

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Инженерный институт



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Д.А. Таюрский

» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Физика газового разряда Б1.В.ДВ.6

Направление подготовки: 16.03.01 - Техническая физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

**Автор(ы):** Шарифуллин С.Н., Файрушин Ильназ Изаилович

**Рецензент(ы):** Кашапов Н.Ф.

### СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Кашапов Н. Ф.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Инженерного института:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (доцент) Шарифуллин С.Н. (кафедра технической физики и энергетики, Инженерный институт), Saidchist@mail.ru ; Файрушин Ильназ Изаилович

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3	способностью к теоретическим и экспериментальным исследованиям в избранной области технической физики, готовностью учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности
ОПК-8	способностью самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней
ПК-14	способностью разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров
ПК-9	способностью использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса, изучения свойств физико-технических объектов, изделий и материалов

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

физические основы процессов интегрированных в процесс электрического разряда в газах;  
уравнения теории электрического разряда в газах и методы их решения;  
принципы работы и устройство современных измерительных средств для исследования электрических разрядов в газах.

Должен уметь:

применять методы физики газового разряда к решению практических задач;  
выполнять расчеты, связанные с проектированием новых и модернизации имеющихся промышленных разрядных камер;  
использовать современные образовательные и информационные технологии для приобретения новых знаний в области теории и практики газового разряда.

Должен владеть:

математическим аппаратом физики газового разряда;  
навыками проведения расчетов процесса электрического разряда в газах с заданными параметрами;  
навыками работы с современной измерительной аппаратурой.

Должен демонстрировать способность и готовность:

проводить теоретические и экспериментальные исследования газовых разрядов, направленные на решение задач энерго- и ресурсосбережения;  
выполнять физико-технические расчеты с целью создания новых и модернизации существующих газоразрядных установок;  
оценивать инновационный потенциал результатов работы.

### 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 16.03.01 "Техническая физика (не предусмотрено)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных(ые) единиц(ы) на 252 часа(ов).

Контактная работа - 130 часа(ов), в том числе лекции - 36 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 76 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 59 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 63 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение	7	1	0	0	2
2.	Тема 2. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом	7	1	1	4	2
3.	Тема 3. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами	7	2	1	4	3
4.	Тема 4. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле	7	2	1	4	3
5.	Тема 5. Образование и гибель заряженных частиц в газе	7	2	1	4	3
6.	Тема 6. Испускание электронов твердыми телами	7	2	1	6	3
7.	Тема 7. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями	7	2	1	6	4
8.	Тема 8. Излучение и поглощение света плазмой	7	2	1	4	4
9.	Тема 9. Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле	7	2	1	4	4
10.	Тема 10. Электрические зонды	7	2	1	4	4
11.	Тема 11. Пробой газов в полях различных частотных диапазонов	7	2	1	4	4
12.	Тема 12. Стабильный тлеющий разряд	7	2	1	4	4
13.	Тема 13. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия	7	2	1	4	4
14.	Тема 14. Дуговые разряды	7	2	1	4	3
15.	Тема 15. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов	7	2	1	4	4
16.	Тема 16. Искровой разряд	7	2	1	4	4
17.	Тема 17. Коронный разряд	7	2	1	4	4
18.	Тема 18. Высокочастотный емкостной разряд	7	2	1	4	0

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
19.	Тема 19. Разряды в мощных CO <sub>2</sub> - лазерах непрерывного действия	7	2	1	4	0
	Итого		36	18	76	59

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение

Что изучает физика газового разряда. Типичные разряды в постоянном электрическом поле. Классификация разрядных процессов. Несамостоятельные и самостоятельные разряды (темный таунсендовский разряд, тлеющий разряд, дуговой разряд, коронный разряд, искровой разряд). Коротко об истории исследования разрядов.

### Тема 2. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом

Основные понятия физики атомных столкновений и кинетической теории газов. Эффективное сечение. Частота столкновений. Длина свободного пробега. Сечения рассеяния электронов нейтральными атомами и молекулами. Транспортное сечение и потери импульса. Потери импульса и энергии электронов. Кулоновские столкновения заряженных частиц.

### Тема 3. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами

Основные понятия и определения физики атомных столкновений и кинетической теории газов. Столкновение электронов с нейтральными частицами. Столкновения между заряженными частицами (упругие и неупругие). Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Ионизация. Возбуждение и дезактивация электронных состояний.

