

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



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Татарский Да



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

**Автор(ы):**

Лучкин А.Г. , Файрушин И.И.

**Рецензент(ы):**

Кашапов Н.Ф.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Кашапов Н. Ф.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Инженерного института:

Протокол заседания УМК № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный № 86816918

Казань

2018

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Лучкин А.Г. кафедра технической физики и энергетики Инженерный институт , AGLuchkin@kpfu.ru ; Файрушин И.И.

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины Б1.В.ДВ.6 "Физика газового разряда": понимание физико-химических процессов, приводящих к явлению разряда; формирование у студентов знаний и навыков, относящихся к законам и методам физики газового разряда.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.6 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 16.03.01 Техническая физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Дисциплина Б1.В.ДВ.6 "Физика газового разряда" входит в профессиональный цикл Б1 подготовки бакалавров по направлению 16.03.01 "Техническая физика" и является обязательной для изучения студентами по профилю "Прикладная физика плазмы и УТС".

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля**

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

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

В результате освоения дисциплины студент:

1. 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.

2. 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.

3. должен владеть:

математическим аппаратом физики газового разряда;

навыками проведения расчетов процесса электрического разряда в газах с заданными параметрами;

навыками работы с современной измерительной аппаратурой.

4. 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.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

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

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом.	7		2	1	4	Устный опрос
2.	Тема 2. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле.	7		4	2	8	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Образование и гибель заряженных частиц в газе. Испускание электронов твердыми телами.	7		4	2	10	Устный опрос
4.	Тема 4. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями. Излучение и поглощение света плазмой.	7		4	2	10	Устный опрос
5.	Тема 5. Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле. Электрические зонды.	7		4	2	8	Письменная работа
6.	Тема 6. Пробой газов в полях различных частотных диапазонов. Стабильный тлеющий разряд.	7		4	2	8	Устный опрос
7.	Тема 7. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Дуговые разряды.	7		4	2	8	Устный опрос
8.	Тема 8. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов. Искровой разряд.	7		4	2	8	Устный опрос
9.	Тема 9. Коронный разряд.	7		2	1	4	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
10.	Тема 10. Высокочастотный емкостной разряд. Разряды в мощных СО2 - лазерах непрерывного действия.	7		4	2	8	Письменная работа
.	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	18	76	

## 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Введение. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Что изучает физика газового разряда. Типичные разряды в постоянном электрическом поле. Классификация разрядных процессов. Коротко об истории исследования разрядов. Основные понятия физики атомных столкновений и кинетической теории газов. Сечения рассеяния электронов нейтральными атомами и молекулами. Потери импульса и энергии электронов. Кулоновские столкновения заряженных частиц.

**практическое занятие (1 часа(ов)):**

Упругое рассеяние по классической механике. Обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния. Столкновения ионов с нейтральными частицами. Резонансная перезарядка.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Экранирование зарядов в плазме и дебаевский радиус. Столкновения заряженных частиц.

**Тема 2. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Ионизация. Возбуждение и дезактивация электронных состояний. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Энергия электронов. Диффузия электронов. Ионы. Амбиполярная диффузия.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Возбуждение молекулярных колебаний. Замечания о возбуждении и ионизации ионами. Гидродинамическое описание электронов. Движение зарядов в газе в присутствии магнитного поля.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Возбуждение вращений молекул. Диссоциация молекул. Проводимость ионизованного газа. Протекание электрического тока в плазме в присутствии продольных градиентов плотности зарядов.

**Тема 3. Образование и гибель заряженных частиц в газе. Испускание электронов твердыми телами.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Различные механизмы и их роль в условиях газового разряда. Ионизация электронным ударом в электрическом поле. Фотоионизация. Ионизация при столкновении возбужденного атома с атомом или молекулой. Термодинамически равновесная плотность электронов. Электроны проводимости в металле. Термоэлектронная эмиссия.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Рекомбинация электронов и положительных ионов. Образование молекулярных ионов в атомарных газах. Эффективный коэффициент вторичной эмиссии в разряде. Вырывание электронов из тела сильным электрическим полем.

**лабораторная работа (10 часа(ов)):**

Прилипание электронов к атомам и молекулам. Освобождение электронов из отрицательных ионов. Диффузионные потери зарядов. Эмиссия электронов под действием частиц. Элементарный ток в цепи, содержащей разрядный промежуток.

