

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

_____ М.Ю. Глявин

_____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Физика газового разряда

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность образовательной программы
01.04.08 «Физика плазмы»

Квалификация (степень)
исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Физика газового разряда» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является дисциплиной по выбору аспиранта, преподается на втором году обучения в четвертом семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование современного представления об основных типах газового разряда, о специфических особенностях и характерных параметрах газоразрядной плазмы, о методах теоретического описания газового разряда;
- формирование профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 01.04.08 «Физика плазмы».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и этап формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта</i> (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-2) Знать основные процессы, протекающие в газовом разряде, и методы их теоретического описания.</i> <i>У1 (ПК-2) Уметь использовать полученные знания для анализа и расчета конкретных типов разрядов, решения задач в области физики газового разряда.</i> <i>В1 (ПК-2) Владеть навыками проведения оценок параметров газоразрядной плазмы.</i>
ПК-3 <i>способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)</i> (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-3) Знать особенности разрядов основных типов (СВЧ и ВЧ разряды, тлеющий разряд и другие виды разрядов в постоянном поле), способы создания различных разрядов, их параметры, характерные неустойчивости разрядов.</i> <i>У1 (ПК-3) Уметь использовать полученные знания для анализа и расчета конкретных типов разрядов, решения задач в области физики газового разряда.</i> <i>В1 (ПК-3) Владеть информацией о приложениях газового разряда в науке и технике.</i>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 70 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Введение в физику газового разряда (ГР). Элементарные представления о нагреве электронов и взаимодействии электронов с электромагнитным полем	12	4		4	8
Процессы переноса в ГР.	12	4		4	8
Процессы столкновений в плазме ГР.	12	4		4	8
Образование и гибель заряженных частиц в ГР.	12	4		4	8
Функция распределения электронов по скоростям и энергиям в ГР	12	4		4	8
СВЧ и ВЧ разряды	12	4		4	8
Тлеющий разряд	12	4		4	8
Дуговой, коронный и искровой разряды	12	4		4	8
Приложения газовых разрядов	10	4		4	6
в т.ч. текущий контроль			4		
Промежуточная аттестация - зачет				2	
Итого		108			

Содержание разделов дисциплины

Введение в физику газового разряда. Элементарные представления о нагреве электронов и взаимодействии электронов с электромагнитным полем.

Предмет курса и основные понятия о газовом разряде (ГР): происхождение термина "газовый разряд", круг явлений, относящихся к понятию ГР, ГР как низкотемпературная плазма. Простейшее уравнение описывающее ГР – уравнение ионизационно рекомбинационного баланса; частота ионизации; пробой газа.

Нагрев электронов в рамках элементарной теории: уравнение движения электронов в заданном поле, уравнение для средней энергии электрона, параметры подобия и эффективное поле, набор электроном энергии в различных частотных диапазонах. Проводимость и диэлектрическая проницаемость ГР плазмы.

Процессы переноса в газовом разряде

Дрейф электронов, подвижность и дрейфовая скорость, соотношение между дрейфовой и тепловой скоростями. Лавина в постоянном поле - ионизационный коэффициент Таунсенда, Таунсендовский пробой. Диффузия и термодиффузия электронов: соотношение между диффузией и подвижностью (соотношение Эйнштейна), амбиполярная диффузия, диффузионные потери электронов. Диффузионный порог пробоя в СВЧ разряде (порог пробоя, поле пробоя и поддержания).

Процессы столкновений в плазме газового разряда

Частота и сечение столкновений. Упругие столкновения электронов с молекулами. Столкновения заряженных частиц. Неупругие столкновения: ионизация, возбуждение электронных уровней, возбуждение колебаний, диссоциация. Неупругие столкновения второго рода. Механизм нагрева газа в неравновесном разряде.

Образование и гибель заряженных частиц в газовом разряде

Ионизация. Рекомбинация. Равновесная концентрация электронов, формула Саха. Электроотрицательные газы: процессы прилипания, отлипания, ион-ионной рекомбинации. Пробой и поддержание разряда в электроотрицательном газе.