### Тема 4. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле

Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Проводимость ионизованного газа. Энергия электронов. Диффузия электронов. Ионы. Амбиполярная диффузия. Протекание электрического тока в плазме в присутствии продольных градиентов плотности зарядов. Гидродинамическое описание электронного газа. Движение зарядов в присутствии магнитного поля.

### Тема 5. Образование и гибель заряженных частиц в газе

Различные механизмы и их роль в условиях газового разряда. Ионизация электронным ударом в электрическом поле. Фотоионизация. Ионизация при столкновении возбужденного атома с нейтральными атомом или молекулой. Термодинамически равновесная плотность электронов. Образование и разрушение отрицательных ионов.

### Тема 6. Испускание электронов твердыми телами

Электроны проводимости в металле. Эмиссия электронов из твердых тел. Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. автоэлектронная эмиссия. Термоавтоэлектронная эмиссия. Вторичная эмиссия с холодного катода. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальное вырывание. Фотоэффект с поверхности характеризующийся квантовым выходом.

### Тема 7. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями

Колебания электронов в осциллирующем поле. Свободные колебания. Влияние столкновений и обмен квантами между полем излучения и свободными электронами в газе. Энергия электронов. Полуклассический способ нахождения квантовых коэффициентов. Фактические принципы применимости классического подхода к эффектам взаимодействия.

### Тема 8. Излучение и поглощение света плазмой

Типы радиационных переходов. Тормозное излучение при столкновениях электронов. Рекомбинационное излучение. Полное испускание в непрерывном спектре. Поглощение в непрерывном спектре. Излучение спектральных линий. Селективное поглощение. Молекулярные спектры. Перенос излучения, выход его из плазменного объема, радиационные потери. Принцип действия лазера.

### Тема 9. Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле

Описание электронных процессов при помощи функции распределения по скоростям. Формулировка кинетического уравнения. Сравнение некоторых выводов, вытекающих из кинетического уравнения, с результатами элементарной теории. Стационарный спектр электронов в поле при действии упругих потерь и влияние неупругих.

### Тема 10. Электрические зонды

Введение. Схема эксперимента. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда. Теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току. Техника измерения функции распределения. Ионный ток на зонд в разреженной плазме. Ток в вакуумном диоде и слой пространственного заряда около заряженного тела. Двойной зонд. Зонд в плазме повышенного давления.

#### **Тема 11. Пробой газов в полях различных частотных диапазонов**

Сущность явления. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле при не слишком больших произведениях давления на длину промежутка. Эксперименты по пробоем в СВЧ полях. Вычисление частот ионизации и порогов пробоя на основе кинетического уравнения. Оптический пробой. Способы возбуждения высокочастотного поля в разрядном объеме.

#### **Тема 12. Стабильный тлеющий разряд**

Общая структура и внешний вид. Вольт-амперная характеристика разряда между электродами. Катодный слой. Области отрицательного свечения и темного фарадеева пространства. Положительный столб. Влияние нагрева газа на поле и ВАХ положительного столба. Плазма электроотрицательных газов. Разряд в быстром потоке газа.

#### **Тема 13. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия**

От чего возникают и к чему приводят неустойчивости? Квазистационарные параметры. Возмущения поля и электронной температуры в условиях ее квазистационарности. Ионизационно-перегревная неустойчивость. Прилипательная неустойчивость. Некоторые другие часто действующие дестабилизирующие факторы. Страты. Контракция положительного столба.

#### **Тема 14. Дуговые разряды**

Определение и отличительные признаки дуги. Виды дуг. Зажигание дуги. Угольная дуга в свободном воздухе. Прикатодные процессы в дуге с горячим катодом. Катодные пятна и вакуумная дуга. Анодная область. Дуга низкого давления с искусственным накалом катода. Положительный столб дуги высокого давления. Температура плазмы и ВАХ столба дуги высокого давления.

#### **Тема 15. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов**

Введение. Баланс энергии плазмы. Уравнение баланса энергии. Закон сохранения полного потока энергии в стационарных статических разрядах. Столб дуги в постоянном поле. Высокочастотный индукционный разряд. Сверхвысокочастотные разряды. Непрерывный оптический разряд. Генераторы плотной низкотемпературной плазмы - пламотроны.

#### **Тема 16. Искровой разряд**

Общие представления. Одиноканальная электронная лавина. Понятие о стримере. Пробой и стример в электроотрицательных газах (воздухе) в не очень длинных промежутках с однородным полем. Искровой канал. Модели распространения стримера. Пробой длинных воздушных промежутков с сильно неоднородным полем. Лидерный механизм пробоя длинных промежутков.

