Российская академия наук
Отделение энергетики, машиностроения,
механики и процессов управления

Научный совет Российской академии наук по физике низкотемпературной плазмы

ОТЧЕТ
Научного совета за 2019 год

Председатель Научного совета РАНпо
физике низкотемпературной плазмы
академик ***В.Е. Фортов***

МОСКВА 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАДАЧИ Научного совета РАН по комплексной проблеме «Физика низкотемпературной плазмы» 3

ИНФОРМАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА 3

СТРУКТУРА Научного совета РАН по комплексной проблеме «Физика низкотемпературной плазмы» 4

МЕРОПРИЯТИЯ СОВЕТА....8

ПРОТОКОЛ №3 заседания Научного совета от 11 декабря 2019 г. 9

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2019 г. 13

Валенсийский политехнический университет (Испания)....13

Государственная корпорация по атомной энергии “Росатом” 14

Дагестанский государственный университет 15

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХСРАН) 16

Объединенный Институт Высоких Температур РАН (ОИВТ РАН) 17

Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ) 22

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) 25

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) 28

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН (ИПМ им. М.В.Келдыша РАН) 29

ЗАДАЧИ
Научного совета РАН по физике низкотемпературной плазмы

- Координация работ в области физики, техники и применений низкотемпературной плазмы.
- Организация и поддержка научных мероприятий в области физики, техники и применений низкотемпературной плазмы.
- Информационное обеспечение специалистов в области физики, техники и применений низкотемпературной плазмы.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА

Одним из важных направлений деятельности Научного совета РАН по физике низкотемпературной плазмы является информационное обеспечение специалистов, работающих в области физики, техники и применения низкотемпературной плазмы. Специалисты в области физики, техники и применения низкотемпературной плазмы информируются по электронной почте о международных и российских мероприятиях в этой области. С 2018 года работает и обновляется сайт Научного совета: http://www.ihed.ras.ru/council/

СТРУКТУРА
Научного совета РАН по физике низкотемпературной плазмы

СОСТАВ СОВЕТА

Председатель Совета	академик РАН, ОИВТ РАН	**Фортов Владимир Евгеньевич**
1-й заместитель Председателя Совета	академик РАН, ОИВТ РАН	**Сон Эдуард Евгеньевич**
Заместитель Председателя Совета	д.ф.-м.н., ИНХС РАН	**Лебедев Юрий Анатольевич**
Заместитель Председателя Совета	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН	**Воробьев Владимир Сергеевич**
Ученый секретарь Научного совета	к.ф.-м.н., ОИВТ РАН	**Гаджиев Махач Хайрудинович**

БЮРО СОВЕТА

1.	**Акишев Юрий Семенович**	д.ф.-м.н., Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ)
2.	**Зеленый Лев Матвеевич**	д.ф.-м.н., академик РАН, Институт космических исследований (ИКИ РАН)
3.	**Ильгисонис Виктор Игоревич**	д.ф.-м.н., Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (Росатом)
4.	**Иосилевский Игорь Львович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
5.	**Кашапов Наиль Фаикович**	д.т.н., Казанский федеральный университет (КФУ)
6.	**Литвак Александр Григорьевич**	д.ф.-м.н. академик РАН, Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН)
7.	**Месяц Геннадий Андреевич**	д.ф.-м.н. академик РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН)
8.	**Минцев Виктор Борисович**	д.ф.-м.н., чл.-корр РАН, Институт химической физики им. Н.Н. Семенова (ИХФ РАН)
9.	**Петров Олег Федорович**	д.ф.-м.н. академик РАН, Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
10.	**Смирнов Валентин Пантелеймонович**	д.ф.-м.н., академик РАН, Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (Росатом)

11.	**Шарков Борис Юрьевич**	д.ф.-м.н., академик РАН, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ РАН)

ЧЛЕНЫ СОВЕТА

1.	**Александров Николай Леонидович**	д.ф.-м.н., Московский физико-технический институт (МФТИ)
2.	**Амиров Равиль Хабибулович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
3.	**Андреев Николай Евгеньевич**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
4.	**Асташинский Валентин Миронович**	д.ф.-м.н., чл.-корр. НАН Беларусии, Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси (ИТМО НАН)
5.	**Ашурбеков Назир Ашурбекович**	д.ф.-м.н., Дагестанский государственный университет (ДГУ)
6.	**Бабаева Наталья Юрьевна**	к.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
7.	**Битюрин Валентин Анатольевич**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
8.	**Бочаров Алексей Николаевич**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
9.	**Василяк Леонид Михайлович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
10.	**Гавриков Андрей Владимирович**	к.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
11.	**Голубев Александр Александрович**	д.ф.-м.н., Институт теоретической и экспериментальной физики имени А. И. Алиханова (ИТЭФ)
12.	**Голубев Сергей Владимирович**	д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН (ИПФ РАН)
13.	**Голубовский Юрий Борисович**	д.ф.-м.н., Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)
14.	**Горшков Олег Анатольевич**	д.т.н., Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» (Роскосмос)
15.	**Грязнов Виктор Константинович**	д.ф.-м.н., Институт проблем химической физики РАН (ИПХФ РАН)

16.	**Гуревич Александр Викторович**	д.ф.-м.н., академик РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН)
17.	**Дьячков Лев Гаврилович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
18.	**Жуховицкий Дмитрий Игоревич**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
19.	**Зеленер Борис Борисович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
20.	**Змитренко Николай Васильевич**	д.ф.-м.н., Институт математического моделирования РАН (ИММ РАН)
21.	**Карасев Виктор Юрьевич**	д.ф.-м.н., Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)
22.	**Коваль Николай Николаевич**	д.т.н., Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (ИСЭ СО РАН)
23.	**Королев Юрий Дмитриевич**	д.ф.-м.н., Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (ИСЭ СО РАН)
24.	**Коссый Игорь Антонович**	д.ф.-м.н., Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН)
25.	**Курнаев Валерий Александрович**	д.ф.-м.н., Московский физико-технический институт (МФТИ)
26.	**Левашов Павел Ремирович**	к.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
27.	**Ломоносов Игорь Владимирович**	д.ф.-м.н., Институт химической физики им. Н.Н. Семенова (ИХФ РАН)
28.	**Лукичев Владимир Федорович**	д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН)
29.	**Майоров Сергей Алексеевич**	д.ф.-м.н., Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН)
30.	**Мочалов Михаил Алексеевич**	д.ф.-м.н., Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики Российский федеральный ядерный центр (ВНИИЭФ)
31.	**Найдис Георгий Вениаминович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
32.	**Новопашин Сергей Андреевич**	д.ф.-м.н., Сибирское отделение РАН (СО РАН)
33.	**Норман Генри**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур

	Эдгарович	РАН (ОИВТ РАН)
34.	**Очкин Владимир Николаевич**	д.ф.-м.н., Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН)
35.	**Пикуз Сергей Алексеевич**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
36.	**Попель Сергей Игоревич**	д.ф.-м.н., Институт динамики геосфер РАН (ИДГ РАН)
37.	**Попов Николай Александрович**	д.ф.-м.н., Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ)
38.	**Рамазанов Тлеккабул Сабитович**	д.ф.-м.н. академик НАН РК, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (КазНУ)
39.	**Синкевич Олег Арсеньевич**	д.ф.-м.н., Московский энергетический институт (МЭИ)
40.	**Смирнов Борис Михайлович**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
41.	**Старостин Андрей Никонович**	д.ф.-м.н., Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ)
42.	**Ступицкий Евгений Леонидович**	д.т.н., Московский физико-технический институт (МФТИ)
43.	**Титов Валерий Александрович**	д.ф.-м.н., Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (ИХР РАН)
44.	**Ткаченко Игорь Михайлович**	д.ф.-м.н., Валенсийский политехнический университет
45.	**Фомин Василий Михайлович**	д.ф.-м.н., академик РАН, Сибирское отделение РАН (СО РАН)
46.	**Филиппов Анатолий Васильевич**	д.ф.-м.н., Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ)
47.	**Храпак Алексей Георгиевич**	д.ф.-м.н., Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
48.	**Шпатаковская Галина Васильевна**	д.ф.-м.н. Институт математического моделирования РАН (ИММ РАН)

МЕРОПРИЯТИЯ СОВЕТА

№	Мероприятие	Время и место проведения
1.	**XXXIV International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter.**	1–6 марта 2019 г., п. Эльбрус, Кабардино-Балкарская республика, Россия.
2.	**XLVI Международная конференция по физике плазме и УТС.**	18–22 марта 2019 г., г. Звенигород Московской обл., Россия.
3.	**XVIII Международное Совещание по Магнитоплазменной Аэродинамике.**	17–19 апреля 2019 г., г. Москва, Россия.
4.	**14- я Международная конференция «Газоразрядные плазмы и их применение».**	15–21 сентября 2019 г., г. Томск, Россия.
5.	**XXXIV ICPIG & ICRP-10.**	July 14–19, 2019, Sapporo, Japan.
6.	**2-я Международная конференция «Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии».**	7–9 октября 2019 г., МЭИ, г. Москва, Россия.
7.	**XI Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий».**	6–9 ноября 2019 г., г. Казань, Россия.

ПРОТОКОЛ №3 заседания Научного совета от 11 декабря 2019 г.

Повестка дня:

1. Вручение дипломов «За заслуги в научной и образовательной деятельности в области физики низкотемпературной плазмы».
2. Научное сообщение: «Перспективы разработки мощных плазменных космических ракетных двигателей». Докладчик: к.ф.-м.н., Кулыгин Владимир Михайлович, НИЦ Курчатовский институт.
3. Научное сообщение: «Диагностика сверхплотной нагретой плазмы, создаваемой лазерными импульсами петаваттной мощности». Докладчик: к.ф.-м.н., Пикуз Сергей Алексеевич, ОИВТ РАН.
4. Отчет Научного совета за 2019г.
5. План работы Научного совета на 2020г.
6. Организационные вопросы (разное).