**Тема 4. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями. Излучение и поглощение света плазмой.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Тема 7. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями лекционное занятие (2 часа(ов)): Колебания электронов в осциллирующем поле. Обмен квантами между полем излучения и свободными электронами в газе. Полуклассический способ нахождения квантовых коэффициентов. Фактические принципы применимости классического подхода к эффектам взаимодействия. Типы радиационных переходов. Тормозное излучение при столкновениях электронов. Рекомбинационное излучение.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Основные уравнения электродинамики сплошных сред. Высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Распространение электромагнитных волн в плазме. Полное испускание в непрерывном спектре. Излучение спектральных линий.

**лабораторная работа (10 часа(ов)):**

Энергия электронов. Полное отражение электромагнитной волны от плазмы. Плазменные колебания и волны. Селективное поглощение. Молекулярные спектры. Перенос излучения, выход его из плазменного объема радиационные потери. Принцип действия лазера.

**Тема 5. Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле. Электрические зонды.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

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. Введение. Схема эксперимента. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда. Ионный ток на зонд в разряженной плазме.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Приближение для угловой зависимости функции распределения. Уравнение для энергетического спектра электронов. Критерий справедливости уравнения для спектра. Теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току. Техника измерения функции распределения.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Численные расчеты для азота и воздуха. Пространственно неоднородные поля произвольной силы. Квантовое уравнение для электронного спектра и переход к классике. Ток в вакуумном диоде и слой пространственного заряда около заряженного тела. Двойной зонд. Зонд в плазме повышенного давления.

**Тема 6. Пробой газов в полях различных частотных диапазонов. Стабильный тлеющий разряд.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Сущность явления. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле при не слишком больших произведениях давления на длину промежутка. Общая структура и внешний вид. Вольт-амперная характеристика разряда между электродами. Области отрицательного свечения и темного фарадеева пространства.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Вычисление частот ионизации и порогов пробоя на основе кинетического уравнения. Оптический пробой. Темный разряд и роль пространственных зарядов в образовании катодного слоя. Катодный слой.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Эксперименты по пробою в СВЧ-полях. Интерпретация результатов экспериментов по СВЧ-пробою на основе элементарной теории. Способы возбуждения высокочастотного поля в разрядном объеме. Пробой в полях высокочастотного и низкочастотного диапазонов. Положительный столб. Влияние нагрева газа на поле и ВАХ положительного столба. Плазма электроотрицательных газов. Разряд в быстром потоке газа. Анодный слой.

**Тема 7. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Дуговые разряды.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

От чего возникают и к чему приводят неустойчивости? Квазистационарные параметры. Возмущения поля и электронной температуры в условиях ее квазистационарности. Некоторые другие часто действующие дестабилизирующие факторы. 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.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Ионизационно-перегревная неустойчивость. Прилипательная неустойчивость. Отрыв электронной и газовой температур в равновесной плазме.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Ионизационно-перегревная неустойчивость. Прилипательная неустойчивость. Страты. Контракция положительного столба.

**Тема 8. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов. Искровой разряд.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Введение. Баланс энергии плазмы. Столб дуги в постоянном поле. Высокочастотный индукционный разряд. Сверхвысокочастотные разряды. Общие представления. Одиночная электронная лавина. Понятие о стримере.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Непрерывный оптический разряд. Лидерный процесс; положительный лидер. Отрицательный ступенчатый лидер. Обратная волна (возвратный удар).

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Генераторы плотной низкотемпературной плазмы - плазмотроны. Некоторые общие черты равновесных разрядов в потоке газа. Пробой в электроотрицательных газах (воздухе) в недлинных промежутках с однородным полем. Искровой канал. Стримерный процесс. Пробой длинных воздушных промежутков с сильно неоднородным полем (эксперимент).

**Тема 9. Коронный разряд.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Распределения поля в простейших случаях. Перенос тока за пределами области размножения и ВАХ.

**практическое занятие (1 часа(ов)):**

Потери на корону в высоковольтных линиях.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Нестационарная корона в естественных условиях. Корона и пробой газа постоянным полем в сферическом и цилиндрическом промежутках.

**Тема 10. Высокочастотный емкостной разряд. Разряды в мощных СО2 - лазерах непрерывного действия.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Дрейфовые качания электронного газа. Электрические процессы в непроводящем приэлектродном слое и механизм замыкания тока. Структура разряда среднего давления по результатам численного моделирования. Диэлектрический барьерный разряд. Принцип работы электроразрядного лазера на CO<sub>2</sub>.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Идеализированная модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях. Нормальная плотность тока в слаботочном режиме и пределы его существования. Способы борьбы с неустойчивостями.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

ВАХ однородного положительного столба. Эксперимент - о двух формах существования ВЧЕ-разрядов и постоянном положительном потенциале пространства. Постоянный положительный потенциал плазмы слаботочного разряда. Сильноточный режим. Два типа лазеров, различающихся способом теплоотвода. Пути организации разряда в больших объемах с протоком газа.

#### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом.	7		подготовка к устному опросу	4	Устный опрос
2.	Тема 2. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле.	7		подготовка к устному опросу	6	Устный опрос
3.	Тема 3. Образование и гибель заряженных частиц в газе. Испускание электронов твердыми телами.	7		подготовка к устному опросу	6	Устный опрос
4.	Тема 4. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями. Излучение и поглощение света плазмой.	7		подготовка к устному опросу	8	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле. Электрические зонды.	7		подготовка к письменной работе	8	Письменная работа
6.	Тема 6. Пробой газов в полях различных частотных диапазонов. Стабильный тлеющий разряд.	7		подготовка к устному опросу	8	Устный опрос
7.	Тема 7. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Дуговые разряды.	7		подготовка к устному опросу	8	Устный опрос
8.	Тема 8. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов. Искровой разряд.	7		подготовка к устному опросу	8	Устный опрос
9.	Тема 9. Коронный разряд.	7		подготовка к устному опросу	4	Устный опрос
10.	Тема 10. Высокочастотный емкостной разряд. Разряды в мощных CO <sub>2</sub> - лазерах непрерывного действия.	7		подготовка к письменной работе	8	Письменная работа
Итого					68	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются следующие формы учебной работы: лекции, лабораторные и семинарские занятия, самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации.

Лекционные занятия дополняются лабораторными работами, что позволяет студентам пронаблюдать и проанализировать изучаемые явления. Лекционные занятия проводятся с использованием мультимедийного комплекса, также позволяющего наглядно получать студентам всю необходимую информацию. Материалы курса лекций, список контрольных вопросов, задания для практических занятий и самостоятельной работы, а также методические материалы в форме ЭОР размещены в интернете на сайте Института Физики. Консультации проводятся в обозначенное в расписании время и в режиме "online".

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

## **Тема 1. Введение. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Назовите объекты изучения физики газового разряда. Какие Вы знаете типичные разряды в постоянном электрическом поле? На какие классы можно разделить разрядные процессы? Какова история исследования разрядов? Назовите основные понятия физики атомных столкновений и кинетической теории газов. Опишите сечения рассеяния электронов нейтральными атомами и молекулами. Опишите потери импульса и энергии электронов. Охарактеризуйте кулоновские столкновения заряженных частиц. Раскройте механизм упругого рассеяния по классической механике. Как происходит обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния? Опишите столкновения ионов с нейтральными частицами. Как происходит резонансная перезарядка? Что такое экранирование зарядов в плазме и дебаевский радиус? Опишите столкновения заряженных частиц.

## **Тема 2. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Назовите основные параметры ионизации. Как происходит Возбуждение и дезактивация электронных состояний? Опишите процесс возбуждения молекулярных колебаний. Какие особенности возбуждения и ионизации ионами Вы знаете? Как происходит возбуждение вращений молекул. Опишите процесс диссоциации молекул. Как происходит дрейф электронов в слабоионизованном газе? Опишите энергию электронов. Опишите процесс диффузии электронов и ионов. Что такое амбиполярная диффузия? Приведите гидродинамическое описание электронов. Как происходит движение зарядов в газе в присутствии магнитного поля? Опишите проводимость ионизованного газа. Как протекает электрический ток в плазме в присутствии продольных градиентов плотности зарядов.

## **Тема 3. Образование и гибель заряженных частиц в газе. Испускание электронов твердыми телами.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Опишите различные механизмы и их роль в условиях газового разряда. Как протекает ионизация электронным ударом в электрическом поле? В чем заключается фотоионизация? Опишите ионизацию при столкновении возбужденного атома с атомом или молекулой. Как записывается термодинамически равновесная плотность электронов. Как происходит рекомбинация электронов и положительных ионов? Назовите принципы образования молекулярных ионов в атомарных газах. Опишите прилипание электронов к атомам и молекулам. Как происходит Освобождение электронов из отрицательных ионов? От чего зависят диффузионные потери зарядов? Опишите электроны проводимости в металле. Как происходит термоэлектронная эмиссия? Что такое эффективный коэффициент вторичной эмиссии в разряде? От чего зависит вырывание электронов из тела сильным электрическим полем? Как протекает эмиссия электронов под действием частиц? Опишите элементарный ток в цепи, содержащей разрядный промежуток.