#### **Тема 17. Коронный разряд**

Распределения поля в простейших случаях. Критерии зажигания. Положительная корона. Вторичные фотопроцессы. Пороги в воздухе. Запоздывание зажигания. Перенос тока за пределами области размножения и ВАХ. Потери на корону в высоковольтных линиях. Прерывистая корона. Положительное острие (эксперимент). Отрицательное острие.

#### **Тема 18. Высокочастотный емкостной разряд**

Дрейфовые качания электронного газа. Идеализированная модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях. Электрические процессы в непроводящем приэлектродном слое и механизм замыкания тока. Структура разряда среднего давления по результатам численного моделирования. Диэлектрический барьерный разряд.

#### **Тема 19. Разряды в мощных CO<sub>2</sub> - лазерах непрерывного действия**

Принцип работы электроразрядного лазера на CO<sub>2</sub>. Лазерный переход в молекуле CO<sub>2</sub>. Механизм создания инверсной заселенности. Недопустимость сильного нагрева при работе CO<sub>2</sub>-лазера. Два типа лазеров отличающихся теплоотводом. Способы борьбы с неустойчивостями. Пути организации разряда в больших объемах с потоком газа.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:



Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301).

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений".

Положение от 29 декабря 2018 г. № 0.1.1.67-08/328 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

## 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 7</b>			
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Письменная работа	ОПК-3	6. Испускание электронов твердыми телами 10. Электрические зонды
2	Тестирование	ОПК-8	2. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом 12. Стабильный тлеющий разряд
3	Реферат	ПК-9	16. Искровой разряд 18. Высокочастотный емкостной разряд
	<b>Экзамен</b>	ОПК-3, ОПК-8, ПК-14, ПК-9	

### 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Семестр 7</b>					
<b>Текущий контроль</b>					

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Письменная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьезные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	1
Тестирование	86% правильных ответов и более.	От 71% до 85 % правильных ответов.	От 56% до 70% правильных ответов.	55% правильных ответов и менее.	2
Реферат	Тема раскрыта полностью. Продемонстрировано превосходное владение материалом. Используются надлежащие источники в нужном количестве. Структура работы соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы высокая.	Тема в основном раскрыта. Продемонстрировано хорошее владение материалом. Используются надлежащие источники. Структура работы в основном соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы средняя.	Тема раскрыта слабо. Продемонстрировано удовлетворительное владение материалом. Используемые источники и структура работы частично соответствуют поставленным задачам. Степень самостоятельности работы низкая.	Тема не раскрыта. Продемонстрировано неудовлетворительное владение материалом. Используемые источники недостаточны. Структура работы не соответствует поставленным задачам. Работа несамостоятельна.	3
Экзамен	Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.	Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	



### **6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### **Семестр 7**

#### **Текущий контроль**

##### **1. Письменная работа**

Темы 6, 10

1. Упругое рассеяние по классической механике. Обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния. Столкновения ионов с нейтральными частицами. Резонансная перезарядка. Экранирование зарядов в плазме и дебаевский радиус. Столкновения заряженных частиц.
2. Возбуждение молекулярных колебаний. Замечания о возбуждении и ионизации ионами. Возбуждение вращений молекул. Диссоциация молекул.
3. Возбуждение молекулярных колебаний. Замечания о возбуждении и ионизации ионами. лабораторная работа Возбуждение вращений молекул. Диссоциация молекул.
4. Гидродинамическое описание электронов. Движение зарядов в газе в присутствии магнитного поля. Проводимость ионизованного газа. Протекание электрического тока в плазме в присутствии продольных градиентов плотности зарядов.
5. Рекомбинация электронов и положительных ионов. Образование молекулярных ионов в атомарных газах. Прилипание электронов к атомам и молекулам. Освобождение электронов из отрицательных ионов. Диффузионные потери зарядов.
6. Эффективный коэффициент вторичной эмиссии в разряде. Вырывание электронов из тела сильным электрическим полем. Эмиссия электронов под действием частиц. Элементарный ток в цепи, содержащей разрядный промежуток.
7. Основные уравнения электродинамики сплошных сред. Высоочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Энергия электронов. Полное отражение электромагнитной волны от плазмы. Плазменные колебания и волны.
8. Полное испускание в непрерывном спектре. Излучение спектральных линий. Молекулярные спектры. Перенос излучения, выход его из плазменного объема радиационные потери. Принцип действия лазера.
9. Приближение для угловой зависимости функции распределения. Уравнение для энергетического спектра электронов. Критерии справедливости уравнения для спектра. Пространственно неоднородные поля произвольной силы. Квантовое уравнение для электронного спектра и переход к классике.

