

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Прикладная физика газового разряда

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.02 – Физика

Направленность образовательной программы
Общая и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.10 «Прикладная физика газового разряда» является факультативом в ООП направления подготовки 03.04.02 «Физика».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Демонстрация способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1: Знать основные процессы, протекающие в газовом разряде, и методы их теоретического описания, 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. Уметь использовать полученные знания для анализа и расчета конкретных типов разрядов, решения задач в области физики газового разряда. Владеть навыками проведения оценок параметров газоразрядной плазмы, а также информацией о приложениях газового разряда в науке и технике.	Задачи	Задачи Собеседование

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость	2

Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	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	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1. Введение в физику газового разряда (ГР). Элементарные представления о нагреве электронов и взаимодействии электронов с электромагнитным полем	7	2	1	0	3	4
Тема 2. Процессы переноса в ГР.	7	2	1	0	3	4
Тема 3. Процессы столкновений в плазме ГР.	8	2	2	0	4	4
Тема 4. Образование и гибель заряженных частиц в ГР.	8	2	2	0	4	4
Тема 5. Функция распределения электронов по скоростям и энергиям в ГР	8	2	2	0	4	4
Тема 6. СВЧ и ВЧ разряды	7	1	2	0	3	4
Тема 7. Тлеющий разряд	8	2	2	0	4	4
Тема 8. Дуговой, коронный и искровой разряды	9	2	2	0	4	5
Тема 9. Приложения газовых разрядов	9	1	2	0	3	6

Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	72	16	16	0	33	39

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для самостоятельной работы обучающимся предлагается использовать основную и дополнительную литературу и/или электронные Интернет-ресурсы.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1.

Напряжение Таунсендовского пробоя промежутка шириной 1 см составляет 400 В. Оцените концентрацию заряженных частиц, при которой можно пренебречь влиянием пространственного заряда на распределение поля.

Задача 2.

Найдите энергию колебаний электрона в поле электромагнитной волны с частотой $\omega=2\pi \cdot 10^{10}$ Гц и амплитудой электрического поля 300В/см. Какова величина средней энергии электрона? Какое характерное время необходимо для набора электроном средней энергии? $\delta=0.01$ $\nu_m=10^9$ с⁻¹.

Задача 3.

Найдите профиль концентрации электронов на поздних стадиях диффузионного распада плазмы, для разряда между двумя параллельными пластинами, размеры которых много больше расстояния между ними.

Задача 4.

Найдите плотность потока энергии в каждом пучке, обеспечивающем пробой воздуха при давлении 50 Торр за 50 нс в двух скрещенных ТЕ пучках.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено		основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Плохо	неудовлетворительно	Удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

5.3.2 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1.

Напряжение Таунсендовского пробоя промежутка шириной 1 см составляет 400 В. Оцените концентрацию заряженных частиц, при которой можно пренебречь влиянием пространственного заряда на распределение поля.

Задача 2.

Найдите энергию колебаний электрона в поле электромагнитной волны с частотой $\omega = 2\pi \cdot 10^{10}$ Гц и амплитудой электрического поля 300 В/см. Какова величина средней энергии электрона? Какое характерное время необходимо для набора электроном средней энергии? $\delta = 0.01$ $\nu_m = 10^9$ с⁻¹.

Задача 3.

Найдите профиль концентрации электронов на поздних стадиях диффузионного распада плазмы, для разряда между двумя параллельными пластинами, размеры которых много больше расстояния между ними.

Задача 4.

Найдите плотность потока энергии в каждом пучке, обеспечивающем пробой воздуха при давлении 50 Торр за 50 нс в двух скрещенных ТЕ пучках.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения.

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено		Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа

Оценка		Критерии оценивания
		обучающегося от ответа.

Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1

- 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место

Оценка		Критерии оценивания
Не зачтено		грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) И. Мак-Даниель. Процессы столкновений в ионизованных газах, М., Мир, 1967. -832 с. -5 экз.
- 2) Газовый разряд и его применение в фотонике: учебное пособие [Электронный ресурс] / Иванов И.Г. - Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2009. -
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927506132.html>
- 3) Кудрявцев, А.А. Физика тлеющего разряда [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.А. Кудрявцев, А.С. Смирнов, Л.Д. Цендин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 512 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/552>
- 4) С. Браун. Элементарные процессы в плазме газового разряда. М., Госатомиздат, 1961. -323 с. -5 экз.

б) дополнительная литература:

1. Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М., Наука, 1987. -592 с. -3 экз.
2. В.Е. Голант, А.П. Жилинский, С.А. Сахаров. Основы физики плазмы. 1977. -384 с. -6 экз. - 160 с. -3 экз.
3. Швилкин Б. Н. - Газовая электроника и физика плазмы в задачах: [для физ. спец. вузов]. - М.: Наука, 1978. - 160 с.-3 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 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/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для

подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): А.М.Горбачев

Заведующий кафедрой: Господчиков Егор Дмитриевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.06.2022 г., протокол № 3.