## **Тема 4. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями. Излучение и поглощение света плазмой.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Опишите колебания электронов в осциллирующем поле. Опишите обмен квантами между полем излучения и свободными электронами в газе. Опишите полуклассический способ нахождения квантовых коэффициентов. Назовите фактические принципы применимости классического подхода к эффектам взаимодействия. Выведите основные уравнения электродинамики сплошных сред. Опишите высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Как протекает распространение электромагнитных волн в плазме? Опишите зависимости энергии электронов. Как происходит полное отражение электромагнитной волны от плазмы? Опишите плазменные колебания и волны. Опишите типы радиационных переходов. Опишите тормозное излучение при столкновениях электронов. Как происходит рекомбинационное излучение? Как протекает полное испускание в непрерывном спектре? Опишите излучение спектральных линий. Опишите селективное поглощение. Что такое молекулярные спектры? Опишите перенос излучения, выход его из плазменного объема радиационные потери. Опишите принцип действия лазера.

### **Тема 5. Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле. Электрические зонды.**

Письменная работа , примерные вопросы:

Опишите электронные процессы при помощи функции распределения по скоростям. Сформулируйте кинетическое уравнение. Сравните некоторые выводы, вытекающие из кинетического уравнения, с результатами элементарной теории. Опишите стационарный спектр электронов в поле при действии упругих потерь и влияние неупругих. В чем заключается приближение для угловой зависимости функции распределения. Выведите уравнение для энергетического спектра электронов. Назовите критерии справедливости уравнения для спектра. Покажите численные расчеты для азота и воздуха. Опишите пространственно неоднородные поля произвольной силы. Выведите квантовое уравнение для электронного спектра и переход к классике. 1. Нарисуйте схему эксперимента с применением зондов. 2. Как выглядит вольт-амперная характеристика одиночного зонда? 3. Как измерить ионный ток на зонд в разряженной плазме? 4. Перечислите теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току. 5. Какие примеры техники измерения функции распределения Вы знаете? 6. Назовите параметры тока в вакуумном диоде 7. От чего зависит слой пространственного заряда около заряженного тела. 8. Опишите принцип работы двойной зонд. 9. Опишите принцип работы тройной зонд. 10. Как работает зонд в плазме повышенного давления?

### **Тема 6. Пробой газов в полях различных частотных диапазонов. Стабильный тлеющий разряд.**

Устный опрос , примерные вопросы:

В чем сущность явления? Опишите пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле при не слишком больших произведениях давления на длину промежутка. Вычислите частот ионизации и порогов пробоя на основе кинетического уравнения. Опишите оптический пробой. Опишите эксперименты по пробою в СВЧ-полях. Интерпретируйте результатов экспериментов по СВЧ-пробою на основе элементарной теории. Назовите способы возбуждения высокочастотного поля в разрядном объеме. Опишите пробой в полях высокочастотного и низкочастотного диапазонов. Опишите общую структуру и внешний вид стабильного тлеющего разряда. Нарисуйте вольт-амперную характеристику разряда между электродами. Опишите области отрицательного свечения и темного фарадеева пространства. Опишите темный разряд и роль пространственных зарядов в образовании катодного слоя. Опишите катодный слой. Опишите положительный столб. Как влияет нагрев газа на поле и ВАХ положительного столба. Опишите плазму электроотрицательных газов. Опишите разряд в быстром потоке газа. Опишите анодный слой.

### **Тема 7. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Дуговые разряды.**

Устный опрос , примерные вопросы:

От чего возникают и к чему приводят неустойчивости? Какие квазистационарные параметры Вы знаете? Опишите возмущения поля и электронной температуры в условиях ее квазистационарности. Назовите некоторые другие часто действующие дестабилизирующие факторы. Опишите ионизационно-перегревную неустойчивость. Опишите прилипательную неустойчивость. Опишите страты. Как происходит контракция положительного столба? Дайте определение и назовите отличительные признаки дуги. Какие виды дуг бывают? Как происходит зажигание дуги? Как горит угольная дуга в свободном воздухе? Какие прикатодные процессы в дуге с горячим катодом Вы знаете Опишите катодные пятна и вакуумную дугу. Почему происходит отрыв электронной и газовой температур в равновесной плазме? Опишите анодную область. Дуга низкого давления с искусственным накалом катода, каковы особенности? Опишите положительный столб дуги высокого давления (экспериментальные факты). Как влияет температура плазмы на ВАХ столба дуги высокого давления.