##### **2. Тестирование**

Темы 2, 12

Электрические зонды

1. Схема эксперимента.
2. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда.
3. Теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току.
4. техника измерения функции распределения.
5. Ионный ток на зонд в разреженной плазме.
6. Ток в вакуумном диоде и слой пространственного заряда около заряженного тела.
7. Двойной зонд.
8. Зонд в плазме повышенного давления.

Пробой газов различных частотных диапазонах

1. Сущность явления пробоя в газах.
2. Эксперименты по пробую в СВЧ полях.
3. Вычисление частот ионизации и порогов пробоя на основе кинетического уравнения.
4. Оптический пробой.
5. Способы возбуждения высокочастотного поля в разрядном объеме.
6. Пробой в полях высокочастотного и низкочастотного диапазонов.

Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия

1. Сущность явления неустойчивости газового разряда.
2. Квазистационарные параметры.
3. Возмущения поля и электронной температуры.
4. Ионизационно-перегревная неустойчивость.
5. Прилипательная неустойчивость.
6. Страты.
7. Контракция положительного столба.

Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов

1. Баланс энергии плазмы
2. Столб дуги в постоянном поле.
3. Высокочастотный индукционный разряд.
4. Сверхвысокочастотные разряды.

5. Непрерывный оптический разряд.
6. Генераторы плотной низкотемпературной плазмы.

### 3. Реферат

Темы 16, 18

Стабильный тлеющий разряд

1. Общая структура и внешний вид
2. Вольт-амперная характеристика разряда между электродами
3. Темный разряд и роль пространственных зарядов в образовании катодного слоя
4. Катодный слой
5. Переходная область между катодным слоем и однородным положительным столбом
6. Положительный столб
7. Влияние нагрева газа на поле и ВАХ положительного столба
8. Плазма электроотрицательных газов
9. Разряд в быстром потоке газа
10. Анодный слой.

Дуговые разряды

1. Определение и отличительные признаки дуги
2. Виды дуг
3. Зажигание дуги
4. Угольная дуга в свободном воздухе
5. Прикатодные процессы в дуге с горячим катодом
6. Катодные пятна и вакуумная дуга
7. Анодная область
8. Дуга низкого давления с искусственным накалом катода
9. Положительный столб дуги высокого давления
10. Отрыв электронной и газовой температур в равновесной плазме

Искровой и коронный разряды.

1. Одинокрая электронная лавина
2. Понятие о стримере
3. Пробой и стример в электроотрицательных газах (воздухе)
4. Искровой канал
5. Коронный разряд. Основные понятия.
6. Пробой длинных воздушных промежутков с сильно неоднородным полем.
7. Лидерный механизм пробоя длинных промежутков.
8. Молния
9. Обратная волна (возвратный удар)
10. Отрицательный ступенчатый лидер.

Высокочастотный емкостной разряд

1. Дрейфовые качания электронного газа
2. ВАХ однородного положительного столба
3. Электрические процессы в непроводящем приэлектродном слое и механизм замыкания тока.
4. Постоянный положительный потенциал плазмы слаботокового разряда
5. Сильноточный режим
6. Структура разряда среднего давления по результатам численного моделирования
7. Нормальная плотность тока в слаботоковом режиме

Разряды в мощных CO<sub>2</sub> - лазерах непрерывного действия

1. Принцип работы электроразрядного лазера на CO<sub>2</sub>
2. Два типа лазера отличающихся способом теплоотвода
3. Способы предотвращения неустойчивостей
4. Организация разряда в больших объемах с протоком газа

### Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Упругое рассеяние по классической механике. Обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния. Столкновения ионов с нейтральными частицами. Резонансная перезарядка. Экранирование зарядов в плазме и дебаевский радиус. Столкновения заряженных частиц.
2. Возбуждение молекулярных колебаний. Замечания о возбуждении и ионизации ионами. Возбуждение вращений молекул. Диссоциация молекул.
3. Возбуждение молекулярных колебаний. Замечания о возбуждении и ионизации ионами. лабораторная работа Возбуждение вращений молекул. Диссоциация молекул.