для ФР: уравнение Больцмана, интеграл столкновений, двучленное приближение. Уравнение для энергетического спектра. Учет неупругих столкновений.

СВЧ и ВЧ разряды

Виды сверхвысокочастотных (СВЧ) разрядов: разряд в волновых полях, разряд в волноводе, в резонаторе, разряд на поверхностной волне, ЭЦР разряд. Неустойчивости СВЧ разряда. Индукционный высокочастотный (ВЧ) разряд. Емкостный ВЧ разряд. Применения СВЧ и ВЧ разрядов.

Тлеющий разряд

Распределение параметров по длине разрядного промежутка, роль пространственного заряда. Катодный слой, нормальный и аномальный разряд, вольт-амперная характеристика (ВАХ). Отрицательное свечение, положительный столб, анодный слой. Неустойчивости тлеющего разряда, контракция, страты. Разновидности тлеющего разряда: пенинговый разряд, магнетронный, разряд с полым катодом. Применения тлеющего разряда.

Дуговой, коронный и искровой разряды

Дуговой разряд, ВАХ, переход тлеющего разряда в дуговой. Разновидности дугового разряда, равновесный и неравновесный дуговой разряд, из применение. Коронный разряд: стримерный пробой, механизм движения стримера, барьерный разряд. Лидерный механизм пробоя длинных промежутков. Разряды в природе, молния.

Приложения газовых разрядов

Свойства газоразрядной плазмы и приложения газового разряда. Электротехнические приложения. Источники света: лазеры, лампы, плазменные дисплеи. Плазмохимические приложения. Другие применения газового разряда.

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Физика газового разряда» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются следующие виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

Описание шкал оценивания

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме зачета. Зачет состоит из индивидуального собеседования и решения практических контрольных заданий. Критерии оценок выполнения задания:

Зачтено	В целом удовлетворительная подготовка, возможно с заметными, но не грубыми ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы собеседования, возможно с небольшими неточностями; допускаются негрубые ошибки при ответах на дополнительные вопросы. Полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, возможно с не всегда полной обоснованностью выводов.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы как на теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы преподавателя, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки.

6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности профессиональных компетенций ПК-2, ПК-3:

- 1) Пробой газа. Частота ионизации. Определение частоты ионизации по времени развития пробоя.
- 2) Нагрев электронов электрическим полем в рамках элементарной теории в различных частотных диапазонах. Параметры подобия. Эффективное поле.
- 3) Комплексная проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы газового разряда. Критическая концентрация электронов. Физические основы и методы СВЧ диагностики плазмы.
- 4) Дрейф и подвижность электронов. Соотношение между дрейфовой и тепловой скоростями.
- 5) Электронная лавина в постоянном поле. Ионизационный коэффициент Таунсенда. Таунсендовский пробой в постоянном поле. Кривая Пашена.
- 6) Свободная диффузия электронов. Связь между диффузией и подвижностью. Амбиполярная диффузия электронов. Радиус Дебая.
- 7) Диффузионные потери электронов. Диффузионный порог пробоя, величина поля пробоя и поддержания.
- 8) Частота, сечение и вероятность столкновений. Упругие столкновения электронов. Транспортные частота и сечение. Неупругие столкновения электронов с молекулами.
- 9) Процессы ионизации в газовом разряде. Процессы рекомбинации, рекомбинация комплексных ионов.
- 10) Равновесная концентрация электронов, формула Саха. Равновесная и неравновесная плазма.
- 11) Процессы прилипания электронов к молекулам. Процессы отлипания электронов от отрицательных ионов. Ион-ионная рекомбинация.
- 12) Пробой в электроотрицательном газе, величина поля пробоя и поддержания.
- 13) Функция распределения (ФР) электронов по скоростям и энергиям. Выражение через ФР различных параметров (частоты, константы, скорости ...). Двучленное приближение для ФР.
- 14) Интеграл столкновений. Уравнение для энергетического спектра электронов. Учет неупругих столкновений.
- 15) Способы создания СВЧ разрядов (в волновых пучках, в волноводе, в резонаторе, разряд на поверхностной волне, ЭЦР разряд). Неустойчивости СВЧ разрядов (ионизационно-перегревная, плазменно-резонансная). Применения СВЧ разрядов.

