev, Evgeny A. Bezrukov, Petr V. Glybochko. In vitro renal calculi destruction by a high-frequency glow discharge plasma // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – P. 12637. DOI: 10.1038/s41598-022-16702-5
4. Андреев С.Н., Тараканов В.П. Квазинейтральность протонного пучка, ускоренного релятивистским лазерным импульсом // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 4(399). – С. 326-329. DOI: 10.15372/AOO20220413
5. Alena Shumskaya, Elizaveta Kozhina, Sergey Bedin, Stepan Andreev, Ekaterina Kulesh, Alexander Rogachev, Maxim Yarmolenko, Ilya Korolkov, Artem Kozlovskiy, Maksim Zdorovets, Viktor Belyaev, Valeriya Rodionova, Larissa Panina. Detection of Polynitro Compounds at Low Concentrations by SERS Using Ni@Au Nanotubes // Chemosensors. – 2022. – Vol. 10. – P. 306. DOI: 10.3390/chemosensors10080306
6. Андреев С.Н., Беляев В.С., Матафонов А.П., Тараканов В.П., Загреев Б.В., Крайнов В.П., Муханов С.А., Лобанов А.В. Численное моделирование выхода ядерных реакций $^{11}\text{B}(\text{p},3\alpha)$ и $^{11}\text{B}(\text{p},\text{n})^{11}\text{C}$, иницируемых мощным пикосекундным лазерным излучением // Журнал экспериментальной и теоретической физики – 2022. – Т. 162(1). – Р. 34-44. DOI: 10.31857/S00444451022070045
7. Кожина Е.П., Андреев С.Н., Тараканов В.П., Бедин С.А., Долуденко И.М., Наумов А.В. Исследование локальных полей дендритных наноструктур в горячих точках на подложках для гигантского комбинационного рассеяния, изготовленных методом шаблонного синтеза // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84(12). – С. 1725-1728. DOI: 10.31857/S0367676520120200
8. Кожина Е.П., Аржанов А.И., Каримуллин К.Р., Бедин С.А., Андреев С.Н., Наумов А.В. Контроль распределения раствора на развитой метаповерхности методами эпи-люминесцентной микроскопии // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2021. – Т. 85(12). – С. 1746-1753. DOI: 10.31857/S0367676521120164
9. Elizaveta P. Kozhina, Sergey A. Bedin, Natalia L. Nechaeva, Sergey N. Podoynitsyn, Vladimir P. Tarakanov, Stepan N. Andreev, Yuriy V. Grigoriev, and Andrey V. Naumov. Ag-Nanowire Bundles with Gap Hot Spots Synthesized in Track-Etched Membranes as

- Effective SERS-Substrates // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11. – P. 1375. DOI: 10.3390/app11041375
10. Andreev S. N., Kurilenkov Y. K., Oginov A. V. Fully Electromagnetic Code KARAT Applied to the Problem of Aneutronic Proton–Boron Fusion //Mathematics. – 2023. – T. 11. – №. 18. – C. 4009. DOI: 10.3390/math11184009
11. Kurilenkov Y. K., Andreev S. N. On Scaling of Proton-Boron Fusion Power in a Nanosecond Vacuum Discharge //Frontiers in Physics. – 2024. – T. 12. – C. 1440040. DOI: 10.3389/fphy.2024.1440040