4. Гидродинамическое описание электронов. Движение зарядов в газе в присутствии магнитного поля. Проводимость ионизованного газа. Протекание электрического тока в плазме в присутствии продольных градиентов плотности зарядов.
5. Рекомбинация электронов и положительных ионов. Образование молекулярных ионов в атомарных газах. Прилипание электронов к атомам и молекулам. Освобождение электронов из отрицательных ионов. Диффузионные потери зарядов.
6. Эффективный коэффициент вторичной эмиссии в разряде. Вырывание электронов из тела сильным электрическим полем. Эмиссия электронов под действием частиц. Элементарный ток в цепи, содержащей разрядный промежуток.
7. Основные уравнения электродинамики сплошных сред. Высоочастотная проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Энергия электронов. Полное отражение электромагнитной волны от плазмы. Плазменные колебания и волны.
8. Полное испускание в непрерывном спектре. Излучение спектральных линий. Молекулярные спектры. Перенос излучения, выход его из плазменного объема радиационные потери. Принцип действия лазера.
9. Приближение для угловой зависимости функции распределения. Уравнение для энергетического спектра электронов. Критерии справедливости уравнения для спектра. Пространственно неоднородные поля произвольной силы. Квантовое уравнение для электронного спектра и переход к классике.
10. Теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току. Техника измерения функции распределения. Ток в вакуумном диоде и слой пространственного заряда около заряженного тела. Двойной зонд. Зонд в плазме повышенного давления.
11. Вычисление частот ионизации и порогов пробоя на основе кинетического уравнения. Оптический пробой. Интерпретация результатов экспериментов по СВЧ-пробою на основе элементарной теории. Способы возбуждения высокочастотного поля в разрядном объеме. Пробой в полях высокочастотного и низкочастотного диапазонов.
12. Темный разряд и роль пространственных зарядов в образовании катодного слоя. Катодный слой. Положительный столб. Влияние нагрева газа на поле и ВАХ положительного столба. Плазма электроотрицательных газов. Разряд в быстром потоке газа. Анодный слой.
13. Ионизационно-перегревная неустойчивость. Прилипательная неустойчивость. Контракция положительного столба.
14. Отрыв электронной и газовой температур в равновесной плазме. Анодная область. Дуга низкого давления с искусственным накатом катода. Положительный столб дуги высокого давления (экспериментальные факты). Температура плазмы и ВАХ столба дуги высокого давления.
15. Непрерывный оптический разряд. Генераторы плотной низкотемпературной плазмы - плазмотроны. Некоторые общие черты равновесных разрядов в потоке газа.
16. Лидерный процесс; положительный лидер. Отрицательный ступенчатый лидер. Обратная волна (возвратный удар). Пробой в электроотрицательных газах (воздухе) в недлинных промежутках с однородным полем. Искровой канал. Стримерный процесс. Пробой длинных воздушных промежутков с сильно неоднородным полем (эксперимент).
17. Потери на корону в высоковольтных линиях. Зажигание короны. Прерывистая корона. Нестационарная корона в естественных условиях. Корона и пробой газа постоянным полем в сферическом и цилиндрическом промежутках.
18. Идеализированная модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях. Нормальная плотность тока в слаботочном режиме и пределы его существования. ВАХ однородного положительного столба. Эксперимент - о двух формах существования ВЧЕ-разрядов и постоянном положительном потенциале пространства. Постоянный положительный потенциал плазмы слаботочного разряда. Сильноточный режим.
19. Способы борьбы с неустойчивостями. Два типа лазеров, различающихся способом теплоотвода. Пути организации разряда в больших объемах с потоком газа.

#### **6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 7</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Письменная работа	Обучающиеся получают задание по освещению определённых теоретических вопросов или решению задач. Работа выполняется письменно и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	20
Тестирование	Тестирование проходит в письменной форме или с использованием компьютерных средств. Обучающийся получает определённое количество тестовых заданий. На выполнение выделяется фиксированное время в зависимости от количества заданий. Оценка выставляется в зависимости от процента правильно выполненных заданий.	2	20
Реферат	Обучающиеся самостоятельно пишут работу на заданную тему и сдают преподавателю в письменном виде. В работе производится обзор материала в определённой тематической области либо предлагается собственное решение определённой теоретической или практической проблемы. Оцениваются проработка источников, изложение материала, формулировка выводов, соблюдение требований к структуре и оформлению работы, своевременность выполнения. В случае публичной защиты реферата оцениваются также ораторские способности.	3	10
<b>Экзамен</b>	Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, в которых содержатся вопросы (задания) по всем темам курса. Обучающемуся даётся время на подготовку. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

**7.1 Основная литература:**

1. Рожанский В.А. Теория плазмы. 1-е издание [Электронный ресурс] /В.А. Рожанский. - М.: изд-во 'Лань', 2012. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1233-4. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2769>
2. Голант В.Е. Основы физики плазмы [Электронный ресурс] /В.Е. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. - М.: изд-во 'Лань', 2011. - 448 с. - ISBN 978-5-16-005711-8. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/1550>
3. Кудрявцев А.А. Физика тлеющего разряда [Электронный ресурс] /А.А. Кудрявцев, А.С. Смирнов, Л.Д. Цендин. - М.: изд-во 'Лань', 2010. - 512 с. - ISBN 978-5-8199-0576-0. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/552>

**7.2. Дополнительная литература:**

1. Лепешев, А. А. Плазмохимический синтез нанодисперсных порошков и полимерных нанокompозитов [Электронный ресурс] /А. А. Лепешев, А. В. Ушаков, И. В. Карпов. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. - 328 с. - ISBN 978-5-7638-2502-2. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=442144>
2. Ильин А.А. Вакуумная ионно-плазменная обработка: Учебное пособие [Электронный ресурс] /А.А. Ильин, В.В. Плихунов, Л.М. Петров и др. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160 с.: ил.; 60x90 1/16. - ISBN 978-5-98281-366-4. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=426490>

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

- Амбиполярная диффузия - [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/0102.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0102.html)  
 Плазма - <http://www.help-rus-student.ru/text/60/173.htm>  
 ПРОЦЕССЫ в плазме - [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/4211/ПЕРЕНОСА](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/4211/ПЕРЕНОСА)  
 Процессы переноса в плазме - [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_2/2804.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2804.html)  
 Явление переноса - [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/1953/ПЕРЕНОСА](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/1953/ПЕРЕНОСА)

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретического обучения. Поэтому в ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Лекционный материал и предлагаемая преподавателем литература даст систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, раскроет состояния и перспективы развития рассматриваемых вопросов, сконцентрирует внимание студентов на наиболее сложных узловых вопросах, будет стимулировать их активную познавательную деятельность, формировать творческое мышление.
практические занятия	Практические занятия по курсу имеют цель развития у студентов алгоритмического мышления в степени, необходимой для быстрого и полного освоения компьютерных технологий, применяемых в различных предметных областях, а также способности видеть и формулировать задачи новых применений компьютера в будущей профессиональной деятельности.
лабораторные работы	При проведении лабораторных занятий студенты должны заранее подготовиться к лабораторной работе, сдать теоретические основы и получить допуск к выполнению практической части лабораторной работы. По итогам практической работы студенты должны составить отчет. Отчет должен содержать данные по использованным приборам и оборудованию, паспортные данные на электрические машины, схемы по которым велись испытания, таблицы и графики, а также пояснения позволяющие судить о точности замеров или вычислений. Отчет должен быть аккуратно оформлен и иметь конкретные выводы по результатам выполненных экспериментов. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдается преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий при выполнении лабораторных работ
самостоятельная работа	Наряду с чтением лекций профессорско-преподавательским составом кафедры, изучением основной и дополнительной литературы по курсу студентам рекомендуется проведение самостоятельной работы. Самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью учебной работы и предназначена для достижения следующих целей: <ul style="list-style-type: none"> <li>- закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков;</li> <li>- подготовка к предстоящим занятиям, зачетам;</li> <li>- формирование культуры умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний.</li> </ul> Формами самостоятельной работы студентов являются изучение соответствующей научно-технической литературы, рекомендуемых преподавателями кафедры.
письменная работа	работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдается преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.
тестирование	Прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся. Лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья. Очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытаясь понять условия ?по первым словам? или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях. Если вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться.
реферат	При подготовке реферата следует начать с изучения предмета исследования - поиск и работа с источниками. Далее необходимо изложить результаты изучения в виде связного текста на основе исследуемых источников указывая ссылки на литературу и подготовиться у устному сообщению по теме изучения при защите реферата.



Вид работ	Методические рекомендации
экзамен	нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

#### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Освоение дисциплины "Физика газового разряда" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

#### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Освоение дисциплины "Физика газового разряда" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

#### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;



- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 16.03.01 "Техническая физика" и профилю подготовки не предусмотрено .