### **Тема 8. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов. Искровой разряд.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Опишите баланс энергии плазмы. Опишите столб дуги в постоянном поле. Опишите высокочастотный индукционный разряд. Приведите примеры сверхвысокочастотных разрядов. Опишите непрерывный оптический разряд. Генераторы плотной низкотемпературной плазмы ? плазмотроны, назовите основные принципы работы. Назовите общие черты равновесных разрядов в потоке газа. Назовите общие представления. Как происходит одиночная электронная лавина? Что такое стример? Как происходит лидерный процесс? Что такое положительный лидер? Опишите отрицательный ступенчатый лидер. Откуда возникает обратная волна (возвратный удар)? Как происходит пробой в электроотрицательных газах (воздухе) в недлинных промежутках с однородным полем? Опишите искровой канал. Опишите стримерный процесс. Как протекает пробой длинных воздушных промежутков с сильно неоднородным полем (эксперимент).

### **Тема 9. Коронный разряд.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Как распределяются поля в простейших случаях? Как происходит перенос тока за пределами области размножения и ВАХ? Опишите потери на корону в высоковольтных линиях. Опишите зажигание короны. Что такое прерывистая корона? Как возникает нестационарная корона в естественных условиях? Опишите корону и пробой газа постоянным полем в сферическом и цилиндрическом промежутках.

### **Тема 10. Высокочастотный емкостной разряд. Разряды в мощных СО2 - лазерах непрерывного действия.**

Письменная работа , примерные вопросы:

Опишите дрейфовые качания электронного газа. Как протекают электрические процессы в непроводящем приэлектродном слое и механизм замыкания тока? Нарисуйте структуру разряда среднего давления по результатам численного моделирования. 1. В чем принцип диэлектрического барьера разряда. 2. Опишите идеализированную модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях. 3. Какова нормальная плотность тока в слаботочном режиме и пределы его существования? 4. Зависимости ВАХ однородного положительного столба. 5. Опишите формы существования ВЧЕ-разрядов и постоянном положительном потенциале пространства. 6. Опишите постоянный положительный потенциал плазмы слаботочного разряда. 7. Опишите сильноточный режим. 8. Принцип работы электроразрядного лазера на СО2. 9. Способы борьбы с неустойчивостями. 10. Два типа лазеров, различающихся способом теплоотвода. 11. Пути организации разряда в больших объемах с протоком газа.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

1. Дрейфовые качания электронного газа.
2. Электрические процессы в непроводящем приэлектродном слое и механизм замыкания тока.

3. Структура разряда среднего давления по результатам численного моделирования.
4. Диэлектрический барьерный разряд.
5. Идеализированная модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях.
6. Нормальная плотность тока в слаботочном режиме и пределы его существования.
7. ВАХ однородного положительного столба.
8. Эксперимент - о двух формах существования ВЧЕ-разрядов и постоянном положительном потенциале пространства.
9. Постоянный положительный потенциал плазмы слаботочного разряда. Сильноточный режим.

### **7.1. Основная литература:**

1. Рожанский В.А. Теория плазмы. "Лань" Издательство: ISBN 978-5-8114-1233-4: 2012: 1-е Издание: 320 стр.  
<http://e.lanbook.com/view/book/2769/>
2. В.Е. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. Основы физики плазмы. Изд.-во: "Лань". 2011. -448 с.  
<http://e.lanbook.com/view/book/1550/>
3. А.А. Кудрявцев, А.С. Смирнов, Л.Д. Цендин. Физика тлеющего разряда. -Изд.-во: "Лань". 2010 .-512 с.  
<http://e.lanbook.com/view/book/552/>

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Лепешев, А. А. Плазмохимический синтез нанодисперсных порошков и полимерных нанокомпозитов [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  
<http://znanium.com/bookread.php?book=442144>
2. Вакуумная ионно-плазменная обработка: Учебное пособие / А.А. Ильин, В.В. Плихунов, Л.М. Петров и др. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Современные технологии: Магистратура). (п) ISBN 978-5-98281-366-4, 1000 экз.  
<http://znanium.com/bookread.php?book=426490>

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

- 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)

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

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.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. 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, УМК, 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 профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. 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.

Программа составлена в соответствии с ФГОС ВПО и с учетом рекомендаций рекомендаций ПрООП ВПО по направлению подготовки "Техническая физика" и профилю "Прикладная физика плазмы и УТС".

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

Автор(ы):

Лучкин А.Г. \_\_\_\_\_

Файрушин И.И. \_\_\_\_\_

"\_\_" 201 \_\_ г.

Рецензент(ы):

Кашапов Н.Ф. \_\_\_\_\_

"\_\_" 201 \_\_ г.