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Бюро Совета		
1.	Фортов Владимир Евгеньевич	Председатель Совета, д.ф.-м.н., академик РАН, ОИВТ РАН
2.	Сон Эдуард Евгеньевич	1-й зам. председателя, д.ф.-м.н., академик РАН, ОИВТ РАН
3.	Воробьев Владимир Сергеевич	Зам. председателя, д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
4.	Лебедев Юрий Анатольевич	Зам. председателя, д.ф.-м.н., ИНХС РАН
5.	Гаджиев Махач Хайрудинович	Уч.секр., к.ф.-м.н., ОИВТ РАН
6.	Акишев Юрий Семенович	д.ф.-м.н., ТРИНИТИ
7.	Ильгисонис Виктор Игоревич	д.ф.-м.н., РосАтом
8.	Иосилевский Игорь Львович	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
9.	Кашапов Наиль Фаикович	д.т.н., ФГАОУ ВО КФУ
10.	Месяц Геннадий Андреевич	д.ф.-м.н., академик РАН, ФИАН
Члены Совета		
1.	Амиров Равиль Хабибулович	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
2.	Андреев Николай Евгеньевич	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
3.	Асташинский Валентин Миронович	д.ф.-м.н., чл.-корр. НАН Бел., ИТМО НАН
4.	Ашурбеков Назир Ашурбекович	д.ф.-м.н., ФГБОУ ВО ДГУ
5.	Бабаева Наталья Юрьевна	к.ф.-м.н., ОИВТ РАН
6.	Бочаров Алексей Николаевич	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
7.	Василяк Леонид Михайлович	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
8.	Голубев Сергей Владимирович	д.ф.-м.н., ИПФ РАН
9.	Голубовский Юрий Борисович	д.ф.-м.н., СПБГУ
10.	Дьячков Лев Гаврилович	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
11.	Жуховицкий Дмитрий Игоревич	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
12.	Зеленер Борис Борисович	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
13.	Карасев Виктор Юрьевич	д.ф.-м.н., СПБ ГУ
14.	Курнаев Валерий Александрович	д.ф.-м.н., МИФИ
15.	Левашов Павел Ремирович	к.ф.-м.н., ОИВТ РАН
16.	Найдис Георгий Вениаминович	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН
17.	Очкин Владимир Николаевич	д.ф.-м.н., ФИАН
18.	Пикуз Сергей Алексеевич	к.ф.-м.н., ОИВТ РАН
19.	Старостин Андрей Никонович	д.ф.-м.н., ТРИНИТИ
20.	Ступицкий Евгений Леонидович	д.т.н., МФТИ
21.	Храпак Алексей Георгиевич	д.ф.-м.н., ОИВТ РАН

ВЫСТУПАЛИ:

В.Е. Фортов, Э.Е. Сон, В.С. Воробьев, Ю.А. Лебедев, В.М. Кулыгин, С.А. Пикуз, В.И. Ильгисонис.

СЛУШАЛИ:

1. В.Е. Фортова с приветственным обращением к членам Совета и напоминанием основных задач Совета и повесткой очередного заседания.
2. Э.Е. Сона о вручении Диплома «За заслуги в научной и образовательной деятельности в области физики низкотемпературной плазмы» Старостину Андрею Никоновичу и Пикузу Сергею Алексеевичу.

Старостин А.Н. – д.ф.-м.н., профессор, начальник отдела кинетики неравновесных систем (ОКНС) ГНЦ РФ ТРИНИТИ, лауреат Ленинской премии 1984 за разработку специальной техники, премии Правительства РФ в области образования 2010 г, заслуженный профессор МФТИ, награжден медалью «В память 850-летия Москвы», знаками отличия ГК «Росатом» «Академик И.В. Курчатов» 1 и 2 степени, «Академик А.П. Александров», памятным знаком губернатора Московской области «Благодарю», автор более 500 научных работ, в том числе 4 монографий, 5 статей в монографиях и энциклопедии по низкотемпературной плазме. А. Н. Старостин в последние годы работал над созданием кинетической теории физических и химических процессов в плотных средах с учетом квантовых степенных хвостов в функции распределения частиц. На основе этой теории проведены расчёты констант скоростей термоядерных и химических реакций с учётом квантовых поправок, которые показали хорошее согласие с экспериментальными данными об аномально быстром самовоспламенении водородно-воздушных смесей при повышенных давлениях и относительно низких температурах. Под руководством А.Н. Старостина разработан единый метод нахождения коэффициентов переноса электронов совместно с уравнением состояния плотной неидеальной плазмы. Этот метод позволяет определить электрофизические свойства вещества при сверхвысоких давлениях и магнитных полях. Проведены исследования явлений в пылевой плазме на основе линеаризированной теории Дебая-Гюкекля, на основе кинетических уравнений Власова со столкновительным членом Бхатнагара-Гросса-Крука и на основе интегральных уравнений жидкости Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении и в приближении Перкуса-Йевика.

Пикуз С.А. – к.ф.-м.н., заведующий лабораторией Диагностики вещества в экстремальном состоянии ОИВТ РАН, доцент ЛаПлаз НИЯУ МИФИ, Лауреат премии Правительства Москвы молодым ученым за 2013 год, участник проектов EuroFUSION, коллабораций ETFLA и HIBEF EXFEL, член экспертного совета при European XFEL, Visiting professor at Ecole Polytechnique (France) and ILE Osaka University (Japan), соавтор 125 публикаций (WoS). С.А. Пикуз специализируется на разработке и применении радиационных методов диагностики и оборудования для изучения вещества с высокой плотностью энергии, экспериментальных исследованиях на сверхмощных оптических и рентгеновских лазерах по изучению релятивистской плазмы и плазмы в условиях доминирования радиационных каналов возбуждения, сверхплотной плазмы и плотного нагретого вещества, астрофизических объектов и экстремальных гидродинамических явлений в лабораторных условиях, динамически сжатого вещества и фазовых переходов в области сверхвысоких давлений и источников ионизирующего излучения на основе фс лазерной плазмы.

3. Научное сообщение: «Перспективы разработки мощных плазменных космических ракетных двигателей». Докладчик: к.ф.-м.н., Кулыгин Владимир Михайлович, НИЦ Курчатовский институт.
4. Научное сообщение: «Диагностика сверхплотной нагретой плазмы, создаваемой лазерными импульсами петаваттной мощности». Докладчик: к.ф.-м.н., Пикуз Сергей Алексеевич, ОИВТ РАН.
5. Э.Е. Сона, В.С. Воробьева, Ю.А. Лебедева отчет Научного совета за 2019г.

Были отмечены некоторые важные результаты полученные членами Совета в 2019г.:

- Мочалов М.А., Илькаев Р.И., Фортов В.Е. и др. Доклад на конференции «*Харитоновские Чтения-201: Детонация, ударные волны и экстремальные состояния вещества*», РФЯЦ ВНИИЭФ (Саров), апрель 2019 г.
- Ю.А. Лебедев, ИНХС РАН, Микроволновый разряд в жидких углеводородах.
- V.A. Panov, L.M. Vasilyak, S.P. Vetchinin, V.Ya. Pecherkin and E.E. Son. Pulsed electrical breakdown of conductive water with air bubbles. *Plasma Sources Science and Technology*. 2019, vol. 28, no. 8, 085019.
- Sautenkov, V. A., Saakyan, S. A., Bobrov, A. A., Kudrinskiy, D. A., Vilshanskaya, E. V., & Zelener, B. B. (2019). Optical Dipole Trap for Laser-Cooled Lithium-7 Atoms. Journal of Russian Laser Research, 40(3), 230-236.
- N. Yu. Babaeva, G. V. Naidis, V. A. Panov, R. Wang, S. Zhang, C. Zhang and T. Shao. "Plasma bullet propagation and reflection from metallic and dielectric targets", *Plasma Sources Sci. Technol.* **28**, 095006 (2019).
- Э.Е. Сона, план работы Научного совета на 2020г. и планы проведения конференций и мероприятий в 2020г.
- В.Е. Фотрова с благодарностью участникам заседания Совета и за их активную работу.

ОТМЕТИЛИ:

1. Высокую активность членов Научного совета.
2. Необходимость создания групп в Совете для проведения оперативной экспертизы проектов по направлению «Физика низкотемпературной плазмы», поступающих в Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН по электрофизике, электроэнергетике и электротехнике.
3. Принять активное участие в проведении работ по организации Всероссийской (с международным участием) конференции "Физика низкотемпературной плазмы" (ФНТП – 2020), 1-5 июня 2020 г., Россия, Казань.
4. В конференциях, проходящих при участии Научного совета, кроме активного участив в организации необходимо участия членов Научного совета в экспертизе докладов и проводить отбор пленарных и устных докладов по значимости и новизне полученных результатов.
5. Председателям конференций, проводимых и организованных Научным советом, представить отчеты о работе конференций за 2019 г. и планы проведения конференций за 2020 г.
6. Членам Совета до 27 декабря 2019 года представить полученные результаты в 2019г. по направлению «Физика низкотемпературной плазмы» для включения в годовой отчет Научного совета РАН за 2019г.

РЕШИЛИ:

1. Необходимость активного участия членов Совета не только в Российских конференциях, но и в зарубежных.
2. Поддержать конференции, проводимые по направлению «Физика низкотемпературной плазмы».
3. Принять активное участие в подготовке программы «УТС и плазменные технологии».
4. Провести конкурс на вручение Диплома «За заслуги в научной и образовательной деятельности в области физики низкотемпературной плазмы» в двух категориях в 2020г (без ограничения возраста и с ограничением возраста до 39 лет).