- 16) Индукционный ВЧ разряд. Емкостной ВЧ разряд. Применения ВЧ разрядов.
- 17) Тлеющий разряд. Роль пространственного заряда. Распределение параметров вдоль разрядной трубки. Катодный слой, отрицательное свечение, положительный столб тлеющего разряда. ВАХ разряда. Нормальное катодное падение потенциала. Нормальный и аномальный разряд.
- 18) Неустойчивости тлеющего разряда (контракция и страты). Способы создания тлеющего разряда и его разновидности. Применения тлеющих разрядов.
- 19) Дуговой разряд. ВАХ. Переход тлеющего разряда в дуговой. Виды дуговых разрядов. Применение дуговых разрядов.
- 20) Коронный и барьерный разряд. Стример. Разница между Таунсендовским и стримерным пробоем. Применение коронного (барьерного) разряда. Искровой пробой. Лидерный механизм пробоя длинных промежутков. Молния.
- 21) Механизмы плазмохимических реакций в газовом разряде. Примеры – синтез озона и осаждение алмаза из газовой фазы.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) И. Мак-Даниель. Процессы столкновений в ионизованных газах, М., Мир, 1967. - 832 с. - 3 экз.
- 2) Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М., Наука, 1987. -592 с. - 4 экз.
- 3) Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979. – 5 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Кудрявцев, А.А. Физика тлеющего разряда [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.А. Кудрявцев, А.С. Смирнов, Л.Д. Цендин.– 1 экз.
- 1) В.Е. Голант, А.П. Жилинский, С.А. Сахаров. Основы физики плазмы. 1977. -384 с. -6 экз. -160 с. -1 экз.
- 2) Швилкин Б. Н. - Газовая электроника и физика плазмы в задачах: [для физ. спец. вузов]. - М.: Наука, 1978. - 160 с.-2 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Журнал: Physics of Plasmas <http://phys.org/journals/physics-of-plasmas/>
- 2) Журнал: Plasma Science and Technology <http://iopscience.iop.org/1009-0630/>
- 3) Журнал: Plasma Sources Science and Technology <http://iopscience.iop.org/0963-0252/>
- 4) Национальный институт стандартов и Технологии, США <http://www.nist.gov/> (базы данных по химическим реакциям, по потенциалам ионизации, по спектрам излучения элементов)
- 5) Bristol University CVD Diamond Group <http://www.chm.bris.ac.uk/pt/diamond/> (синтез алмаза в газовом разряде)
- 6) Энциклопедия низкотемпературной плазмы http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_32431

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.08 Физика плазмы.

Автор _____ А.М. Горбачев

Ответственный за направление подготовки _____ Вл.В. Кочаровский

Рецензент:

Зав.отделом нелинейной электродинамики _____ М.Д. Токман,
д.ф.м.н., профессор

Программа принята на заседании Ученого совета Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОФПиЭБМ _____ О.С. Моченева

Программа принята на заседании Ученого совета отделения геофизических исследований и Центра гидроакустики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОГИиЦГ _____ М.В. Шаталина

Программа принята на заседании Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОНДиО _____ А.В. Коржиманов

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-2: Способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать основные процессы, протекающие в газовом разряде, и методы их теоретического описания	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь использовать полученные знания для анализа и расчета конкретных типов разрядов, решения задач в области физики газового разряда	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть навыками проведения оценок параметров газоразрядной плазмы	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаний	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %

ПК-3: Способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать особенности разрядов основных типов (СВЧ и ВЧ разряды, тлеющий разряд и другие виды разрядов в постоянном поле), способы создания различных разрядов, их параметры, характерные неустойчивости разрядов	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь использовать полученные знания для анализа и расчета конкретных типов разрядов, решения задач в области физики газового разряда	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть информацией о приложениях газового разряда в науке и технике	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаний	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %