

ОТЗЫВ

на диссертацию Сайфутдинова Алмаза Ильгизовича на тему: «**Гидродинамические и гибридные модели электрических разрядов в газах и их приложения**», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность диссертации. В настоящее время низкотемпературная плазма газовых разрядов находит применения для решения многочисленных задач, связанных с получением наноматериалов, газовыми лазерами и плазменными двигателями, плазменной аэродинамикой, аналитической химией и др. Эффективное ее использование требует знания пространственно-временных параметров плазмы. Несмотря на очевидные успехи различных экспериментальных методик, которые фактически являются основным источником получения информации о параметрах плазмы, для разрядов при средних и особенно высоких давлениях (в том числе и атмосферном) основным источником информации о плазме является создание самосогласованных моделей и проведение численных расчетов. При этом при переходе к разрядам при высоких давлениях чрезвычайно важно при построении моделей учитывать многообразие протекающих процессов. Это и детальная кинетика элементарных столкновительных процессов, и нагрев газа в области формирования разряда и газодинамические процессы и взаимодействие со стенками и электродами, и нелокальность формирования функции распределения электронов (ФРЭ).

В связи с вышесказанным, диссертационная работа Сайфутдинова А.И., посвященная гидродинамическим и гибридным моделям электрических разрядов в газах и созданию некоторых современных приложений на их основе является чрезвычайно **актуальной**.

Структура и объем диссертации. Объем рецензируемой диссертации составляет 304 страницы, в ней представлены 106 рисунков и 18 таблиц. Список литературы включает 439 наименований. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Каждая глава, включая первую (обзорную) заканчивается небольшим выводом.

Во введении обосновывается актуальность исследований, формулируется цель и задачи исследований, теоретическая и практическая значимость работы, приводятся защищаемые положения.

В первой главе приведен достаточно подробный литературный обзор экспериментальных исследований рассматриваемых типов разрядов, современных математических моделей, приводится вывод расширенной гидродинамической модели.

Во второй главе рассматривается вопрос, связанный с единым подходом в описании различных режимов разрядов постоянного тока при атмосферном давлении: от таунсендовского и тлеющего режимов в дуговой.

В третьей главе численно исследуется влияние испарения материала электродов на характеристики дугового разряда в аргоне с графитовыми электродами.

В четвертой главе обсуждаются вопросы, связанные с параметрами плазмы в прикатодной области тлеющего разряда. Формулируется многоуровневая гибридная модель короткого тлеющего разряда и проводится численное моделирование для разряда при низких давлениях и при высоких давлениях в гелии. Анализируются спектры быстрых электронов на ФРЭ и дифференциальных потоках.

В пятой главе проводится зондовая диагностика параметров плазмы отрицательного свечения, а также сопоставление результатов гибридной модели с экспериментальными результатами. Кроме того, значительное внимание уделяется приложению плазмы отрицательного свечения короткого тлеющего разряда в анализе состава газовых примесей в гелии методом плазменной электронной спектроскопии.

В шестой главе формулируется подробная модель сфокусированного СВЧ-разряда в молекулярном азоте и проводятся численные исследования для СВЧ-разряда в реальной фокусирующей установке, предназначенной для исследований энерговклада в сверхзвуковые потоки газа, а также для СВЧ-разряда в пучности стоячей электромагнитной волны

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Методы исследований. Для решения поставленных в диссертации задач использовались методы теоретической физики, численные методы решения систем уравнений, проводились экспериментальные измерения электрических и внутренних характеристик разряда зондовыми методами.

Анализ диссертационной работы позволяет сделать вывод о **полной обоснованности** ее основных положений и правильности сделанных выводов.

Работа имеет **теоретическую и практическую значимость**. Полученные результаты расширяют и углубляют теоретические значения об электрофизических, кинетических и газодинамических параметрах плазмы тлеющих и дуговых разрядов, а также СВЧ-разрядов при средних и высоких давлениях. Разработанные модели могут быть удобным инструментом для специалистов в области физики и механики плазмы, а также междисциплинарных исследований с точки зрения разработки, проектирования и оптимизации реальных плазменных устройств: плазмохимических реакторов, плазменных актуаторов (приводов) для газодинамических приложений, аналитической химии и многих других.

Апробация полученных результатов

Основные материалы диссертации неоднократно обсуждались на научных семинарах, международных и российских научных. Результаты диссертации достаточно полно изложены в 65 публикациях автора, 62 из которых в журналах, входящих в международные базы WoS и Scopus, а также 3 патентах.

Достоверность, новизна и практическая ценность результатов диссертации. Достоверность результатов диссертации обусловлена применяемыми современными численными методами для решения задач математической физики, воспроизводимостью

полученных численных и экспериментальных результатов, их непротиворечивостью и удовлетворительным согласием друг с другом и с результатами других авторов.

При рецензировании диссертации возникли следующие вопросы:

1. Третья глава посвящена исследованию влияния испарения материала электродов на характеристики дугового разряда, однако отсутствуют сопоставления полученных результатов с экспериментом. Также в этой главе учитывалось испарение как с поверхности катода, так и с поверхности анода. Проводилась ли оценка с поверхности какого электрода преимущественно идет испарение?
2. В главе 4 проводятся численные расчеты по формированию спектров быстрых электронов на высокоэнергетичной части ФРЭ. Можно ли в рамках численных расчетов определить пределы обнаружения примесей по методике, описанной в главе 5?

Заключение по диссертации

Существенных замечаний нет, диссертационная работа, выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, практической ценностью, является самостоятельной и законченной научно-исследовательской работой выполненной автором на высоком научном уровне. Диссертация Сайфутдинова Алмаза Ильгизовича на тему «Гидродинамические и гибридные модели электрических разрядов в газах и их приложения» соответствует основным требованиям, установленным приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сайфутдинов Алмаз Ильгизович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Отзыв составил
теоретическим отделом ИОФРАН
доктор физико-математических наук, профессор

Игнатов А.М.

Контактные данные:

Телефон: +7 (499) 5038777 (доб. 747)

E-mail: aign@fpl.gpi.ru

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, ул. Вавилова, д.38,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)

Подпись Игнатова Александра Михайловича удостоверяю

ВРИО Ученого секретаря ИОФРАН
доктор физико-математических наук

14 июня 2023 г.



Глушков В.В.