5. Рассмотреть и рекомендовать к публикациям монографии по направлению «Физика низкотемпературной плазмы» в издательствах РАН, РФФИ, университетах и др. научных организациях.
6. Обеспечить проведение экспертизы госбюджетных, инициативных работ в области «Физика низкотемпературной плазмы» по заданиям президиума РАН, Министерства образования и науки Российской Федерации, РФФИ, РНФ и др. научных организаций.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2019 г.

Валенсийский политехнический университет (Испания)
Camino de Vera s/n 46022 Valencia) Spain
Департамент прикладной математики
Ткаченко Игорь Михайлович, профессор, д. ф.-м. н, доктор h.c. РАН

Определение динамических свойств неидеальной плазмы методом моментов

Разработанный в 2017 году модифицированный метод моментов [1] применен к исследованию динамических свойств сильно неидеальных кулоновских систем, таких как плотная пылевая плазма с пылинками конечного размера [2] и частично вырожденный плотный двумерный электронный газ [3]. Кроме того, с использованием упрощённого варианта метода исследована тормозная способность плотного электронного газа [4]. Метод основан на классической теории моментов и других точных соотношениях, которым должна удовлетворять диэлектрическая функция системы. Метод позволяет, с автоматическим учетом пяти правил сумм, выразить динамические характеристики системы (динамический структурный фактор, дисперсию и затухание коллективных мод) исключительно через её статический структурный фактор без привлечения экспериментальных данных. Проведено сравнение с результатами альтернативных теоретических подходов (приближение хаотических фаз, приближение квазилокализованного заряда и др.), удовлетворяющих указанным правилам сумм неполностью.

Определение термодинамических свойств неидеальной плазмы

На основе интегрального уравнения жидкости Орнштейна–Цернике для многокомпонентной плазмы проведено исследование электростатического взаимодействия заряженных частиц в пылевой плазме [5]. Для самой неидеальной подсистемы плазмы выполнен переход к однокомпонентному приближению. Показано, что при значениях параметра неидеальности пылевой подсистемы, Γ, меньших единицы, потенциал взаимодействия заряженных частиц плазмы друг с другом достаточно хорошо описывается дебаевским потенциалом с полной постоянной экранирования. При $\Gamma > 1$ статическая диэлектрическая функция в области малых значений волнового числа становится отрицательной и эта область с ростом расширяется. При этом суммарное давление, изохорическая теплоемкость и изотермическая сжимаемость пылевой плазмы во всем исследованном диапазоне параметра неидеальности $\Gamma < 250$ остаются положительными, но изотермическая сжимаемость только пылевой, неидеальной подсистемы при $\Gamma \approx 2$ становится отрицательной.

Литература

1. Yu.V. Arkhipov, A. Askaruly, L. Conde, A.E. Davletov, Z. Donkó, D.Yu. Dubovtsev, P. Hartman, I. Korolov, And I.M. Tkachenko, Direct determination of dynamic properties of Coulomb and Yukawa classical one-component plasmas // Phys. Rev. Lett., 119 (2017) 045001. DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.045001.
2. L.T. Yerimbetova, A.E. Davletov, Y.V. Arkhipov, I.M. Tkachenko, Dynamic properties of strongly coupled dusty plasmas with particles of finite dimensions // Contributions to Plasma Physics. 2019; e201800160. https://doi.org/10.1002/ctpp.201800160
3. Т. Кейкиманова, Г.И. Муратова, Р.Ж. Наметкулова, М.Н. Сарыбеков, И.М. Ткаченко, Динамические свойства двумерного плотного электронного газа // ЖЭТФ, 155 (2019) 1098–1106. DOI: 10.1134/S0044451019060142
4. Y. Arkhipov, A. Ashikbayeva, A. Askaruly, D.Y. Dubovtsev, S. Syzganbayeva, I. Tkachenko, Stopping power of an electron gas: The sum rule approach // Contributions to Plasma Physics. 2019; e201800171. https://doi.org/10.1002/ctpp.201800171

5. А.В. Филиппов, В.В. Решетняк, А.Н. Старостин, И.М. Ткаченко, В.Е. Фортов, Исследование пылевой плазмы на основе интегрального уравнения Орнштейна–Цернике для многокомпонентной жидкости // Письма в ЖЭТФ, 110 (2019) 658 – 665. https://doi.org/10.1134/S0370274X19220041

Государственная корпорация по атомной энергии “Росатом”

119017, Москва, Россия, ул. Большая Ордынка 24
Ильгисонис Виктор Игоревич,
директор направления научно-технических исследований и разработок, д.ф.-м.н.

МГД-двигатель с капиллярно-пористыми электродами

Рассматриваются капиллярно-пористые электроды для плазменных МГД-устройств, которые могут быть непрерывно возобновляемыми, и позволяют в качестве двигателя для межорбитальных полётов использовать схему обращённого МГД-генератора, т.е. МГД-ускоритель. Рассмотрено два типа ускорения плазмы: ускорение силой Лоренца при первичном токе перпендикулярном ускорению (схема Фарадея), и 2) ускорение на основе эффекта Холла. В первом случае двигатель имеет преимущества лишь при больших мощностях двигателя (> 1 МВт), а во втором – тяга и удельная тяга уже при мощности 500-1000 кВт сравнимы и превосходят известные аналоги. Сформулированы условия работы капиллярно-пористых электродов [1].

Крупномасштабные азимутальные структуры в разрядах холловского типа

Предложен физический механизм, объясняющий крупномасштабные низкочастотные колебания, наблюдаемые посредством высокоскоростной видеофиксации в экспериментах с холловскими разрядами в различных устройствах (магнетронах, пеннинговских разрядах, холловских плазменных двигателях и др.). Показано, что таким механизмом могут служить биения относительно высокочастотных собственных градиентно-дрейфовых мод, раскачивающихся в пространственно-ограниченной неоднородной плазме устройства. Основные результаты получены аналитически [2].

Уравнения равновесия плазмы в магнитном поле с трёхмерными магнитными поверхностями

Получена система уравнений, описывающая статическое равновесие плазмы в магнитном поле с трёхмерными магнитными поверхностями тороидальной топологии [3]. В основу подхода положено смешанное представление для магнитного поля, аналогичное используемому при выводе классического уравнения Грэда-Шафранова, но модифицированное с учётом возможной осевой несимметрии магнитных поверхностей. Система состоит из трёх дифференциальных уравнений на три скалярные функции, два из которых могут быть записаны в форме магнитных дифференциальных уравнений, а третье (баланс сил в направлении, перпендикулярном к поверхности) служит аналогом уравнения Грэда-Шафранова. Полученные уравнения допускают простой предельный переход к случаю осевой симметрии. Представлен пример решения типа вихря Хилла в предположении о ``слабой" осевой несимметрии задачи.

Литература

1. Ильгисонис В.И, Мартыненко Ю.В. МГД-двигатель с капиллярно-пористыми электродами // Физика плазмы 45, 63 (2019). DOI: 10.1134/S0367292119010062. Marusov N.A., Sorokina E.A., Ilgisonis V.I., Lakhin V.P. Large-scale azimuthal structures in Hall-type plasma discharges // Physics of Plasmas 26, 090701 (2019). DOI: 10.1063/1.5111948.
2. Сорокина Е.А., Ильгисонис В.И. Уравнения равновесия плазмы в магнитном поле с трёхмерными магнитными поверхностями // Физика плазмы 45, 1065 (2019). DOI: 10.1134/S0367292119120084.

Дагестанский государственный университет
(Физический факультет)
367000, Махачкала, Россия, ул. М. Гаджиева 43-а
Научно-образовательный центр «Физика плазмы»
Ашурбеков Н.А., д.ф.-м.н., профессор

Исследование динамики формирования плазменно-пучкового разряда (ППР) с щелевым катодом в аргоне как широкоапертурного источника низкоэнергетичных ионов для прецизионных плазменных технологий

Выполнены комплексные экспериментальные исследования и численное моделирование с использованием программного пакета Comsol Multiphysics пространственно-временной динамики развития ограниченного ППР со щелевым катодом в аргоне при давлениях от 1 до 10 Torr и при различных значениях прикладываемого к электродам внешнего электрического поля. Показано, что при давлениях газа около 2 Torr разряд сосредоточен внутри полости катода и может быть использован для генерации ускоренных электронов с энергией до 1 kэV. При давлении газа 5 Torr в полной мере проявляется эффект полого катода и ускоренные электроны теряют свою энергию на ионизацию атомов в промежутке не доходя до анода, что приводит к формированию одинаково плотной плазмы в полости катода и в промежутке между электродами. При p = 10 Torr эффект полого катода отсутствует, разряд в полости локализуется вдоль внутренних поверхностей полости и в промежутке между электродами. Максимальная плотность заряженных частиц формируется вдоль оси разрядного промежутка между электродами. Выбраны оптимальные режимы формирования разряда, при которых можно формировать ленточные электронные пучки как источник ускоренных электронов для формирования широкоапертурных низкоэнергетичных потоков ионов для использования в прецизионных плазменных технологиях атомно-слоевого травления поверхности материалов наноэнектроники.

Комплексное исследование процессов взаимодействия низкотемпературной плазменной струи атмосферного давления в смеси воздуха и аргона с биотканями

Разработана и газоразрядная система формирования струи низкотемпературной плазмы на основе барьерного импульсного разряда в потоке смеси газов аргон-воздух для исследования физических процессов воздействия холодной плазмы на биоткани и биосреды. Экспериментально исследована пространственная структура плазменной струи в зависимости от скорости истечения газа, амплитуды импульсов напряжения и величины тока разряда. Выполнены исследования пространственного распределения оптического спектра излучения и газовой температуры вдоль плазменной струи. Разработана методика экспериментального исследования микрофлуоресцентных свойств биоткани после воздействия низкотемпературной плазменной струи на образцах нормальной ткани печени *in vitro*. .

Литература

1. Ashurbekov, N. A. The dynamics of ionization waves formation in a transverse nanosecond plasma-beam discharge with a slotted cathode in argon/ N. A. Ashurbekov, K.O. Iminov, M. Z. Zakaryaeva, A. R. Ramazanov and G. Sh. Shakhsinov //Journal of Physics: Conf. Series. 1393 (2019) 012001. doi:10.1088/1742-6596/1393/1/012001.
2. Ashurbekov, N. A. Quantum-optical effects of resonant short laser pulse interaction with neon nanosecond discharge plasma in narrow shielded tubes/ N. A. Ashurbekov, K.O. Iminov, M.B. Kurbangadzhieva and G. Sh. Shakhsinov //Proc. SPIE 11322, 113220H (11 December 2019); doi: 10.1117/12.2548614
3. Ашурбеков, Н.А. Взаимодействие низкотемпературной плазменной струи атмосферного давления в смеси воздуха и аргона с биотканями./ Г.Ш. Шахсинов,

Э.Х. Исрапов, З.М. Исаева // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки. - 2019. – Т.34. - Вып. 2. - С. 19-35. Из Перечня ВАК. DOI: 10.21779/2542-0321-2019-34-2-19-35.

4. Патент РФ. Устройство для получения широкоапертурного низкоэнергетичного потока ионов. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Закарьяева М.З., Муртазаева А.А., Шахсинов Г.Ш. Заявка №2019139000/28(076722), приоритет от 29.11.2019.
5. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Рабаданов М.Х., Шахсинов Г.Ш.. Разработка широкоапертурных плазменных источников электронных и ионных потоков для прецизионных аддитивных технологий./Глава в коллективной научной монографии «Нанотехнологии и перспективные наноматериалы», под. Ред. М.Х.Рабаданова. Махачкала. 2019. Издательство ДГУ. 472 с. ISBN 978-5-9913-0191-6.
6. Рабаданов М.Х., Ашурбеков Н.А. Научно-образовательный центр «Нанотехнологии» Дагестанского государственного университета. /Глава в коллективной научной монографии «Нанотехнологии и перспективные наноматериалы», под. Ред. М.Х.Рабаданова. Махачкала. 2019. Издательство ДГУ. 472 с. ISBN 978-5-9913-0191-6.

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХСРАН)

119991, Москва. Ленинский проспект , 29

Лаборатория плазмохимии и физикохимии импульсных процессов

Г.н.с., ИО зав. лабораторией, д.ф.-м.н. Лебедев Юрий Анатольевич

Микроволновый разряд в жидких углеводородах

На основе экспериментов и нуль-, одномерного и двумерного моделирования исследованы физические параметры и продукты микроволнового разряда в жидких углеводородах. Разряд возбуждается на конце микроволновой антенны, погруженной в жидкий углеводород. При подаче микроволновой энергии конец антенны нагревается, жидкость в ее окрестности испаряется, и в получающемся газовом пузыре происходит пробой. Впоследствии из-за плазменного нагрева газа объем пузырька увеличивается, он отрывается от антенны, всплывает на поверхность жидкости и разряд в ней исчезает. Поскольку интенсивность микроволнового поля уменьшается с расстоянием от антенны, световой разряд наблюдается только на антенне. Исследованы углеводороды с различным содержанием атомов С и Н. Было показано, что твердый продукт представляет собой углеродистые частицы размером 50-100 нм. В них обнаружен «поврежденный» графен» (не однослойный образцы содержат углерод, кислород и медь. Древовидная структура, образованная в нефти и продуктах ее обработки на антенне, обогащена металлами по сравнению с исходной жидкостью. В жидкой фазе после обработки разрядом и центрифугированием были обнаружены частицы размером от 1 до 2,5 нм. Основными газофазными продуктами являются водород, ацетилен, этилен и метан. Концентрации других продуктов на порядок ниже.

Литература.

1. K. A. Averina , Yu. A. Lebedeva, and A. V. Tatarinova Main Gaseous Products of Microwave Discharge in Various Liquid Hydrocarbons // High Energy Chemistry, 2019, Vol. 53, No. 4, pp. 331–335/

Объединенный Институт Высоких Температур РАН (ОИВТ РАН)

125412, Москва, Россия, ул. Ижорская д.13, стр.2

Отдел №1 – физики экстремальных состояний
Фортов Владимир Евгеньевич, академик РАН

Одним из выдающихся результатов по теплофизике вещества в экстремальном состоянии в 2019 году было достижение рекордных параметров в динамическом эксперименте, осуществленном во РФЯЦ ВНИИЭФ (Саров), по квазиизоэнтропическому сжатию дейтерия до давлений ~ 200 Мбар с рекордными степенями сжатия в сотни раз. Температура плотной неидеальной плазмы дейтерия по оценкам достигала диапазона ~ 50'000 K. В этих условиях совместно проявляются эффекты высокого вырождения электронов и сильной кулоновской неидеальности. Указанные эксперименты были поддержаны сложными теоретическими расчетами как в рамках т. наз. «химической модели плазмы» (код SAHA), так и в рамках первопринципного подхода т. наз. квантовой молекулярной динамики (QMD). Сравнение теории и эксперимента показало более чем удовлетворительное согласие, что указывает на качественную и количественную правильность общего теоретического подхода.

Литература

1. Мочалов М.А., Илькаев Р.И., Фортов В.Е. и др. Доклад на конференции «*Харитоновские Чтения-201: Детонация, ударные волны и экстремальные состояния вещества*», РФЯЦ ВНИИЭФ (Саров), апрель 2019 г.

Лаборатория №1.3 – теории лазерной плазмы
Андреев Николай Евгеньевич, зав. лаб., д.ф.-м.н.

Взаимодействие лазерных импульсов с плазмой для оптимизации источников высокоэнергетических частиц и фотонов

В рамках международного сотрудничества в области физики высоких плотностей энергий между ОИВТ РАН, ИПХФ РАН и ГСИ-ФАИР проведен совместный эксперимент с использованием петаваттного лазера PHELIX в ГСИ-ФАИР при реализации проекта "Взаимодействие релятивистски-интенсивных лазерных импульсов с плазмой околокритической плотности для оптимизации лазерных источников высокоэнергетических частиц и фотонов". Анализ экспериментальных данных с использованием кинетических расчетов динамики ускорения электронов в малоплотных мишенях, проведенный с помощью 3D PIC моделирования для параметров плазмы и лазерного импульса, отвечающих условиям эксперимента, продемонстрировал высокую эффективность преобразования лазерной энергии в энергию ультрарелятивистских электронов. Полный заряд электронов, ускоренных до сверх-пондеромоторных энергий (E > 3 МэВ) достигает 2 мКл, а заряд электронов с энергиями, подходящими для прямых радиографических применений (E > 30 МэВ), достигает 80 нКл [1, 2].

Модель высокочастотной диэлектрической проницаемости металлической плазмы

Построена аналитическая модель диэлектрической проницаемости металлической плазмы, облучаемой лазерными импульсами широкого диапазона частот, от инфракрасных до рентгеновского диапазона. Разработанная модель позволяет одновременно учесть электрон-фононное взаимодействие, процессы переброса и межзонные переходы, возникающие при превышении энергии кванта излучения разности по энергии между зонами.

Генерации жесткого рентгеновского излучения

Проведено моделирование выхода жесткого K_α излучения при воздействии фемтосекундного лазерного импульса релятивистской интенсивности на плотноупакованные микросферы из полистирола размером близким к длине волны с учетом рециркуляции электронов в металлической подложке различной толщины. Показано, что при падении *p*-поляризованного фемтосекундного лазерного импульса интенсивностью 10^{19} Вт/см^2 на мишени, покрытые микросферами, максимальный выход K_α излучения с энергией квантов 68 кэВ из тонких золотых фольг, в которых электроны рециркулируют, увеличивается в 4 раза, а выход K_α излучения с передней стороны толстых мишеней из золота, в которых рециркуляция несущественна, увеличивается в 5 раз по сравнению с плоскими мишенями. Результаты работы могут быть использованы при планировании экспериментов по исследованию эффективных источников для радиографии вещества с высокой плотностью энергии.

Генерация сгустков релятивистских электронов

Аналитически и посредством численного моделирования в одномерной геометрии проведено исследование многопотокового движения электронов при взаимодействии интенсивного фемтосекундного лазерного импульса с неоднородной холодной плазмой, имеющей размытую границу с вакуумом в виде линейного по плотности переходного слоя. Определен физический механизм, вызывающий самоинжекцию электронов, находящихся вблизи границы плазмы, в кильватерную волну, генерируемую лазерным импульсом. Установлено, что захваченный электронный сгусток состоит из электронов, составляющих непрерывный тонкий слой и первоначально находившихся на расстоянии от границы плазмы порядка амплитуды их плазменных осцилляций. Показано, что в процессе захвата электронов в кильватерную волну длительность сгустка сокращается на 1-2 порядка до размеров в несколько десятков аттосекунд и с зарядом до сотни пК при поперечном размере лазерного импульса ~ 20 мкм [3].

Литература

1. O N Rosmej, N E Andreev, S Zaehter, N Zahn, P Christ, B Borm, T Radon, A Sokolov, L P Pugachev, D Khaghani, F Horst, N G Borisenko, G Sklizkov, V G Pimenov. Interaction of relativistically intense laser pulses with long-scale near critical plasmas for optimization of laser based sources of MeV elec-trons and gamma-rays, New Journal of Physics 21 (2019) 043044. https://doi.org/10.1088/1367-2630/ab1047
2. L P Pugachev and N E Andreev, Characterization of accelerated electrons generated in foams under the action of petawatt lasers, Journal of Physics: Conference Series 1147 (2019) 012080. doi:10.1088/1742-6596/1147/1/012080
3. Kuznetsov S.V. Generation of Electron Bunches by an Ultrarelativistic Laser Pulse Intersecting the Boundary of an Inhomogeneous Plasma. Technical Physics Letters, 2019, 45(7) 683. DOI: 10.1134/S1063785019070071

Лаборатория №1.4. - лазерного охлаждения и ультрахолодной плазмы
Зеленер Борис Борисович, зав. лаб., г.н.с., д.ф.-м.н.

Оптическая дипольная ловушка для холодных атомов лития-7

В работе создана оптическая дипольная ловушка для атомов лития-7. Атомы из магнитооптической ловушки перезахватываются в оптическую дипольную ловушку. Количество атомов в дипольной ловушке 3×10^7, концентрация атомов составила 10^{10} см$^{-3}$. Измерены основные параметры ловушки, такие как глубина, размер, время жизни и температура атомов [1]. Измерены параметрические резонансы, приводящие к потере атомов из ловушки. Определена продольная и поперечная частота ловушки.

Особенный интерес представляет экспериментальное наблюдение супергармоник, которые в обычных условиях отсутствуют. Данная ловушка является одним из этапов по созданию и исследованию плотных взаимодействующих ридберговских атомов и ультрахолодной плазмы из легких атомов лития-7. При наших плотностях, из-за эффекта блокады, возможно возбуждение лишь единичных ридберговских атомов в ловушке. Таким образом, созданы все условия для генерации одиночных фотонов. Полученная дипольная ловушка позволяет исследовать спутанные состояния атомов и проводить модельные эксперименты в области квантовой информатики.

Литература

1. Sautenkov V. A., Saakyan S. A., Bobrov A. A., Kudrinskiy D. A., Vilshanskaya E. V., & Zelener B. B. (2019). Optical Dipole Trap for Laser-Cooled Lithium-7 Atoms. Journal of Russian Laser Research, 40(3), 230-236.

Теоретический отдел № 7 им. Л.М. Бибермана,
лаборатория № 7.2 - теплофизических и кинетических свойств веществ
Дьячков Лев Гавриилович, в.н.с., д.ф.-м.н.

Комплексная плазма в тлеющем разряде в сильном магнитном поле

Выполнена теоретическая обработка экспериментальных результатов по воздействию сильного продольного магнитного поля до 1 Тл на пылевой кластер в тлеющем разряде постоянного тока. Эксперимент проведен в СПбГУ Карасевым В.Ю. с сотрудниками. В отличие от предыдущих экспериментов, выполненных в различных лабораториях мира, в данном эксперименте впервые исследовано влияние магнитного поля на пылевую структуру, зависающую не в страте, а в области сужения канала разряда диэлектрической вставкой, применяемой обычно для стабилизации разряда. Здесь, как и в стратах, происходит вращение пылевой структуры под действием магнитного поля, но с двумя специфическими особенностями. 1) Вектор углового вращения всегда направлен противоположно направлению магнитного поля и не происходит инверсии вращения с увеличением магнитного поля, обычной для частиц, зависающих в голове страты. 2) Скорость вращения в несколько раз выше, чем в стратах, и достигает 15 рад/с. В ОИВТ РАН выполнены соответствующие оценки и расчеты, на основании которых дано объяснение экспериментальных результатов. Отсутствие инверсии вращения объясняется тем, что внутри вставки, сужающей канал тока, не возникают вихревые токи, характерные для страт и вызывающие вращение газа в направлении противоположном направлению вращению ионной компоненты, увлекающей пылевые частицы и определяющей направление их вращения при небольших магнитных полях. Сделанные предположения и выполненные на их основании расчеты в целом согласуются с данными эксперимента, полученная зависимость скорости вращения от магнитного поля воспроизводит экспериментальную. Некоторые различия в результатах расчета и эксперимента получили объяснение на качественном уровне.

Литература

1. V.Yu. Karasev, E.S. Dzlieva, L.G. D'yachkov, L.A. Novikov, S.I. Pavlov, S.A. Tarasov. The effect of magnetic field on plasma particles in dusty plasma. Contrib. Plasma Phys. 2019. V. 59. N 4-5. e201800136 (6 pp). DOI: 10.1002/ctpp.201800136
2. S.I. Pavlov, E.S. Dzlieva, L.G. D'yachkov, L.A. Novikov, M.A. Ermolenko, A.Yu. Ivanov, V.Yu. Karasev. Observation of the dynamics of the dust structure in a dust trap in a double electric layer in a magnetic field up to 10,000 G. Contrib. Plasma Phys. 2019. V. 59. N 4-5. e201800142 (6 pp). DOI: 10.1002/ctpp.201800142

3. S.I. Pavlov, E.S. Dzlieva, L.A. Novikov, M.A. Ermolenko, A.Yu. Ivanov, L.G. D'yachkov, V.Yu. Karasev. Dusty plasma in the stratified glow discharge in moderate magnetic field. Contrib. Plasma Phys. 2019. V. 59. N 4-5. e201800139 (6 pp). DOI: 10.1002/ctpp.201800139
4. E S Dzlieva, L G D'yachkov, L A Novikov, S I Pavlov and V Yu Karasev. Fast rotation of dust particle structures in dc glow discharge in a strong magnetic field. Plasma Sources Science and Technology. 2019. V. 28. N 8. 085020. DOI: 10.1088/1361-6595/ab36ac

Лаборатория №15.1. - электрофизики и плазменных процессов
Смирнов Борис Михайлович, г.н.с., д.ф.-м.н.

Разработана компьютерная программа, описывающая эволюцию газоразрядной плазмы среднего давления в зависимости от приложенного электрического поля, а также геометрических параметров газоразрядной трубки и давления газа. В рассматриваемом режиме заселенность возбужденных состояний атомов достаточно велика, так что наряду с прямой ионизацией атомов электронным ударом важную роль играет ступенчатая ионизация. Особое внимание уделено анализу сечений неупругого столкновения электрона с атомами, а также излучательным процессам. Результаты опубликованы в работе [1].

Отдельно выполнен анализ уширения спектральных линий для излучательных переходов между дискретными состояниями атомов в случае конкуренции допплеровского и столкновительного механизмов уширения спектральных линий в газоразрядной плазме. Результаты представлены в работах [2,3].

В дополнение к этому улучшенные сечения неупругих столкновений электронов с атомами, которые протекают в газоразрядной плазме, а также параметры соответствующих излучательных переходов в атомах собраны в справочнике [4].

Литература

1. В. П. Афанасьев, Б. М. Смирнов, Д. А. Жиляев. НЕУПРУГИЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ. ТЕПЛОФИЗИКА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР, 2018, том 56, № 5, с. 645–655. DOI: 10.31857/S004036440003354-3.
2. Б. М. Смирнов. ОСОБЕННОСТЬ УШИРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ АТОМНОГО И МОЛЕКУЛЯРНОГО ГАЗОВ. ЖЭТФ, 2018, том 154, вып. 1 (7), стр. 1–12 DOI: 10.7868/S0044451018070000.
3. B. M. Smirnov. Competition of Short-Range and Long-Range Mechanisms of Spectral Line Broadening in Emission of Atomic and Molecular Gases. ISSN 1063-7761, Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2018, Vol. 127, No. 1, pp. 48–57; ЖЭТФ Т. 154, No. 1, pp. 57–68(2018) DOI: 10.1134/S1063776118070117.
4. B. M. Smirnov. Atomic Particles and Atom Systems. Data for Properties of Atomic Objects and Processes. (Springer Nature, Cham, Switzerland,2018; 271p.) ISBN 978-3-319-75404-8; ISBN 978-3-319-75405-5 (eBook) https://doi.org/10.1007/978-3-319-75405-5

Лаборатория №17.1 – плазменно-пылевых процессов
Василяк Леонид Михайлович, г.н.с., д.ф.-м.н.

Влияние перенапряжения, проводимости и газовой фазы на механизм развития импульсного электрического пробоя в электропроводящей воде

Установлено, что электрический разряд в проводящей воде может развиваться по крайней мере по двум механизмам: ``тепловой'' и ``стримерно-лидерный'' с характерными скоростями распространения плазменного канала 10–20 м/с и 1–10 км/с соответственно.

При этом оба механизма могут наблюдаться при одной и той же проводимости из исследованного диапазона 35–330 мкСм/см при изменении величины приложенного напряжения. Пузырьки в объёме могут приводить к инициации разряда по стримерно-лидерному механизму. Поверхностные пузырьки приводят к инициации разряда с катода со скоростью около 60-70 м/с, не зависящей от проводимости. При повышенной проводимости катодный канал возникает в случае одновременного присутствия поверхностных и объёмных газовых пузырьков.

Литература

1. V A Panov, L M Vasilyak, S P Vetchinin, V Ya Pecherkin and E E Son. Pulsed electrical breakdown of conductive water with air bubbles. *Plasma Sources Science and Technology*. 2019, vol. 28, no. 8, 085019.

Жуховицкий Дмитрий Игоревич, г.н.с., д.ф.-м.н.

Распространение трехмерного фронта кристаллизации в сильнонеидеальной пылевой плазме

Проанализированы данные, полученные в лаборатории ПК-3 Плюс на борту Международной космической станции при исследовании распространения фронта кристаллизации в пылевой плазме. Разработан «осевой» алгоритм идентификации «кристаллоподобных» частиц, который позволяет распознавать различные кристаллические домены и их поверхность. Предложено определение трехмерной скорости фронта, предполагающее, что существует небольшой участок поверхности домена, распространяющейся вдоль некоторой линии перпендикулярной к этому участку. Показано, что скорость фронта практически не зависит от времени и составляет около 60–80 мкм/с. Предложена теория распространения фронта кристаллизации в пылевом облаке, предполагающая, что поток кристаллизующихся частиц пропорционален разности коэффициентов самодиффузии жидкой и кристаллической фаз. Полученная оценка сверху для скорости фронта коррелирует с результатом обработки эксперимента [1].

Ионизационное уравнение состояния пылевой плазмы с учетом ион-атомных столкновений

Предложено ионизационное уравнение состояния (ИУРС) для облака пылевых частиц в газовом разряде низкого давления в условиях микрогравитации. ИУРС связывает пары параметров, характеризующих заряженные компоненты пылевой плазмы. ИУРС основан на модифицированной модели усиления ионного тока на пылевые частицы вследствие ион-атомных столкновений, адаптированной для пылевого облака, рассматриваемого в рамках приближения ячеек Вигнера–Зейтца. Учтенный эффект приводит к заметному уменьшению заряда частицы по сравнению с ранее разработанным ИУРС, основанном на приближении ограниченного орбитального движения. Полагая, что параметр Хавнса пылевой плазмы невелик, можно воспроизвести величину концентрации пылевых частиц, измеренную в экспериментах, и, в частности, ее зависимость от давления плазмообразующего газа. Хотя ИУРС не содержит феноменологических параметров, он обеспечивает удовлетворительную точность в широком диапазоне параметров пылевой плазмы. На основе разработанного ИУРС получено пороговое соотношение между параметрами пылевой плазмы, соответствующее формированию проходов в бинарной пылевой плазме (lane formation) [2].

Литература

1. Zhukhovitskii D.I., Naumkin V.N., Molotkov V.I., Lipaev A.M., and Thomas H.M. // Plasma Sources Science and Technology **28**, 065014 (2019). DOI: 10.1088/1361-6595/ab27a9
2. Zhukhovitskii D.I. // Physics of Plasmas **26**, 063702 (2019). DOI: 10.1063/1.5085344

Лаборатория № 18. – плазменных технологий
Гаджиев Махач Хайрудинович, с.н.с., к.ф.-м.н.

Влияние потока низкотемпературной плазмы азота на морфологию, электрические и уф-фотопроводящие свойства пленок ZnO на сапфире

Проведены исследования влияния потока высокоэнтальпийной низкотемпературной плазмы азота, генерируемого плазмотроном постоянного тока на морфологию, электрические и УФ-фотопроводящие свойства пленок ZnO на сапфире [1]. Показано, что сопротивление пленок ZnO после обработки плазмой азота растет в 10^4 раз и они демонстрируют отчетливый отклик на ультрафиолетовое освещение. УФ-фоточувствительность по току и контрастность тока образцов при 6V имели величины порядка $3.6 \cdot 10^{-5}$ A/W и 16, соответственно. Время нарастания и спада фототока ~ 0.45 s.

Исследование характеристик генератора низкотемпературной плазмы постоянного тока с прямой дугой

Разработан эффективный ГНП постоянного тока с прямой дугой и экспериментальный стенд для плазменно-дугового переплава стали, подобран оптимальный режим работы (100÷110 А, расход азота ~0.23г/с, расстояние между соплом ГНП и расплавом ~ 60÷63 мм), определены физико-химические свойства как самой плазменной среды (в приосевой зоне температура и концентрация электронов ~7000 К и 10^{16} $см^{-3}$ соответственно, температура в зоне привязки дуги к расплаву ~2700 К), так и получаемого металла после переплава стали марки 55Х20Г9Н4, в котором установлено изменение уровня свойств: измельчение зерна, повышение прочности, пластичности, суммарной работы разрушения, износостойкости в условиях сухого трения и снижение скорости коррозии [2].

Литература

1. Гаджиев М. Х., Тюфтяев А. С., Муслимов А.Э., Каневский В.М., Исмаилов А.М., Бабаев В.А. Влияние потока низкотемпературной плазмы азота на морфологию, электрические и УФ-фотопроводящие свойства пленок ZnO на сапфире // Письма в ЖТФ. том 45, вып. 22, С. 3-6. https://journals.ioffe.ru/articles/48639
2. Tyuftyaev A. S., Gadzhiev M. Kh., Il'ichev M. V., Khromov M. A., Filippov G. A. Nitriding of High-Alloy Steel During Plasma Arc Remelting // Metallurgist. 2019. Volume 63, Issue 3–4, pp 228–237. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11015-019-00805-y

Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ)

199034, Санкт-Петербург, Россия, Университетская наб. 7-9

Группа Голубовского Ю.Б.

1. Gortschakow, S., Kalanov, D., & Golubovskii, Y. (2019). Influence of Resonance Radiation Transport on Chemical Equilibrium in an Argon Arc. PLASMA PHYSICS AND TECHNOLOGY, 6(2), 119-122.
2. Valin, S., Golubovskii, Y., Gortschakow, S., & Sigeneger, F. Influence of radiation transport on discharge characteristics of an atmospheric pressure plasma jet in Argon. Proceedings of 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019.
3. Siasko, A. V., & Golubovskii, Y. B. The role of thermal effects in constriction of positive column in inert gases. Proceedings of 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019.
4. Kalanov, D., Kozakov, R., Siasko, A., Bösel, A., Golubovskii, Y., & Gortschakow, S. (2019). Spatially resolved LAAS/OES diagnostics of a free-burning Ar arc:

measurements of excited atom densities. Journal of Physics D: Applied Physics, 52(7), 075204.
5. Golubovskii, Y. B., Siasko, A. V., & Nekuchaev, V. O. (2019). Role of thermal effects in neon and argon constricted discharges. Plasma Sources Science and Technology, 28(4), 045007.
6. Golubovskii, Y., Valin, S., Pelyukhova, E., & Nekuchaev, V. (2019). Instabilities of a constricted gas discharge with respect to two-dimensional wave perturbations. Plasma Sources Science and Technology, 28(4), 045015.
7. Golubovskii, Y., Siasko, A., & Valin, S. (2019, November). Constriction and stratification of the positive column of a glow discharge in inert gases. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2179, No. 1, p. 020024). AIP Publishing.

Группа Иванова В.А. и Скобло Ю. Э.

1. Mylnikov, D., Efimov, A., & Ivanov, V. (2019). Measuring and optimization of energy transfer to the interelectrode gaps during the synthesis of nanoparticles in a spark discharge. Aerosol Science and Technology, 53(12), 1393-1403.
2. Ivanov, V. A., & Skoblo, Y. E. (2019). On the Selectivity of Population of the Neon Excited Levels in the Decaying He–Ne Plasma. Optics and Spectroscopy, 127(5), 820-824.
3. Gordeev, S. V., Ivanov, V. A., & Skoblo, Y. E. (2019). Dissociative Recombination of Ne_2^+ Molecular Ions with Electrons: Population of $Ne(2p^5 4p)$ Atoms in a Decaying Plasma. Optics and Spectroscopy, 127(3), 418-427.
4. Ivanov, V. A., Petrovskaya, A. S., & Skoblo, Y. E. (2019). Dissociation Energy and Dissociative Recombination of Ne_2^+ and HeNe+ Ions. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 128(5), 767-777.
5. Ivanov, V. A. (2019). Barrier Discharge in Helium at Medium Pressures. Afterglow Spectroscopy. Optics and Spectroscopy, 126(3), 167-172.

Группа Красева В.Ю.

1. Karasev, V. Y., Dzlieva, E. S., Pavlov, S. I., Novikov, L. A., & Mashek, I. C. (2019). Self-Rotation of Dust Particles in Induction-Type RF Discharge. Technical Physics, 64(1), 42-46.
2. Kartasheva, A. A., Golubovskii, Y. B., & Karasev, V. Y. Forced nonlinear vertical oscillations of a single dust particle trapped in a stratified glow discharge. Proceedings of 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019.
3. Karasev, V. Y., Dzlieva, E. S., Pavlov, S. I., Matvievskaya, O. V., Polischuk, V. A., Ermolenko, M. A., ... & Gorbenko, A. P. (2019). Surface modification of melamine formaldehyde resin particles in a stratified glow discharge in neon. Contributions to Plasma Physics, e201800145.
4. Pavlov, S. I., Dzlieva, E. S., D'yachkov, L. G., Novikov, L. A., Ermolenko, M. A., Ivanov, A. Y., & Karasev, V. Y. (2019). Observation of the dynamics of the dust structure in a dust trap in a double electric layer in a magnetic field up to 10,000 G. Contributions to Plasma Physics, e201800142.
5. Pavlov, S. I., Dzlieva, E. S., Novikov, L. A., Ermolenko, M. A., Ivanov, A. Y., D'yachkov, L. G., & Karasev, V. Y. (2019). Dusty plasma in the stratified glow discharge in moderate magnetic field. Contributions to Plasma Physics, e201800139.
6. Karasev, V. Y., Dzlieva, E. S., D'yachkov, L. G., Novikov, L. A., Pavlov, S. I., & Tarasov, S. A. (2019). The effect of magnetic field on plasma particles in dusty plasma. Contributions to Plasma Physics, e201800136.
7. Kartasheva, A. A., Golubovskii, Y. B., & Karasev, V. Y. The vibrational properties of the dust trap created in standing striation. Contributions to Plasma Physics, e201800170.

8. Dzlieva, E. S., D'yachkov, L. G., Novikov, L. A., Pavlov, S. I., & Karasev, V. Y. (2019). Fast rotation of dust particle structures in dc glow discharge in a strong magnetic field. Plasma Sources Science and Technology, 28(8), 085020.

Группа Иониха Ю.З.

1. Dyatko, N. A., Ionikh, Y. Z., & Napartovich, A. P. (2019). Influence of Nitrogen Admixture on Plasma Characteristics in a dc Argon Glow Discharge and in Afterglow. Atoms, 7(1), 13.
2. Ionikh, Y. Z., Meshchanov, A. V., & Ivanov, D. O. (2019). Dependence of the Breakdown Potential on the Voltage Rise Rate in a Long Discharge Tube at Low Pressure. Technical Physics, 64(7), 950-956.

Группа Девдариани А.З.

1. Devdariani, A. Z., Zagrebin, A. L., Kryukov, N. A., Lednev, M. G., & Timofeev, N. A. (2019). Influence of the Density of Buffer Gas Atoms on the Shape of the HgXe (A^30^+)→ HgXe (X^10^+) Excimer Band. Optics and Spectroscopy, 126(5), 455-457.
2. Kereselidze, T., Noselidze, I., & Devdariani, A. (2019). Algebraic solution of the problem of two Coulomb centres—the continuous spectrum. Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 52(10), 105003.
3. Devdariani, A. Z., Kryukov, N. A., Lednev, M. G., Zagrebin, A. L., & Olevskaia, V. V. (2019, July). Determination of the Radiative Characteristics of Molecular Transitions in the band HgXe (A^3O^+)–HgXe (X^1O^+). In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1289, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
4. Alekseeva, O. S., Devdariani, A. Z., Lednev, M. G., & Zagrebin, A. L. (2019, July). The probabilities of the $\nu'1(^3P_1)$–$\nu''0(^1S_1)$ transitions and radiative lifetimes of the $\nu'1(^3P_1)$ states of cdAr molecules. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1289, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
5. Devdariani, A. Z., Kryukov, N. A., Lednev, M. G., & Zagrebin, A. L. (2019, July). Radiative Decay of the Metastable State Hg (63P2) in an Atmosphere of Ar Atoms. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1289, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
6. Devdariani, A. Z. (2019, July). Bound-to-bound and bound-to-continuum optical transitions in negative quasi-molecules. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1289, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

Группа Сухомлинова В.С. и Тимофеева Н. А.

1. Timofeev, N. A., Sukhomlinov, V. S., Zissis, G., Mukharaeva, I. Y., Mikhailov, D. V., & Dupuis, P. (2019). Simulation of an Ultrahigh-Pressure Short-Arc Xenon Discharge Plasma. Technical Physics, 64(10), 1473-1479.
2. Timofeev, N. A., Sukhomlinov, V. S., Zissis, G., Mukharaeva, I. V., & Dupuis, P. (2019). Investigation of Short-Arc High-Pressure Xenon Discharge: Effect of Electrode Material Evaporation on Discharge Properties and Pulse Operation. IEEE Transactions on Plasma Science.
3. Murillo, O., Mustafaev, A. S., & Sukhomlinov, V. S. (2019). Structure of the Wall Sheath in a Gas-Discharge Plasma for an Arbitrary Orientation of a Flat Probe Relative to the Electric Field in the Plasma. Technical Physics, 64(10), 1462-1472.
4. Murillo, O., Mustafaev, A. S., & Sukhomlinov, V. S. (2019). Kinetic Theory of the Wall Sheath for Arbitrary Conditions in a Gas-Discharge Plasma. Technical Physics, 64(9), 1308-1318.
5. Smerdov, R. S., Mustafaev, A. S., Soukhomlinov, V. S., Spivak, Y. M., & Moshnikov, V. A. (2019, January). Nanostructured Porous Silicon and Graphene-based Materials for PETE Electrode Synthesys. In 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus) (pp. 786-790). IEEE.

Группа Кудрявцева А.А.

1. Saifutdinov, A. I., S. S. Sysoev, and A. A. Kudryavtsev. "Register impurities in the plasma forming gas helium in a large volume reactor using plasma electron spectroscopy method." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1328. No. 1. IOP Publishing, 2019.
2. Astashkevich, Sergey A., and Anatoly A. Kudryavtsev. "Creation of resonance photoplasma by concentrated solar/gas lamp irradiation. Self-consistent modeling." Physics of Plasmas 26.10 (2019): 103509.
3. Yuan, Chengxun, et al. "Formation of nonmonotonic profiles of densities and fluxes of charged particles and ambipolar field reversal in argon dusty plasmas." Plasma Sources Science and Technology 28.9 (2019): 095020.
4. Ruihuan, T. I. A. N., et al. "Influence of dust particles on spatial distributions of particles and fluxes in positive column of glow discharge." Plasma Science and Technology 21.11 (2019): 115404.
5. Ding, Zhe, et al. "The Influence of the Ambipolar Field on the Levitation Conditions of Dust Particles in the Positive Column of the Glow Discharge With a Change the Spatial Orientation of the Discharge Tube." IEEE Transactions on Plasma Science 47.9 (2019): 4391-4395.
6. Meng, Tianhang, et al. "Simulation of electron streamline distribution and coupling voltage in the coupling area of a Hall thruster." Plasma Sources Science and Technology 28.3 (2019): 035016.

Григорьян Г.М.

1. Bogdanowicz, R., Sobaszek, M., Sawczak, M., Grigorian, G. M., Ficek, M., Caban, P., ... & Cenian, A. (2019). Enhanced boron doping of thin diamond films grown in deuterium-rich microwave plasma. Diamond and Related Materials, 96, 198-206.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)

634055, г. Томск, Россия, просп. Академический, д. 2/3

Лаборатория плазменных источников

Окс Ефим Михайлович, зав. лаб., д.т.н.

Масс-зарядовый состав плазмы планарного магнетронного разряда

Для планарного магнетронного разряда проведено исследования распределения масс-зарядового состава плазмы вдоль оси системы. Показано, что в области вблизи катода – мишени доля ионов рабочего газа в несколько раз превышает долю ионов металла. По мере удаления от мишени доля металлических ионов в плазме возрастает и на определенных растояниях она может превышать газовый компонент ионов на порядок величины. Основное влияние на ионный состав плазмы и, соответственно, на соотношение ионов газа/металл оказывают ток разряда и рабочее давление. С увеличением тока разряда доля металлического ионного компонента в плазме растет, однако общий характер долевого отношения ионов в аксиальном направлении сохраняется. С ростом давления доля газовых ионов снижается, а металлических ионов - возрастает. Влияние рабочего давления на соотношение ионов газа и металла связано со снижением средней электронной температуры в плазме при увеличении рабочего давления и, как следствие, более высокой степенью ионизации материала мишени, имеющего более низкий потенциал ионизации, по сравнению с рабочим газом.

Литература

1. Maxim V. Shandrikov, Alexey S. Bugaev, Efim M. Oks, Alexander G. Ostanin, Alexey V. Vizir, Georgy Yu. Yushkov // Vacuum. Vol. 159, Jan. 2019, pp. 200–203.

2. Effects of gas pressure and discharge current on beam composition in a magnetron discharge ion source / Alexey Vizir, Efim Oks, Maxim Shandrikov, Bin Zhang, and Georgy Yushkov. // Review of Scientific Instruments 90, 113312 (2019); https://doi.org/10.1063/1.5125950

Лаборатория низкотемпературной плазмы
Королев Юрий Дмитриевич, г.н.с., д.ф.-м.н.

Метод запуска тиратрона с холодным катодом с использованием вспомогательного тлеющего разряда, обеспечивающий наносекундную стабильность срабатывания

Проведены исследования модернизированных тиратронов с холодным катодом ТРI1-10k/50 применительно к проблеме запуска прибора с наносекундной стабильностью. В данных приборах использован новый узел запуска на основе слаботочного тлеющего разряда с полым катодом и полым анодом. Выбраны оптимальные режимы поддержания разряда. Характерной особенностью режимов поддержания разряда является то, что паразитный ток на основную катодную полость появляется за счет потока ионов. В таких условиях удается достичь высокого (на уровне 40 кВ) напряжения, которое тиратрон выдерживает без пробоя Предложены и испытаны схемы запуска, обеспечивающие наносекундную стабильность срабатывания тиратрона относительно момента приложения импульса запуска. Наилучшие результаты соответствуют случаю, когда разброс срабатывания не превышает 3 нс.

Результат получен в рамках проекта РНФ № 19-19-00123.

Литература

1. Y. D. Korolev, N. V. Landl, V. G. Geyman, G. A. Argunov, O. B. Frants, A. V. Bolotov, “Methods of triggering for the cold-cathode thyratrons with a trigger system based on an auxiliary glow discharge,” AIP Advances, vol. 9, no. 8, Article Number 085326, Aug. 2019.

Лаборатория теоретической физики, лаборатория оптических излучения
Козырев Андрей Владимирович, г.н.с., д.ф.-м.н.;
Тарасенко Виктор Федотович, г.н.с., д.ф.-м.н.

Исследование тока смещения перед фронтом движущегося стримера при субнаносекундном пробое газонаполненного диода с сильно неоднородным электрическим полем

На основе ранее разработанной аналитической и численной модели движения проводящего канала с заданной скоростью в осесимметричной постановке исследована зависимость величины тока смещения от скорости движения стримера при субнаносекундном пробое газонаполненного диода с сильно неоднородным электрическим полем. Разработанные модели обобщены на случай конечной проводимости плазменного канала, формирующегося в геометрии острие–плоскость. Для моделирования условий эксперимента использовалась феноменологическая модель движения проводящего канала, проводимость которого менялась в диапазоне 10^{-1} – 10^{5} S/m. Впервые проведены прямые сравнения между экспериментально полученными данными при помощи стрик-камеры о положении фронта волны ионизации в зазоре в различные моменты времени и восстановленным ходом движения фронта волны ионизации, рассчитанным с использованием аналитической модели в цилиндрической постановке.

Работа выполнена при поддержке грантом Российского научного фонда (проект № 17-72-20072).

Литература

1. D.A. Sorokin, D.V. Beloplotov, A.A. Grishkov, V.A. Shklyaev, V.F. Tarasenko // Effect of streamer velocity on the characteristics of dynamic displacement current // Abstracts of 14th International Conference "Gas Discharge Plasmas and Their Applications" (GDP 2019) September 15–21, Tomsk, Russia, p. 39.
2. D. Beloplotov, A. Grishkov, UD. Sorokin, V. Shklyaev, V. Tarasenko // Relationship between dynamic displacement current and streamer velocity // Proc. of XXXIV ICPIG & ICRP-10, July 14–19, 2019, Sapporo, Hokkaido, Japan, p. 12.

Лаборатория плазменной эмиссионной электроники
Коваль Николай Николаевич, г.н.с., д.т.н.

Азимутально однородная генерация эмиссионной плазмы в электронном источнике с плазменным сеточным катодом

В электронном источнике с плазменным сеточным катодом, выполненном на основе импульсного дугового контрагированного разряда низкого давления, функционирующего с частичным погружением в продольное магнитное поле (величиной до 0.01–0.03 Т), достигнута азимутально однородная генерация эмиссионной плазмы около эмиссионной сетки увеличенного с 40 мм до 85 мм диаметра в режиме обтекания разрядным током дополнительного перераспределяющего плазму электрода диаметром 70 мм. Реализованное управление распределением плотности тока по сечению пучка позволило после транспортировки в магнитном поле получить пучок диаметром 20–55 мм, с энергией 5–25 кэВ, амплитудой тока 50–500 А с неоднородностью плотности тока по его сечению в пределах ±10%.

Разработанный плазменный сеточный катод и исследованные режимы его работы могут использоваться в электронных источниках, формирующих интенсивный низкоэнергетический однородный электронный пучок, перспективный для использования в процессах наноструктуризации поверхности материалов и изделий с целью улучшения их потребительских и эксплуатационных свойств.

Результат получен в рамках темы НИР государственного задания № 0366-2019-0008.

Литература

1. В.Н. Девятков, Н.Н. Коваль. Плазменные сеточные катоды на основе контрагированного дугового разряда для генерации импульсного интенсивного низкоэнергетического электронного пучка в плазмонаполненном диоде с продольным магнитным полем // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83. № 11. С. 1509–1513.

Лаборатория пучково-плазменной инженерии поверхности
Денисов Владимир Викторович, зав. лаб., к.т.н.

Импульсные пучково-плазменные образования, формируемые в несамостоятельном тлеющем разряде

В частотно-импульсном (до 100 Гц) несамостоятельном тлеющем разряде, поддерживаемым внешней инжекцией электронов, с полым катодом объемом 0,2 м^3 при низком давлении в диапазоне (0,05–0,5) Па в атмосфере аргона при напряжениях горения до 400 В, токах разряда до 750 А, длительности импульса около 1 мс синтезированы объемные пучково-плазменные образования с концентрацией до 2,5x10^{12} см$^{-3}$ при температуре электронов около 3 эВ. При давлении 0,1 Па в полом катоде достигнута степень ионизации плазмы около 8% и плотность электронного тока насыщения из плазмы около 12 А/см^2. Это позволяет использовать импульсные пучково-плазменные образования, формируемые в несамостоятельном тлеющем разряде, в качестве эмиссионной плазмы для генерации импульсных интенсивных электронных и ионных

пучков миллисекундной длительности, а также в качестве технологической объёмной плазмы.

Результат получен в рамках темы НИР государственного задания № 0291-2019-0002.

Литература

1. V.V. Denisov, Yu.H. Akhmadeev, N.N. Koval, S.S. Kovalsky, I.V. Lopatin, E.V. Ostroverkhov, N.N. Pedin, V.V. Yakovlev, and P.M. Schanin. The source of volume beam-plasma formations based on a high-current non-selfsustained glow discharge with a large hollow cathode // Phys. Plasmas, 26, 123510 (2019).

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)

119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

Отдел физической электроники ФИАН (ОФЭ ФИАН)

Месяц Геннадий Андреевич, зав. отделом, академик, Яландин Михаил Иванович, зав. лаб. академик (работа выполнена совместно с ИЭФ УрО РАН).

Объемный разряд в воздухе, инициируемый пучком убегающих электронов

Исследован механизм формирования наносекундного разряда в воздухе в условиях сильного перенапряжения на межэлектродном промежутке и усиления электрического поля в прикатодной области. Усиление электрического поля достигалось путем использования катода в виде стального цилиндра со скругленными краями и приводило к появлению пучка убегающих электронов, ток которых регистрировался с помощью коллекторного датчика с пикосекундным временным разрешением. Проведенные рефлектометрические измерения продемонстрировали, что инициирование разряда обусловлено генерацией пучка убегающих электронов длительностью несколько десятков пикосекунд. Анализ параметров разряда был проведен на основе аналогии с развитием импульсного разряда с многоэлектронным инициированием. где в качестве инициирующих электронов выступают убегающие электроны. Таким образом, было показано существование особого типа газового разряда, в котором многоэлектронное инициирование реализуется не от внешнего источника, а за счет процессов, происходящих при формировании самого разряда.

Литература

1. Месяц Г А, Яландин М И "Наносекундный объёмный разряд в воздухе, инициируемый пикосекундным пучком убегающих электронов" *УФН* **189** 747–751 (2019).

Месяц Геннадий Андреевич, зав. отделом, академик, Баренгольц Сергей Александрович, гнс, д.ф.-м.н, Уйманов Игорь Владимиролвич, снс, д.ф.-м.н, (работа выполнена совместно с ИОФ РАН и ИЭФ УрО РАН).

Механизм радиочастотного вакуумного пробоя на поверхности ускорительных структур линейных электрон-позитронных коллайдеров

Установлено, что в основе радиочастотного вакуумного пробоя на поверхности ускорительных структур линейных электрон-позитронных коллайдеров, как и в случае импульсного вакуумного пробоя, лежат взрывоэмиссионные процессы. Высокая плотность эмиссионного тока, обусловленная локальным усилением электрического поля на микроостриях на катоде, приводит к их разогреву и последующему электрическому взрыву. Процесс электрического взрыва микроострий сопровождается резким ростом эмиссионного тока в ускоряющей структуре, достигающего десятков-сотен ампер. Под действием образующейся при этом плотной плазмы происходит образование

микрократеров на стенках ускоряющей структуры. Взрывоэмиссионные процессы сопровождаются поглощением энергии ускоряющей электромагнитной волны, что приводит к возникновению эффекта «потерянной мощности» и, как следствие, потере темпа ускорения частиц.

Литература

1. Barengolts, S. A., Oreshkin, E. V., Oreshkin, V. I., Khishchenko, K. V.. Simulation of the Explosion of a Surface Microprotrusion During a Radio Frequency Breakdown. // IEEE Transactions on Plasma Science **47(8)** 3406-3411 (2019).
2. Barengolts S.A., Uimanov I.V., Shmelev D. L. . Prebreakdown Processes in a Metal Surface Microprotrusion Exposed to an RF Electromagnetic Field. // IEEE Transactions on Plasma Science **47(8)** 3406-3411 (2019).

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН (ИПМ им. М.В.Келдыша РАН)
125047, Москва, Россия, Миусская пл. 4
Отдел № 15
Шпатаковская Галина Васильевна, эксперт-советник, д.ф.-м.н.

Подведены итоги более ранних работ по исследованию орбитальных энергий связи в основном состоянии **многоэлектронных элементов**. Анализируется их зависимость от атомного номера и степени ионизации. В квазиклассическом приближении с использованием условия квантования Бора-Зоммерфельда показано, что для энергий связи электронов в заполненных оболочках атомов и ионов приближенно выполняется скейлинг, подобный тому, что имеется в модели Томаса-Ферми, но с двумя другими функциями-коэффицентами. Предложен эффективный метод представления энергий связи электронов в большом числе атомов через эти две функции. При этом наглядно проявляются особенности элементов главных и промежуточных групп, влияние релятивистских эффектов. Для найденных функций-коэффицентов построены простые интерполяционные выражения. Их использование дает возможность с погрешностью менее 10% для средних и от 10% до 30% для тяжелых элементов оценивать орбитальные энергии связи в заполненных оболочках многоэлектронных атомов и ионов. Эти результаты могут быть использованы в качестве начального приближения в прецезионных расчетах характеристик атомов и ионов, а также для приближенных расчетов сечений ионизации многоэлектронных атомов и ионов электронами и тяжелыми частицами при отсутствии в литературе более точных данных. [1].

Подобие по атомному номеру *K*- и *L*- рентгеновских термов в многоэлектронных атомах

Продолжена работа по исследованию орбитальных энергий связей в отдельных оболочках. Подход, использованный в нашей прошлогодней работе [***Письма в ЖЭТФ***. 2018. Том 108, вып. 11, с.781-784] применен к ионам. Теоретические результаты расчетов $\{E_{nlj}\}$ (n, l – главное и орбитальное числа, $j = l \mp 1/2$) с учетом релятивистских эффектов по модели Дирака-Фока для ионов ванадия (Z = 23), палладия (Z = 46) и урана (Z = 92) использовались для построения полиномиальных аппроксимаций функций $\log|e_n(\sigma,\alpha)|, \log d_{nlj}(\sigma,\alpha)$ ($\alpha = z/Z$, $\sigma = \pi n Z^{-1/3}$, z – заряд иона). Эти аппроксимации использовались для оценки рентгеновских термов K, L_I, L_{II}, L_{III} в других ионах этих же и других элементов. По этой теме сделан доклад на конференции Эльбрус - 2019 и подготовлена статья: [2].

Литература

1. Г.В. Шпатаковская. *Квазиклассический метод анализа и оценки орбитальных энергий связи в многоэлектронных атомах и ионах*. Успехи физических наук Т. 189. С. 195-206 (2019). doi: 10.3367/UFNr.2018.02038289
2. G.V. Shpatakovskaya «*X-ray K and L terms estimation in free many-electron atoms and ions*» Journal of Physics: Conference Series.