**Министерство науки и образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Московский физико-технический институт (государственный университет)»**

**МФТИ (ГУ)**

**Кафедра «Физика высокотемпературных процессов»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по учебной работе**

**О. А. Горшков**

**2012 г**.

.

**Рабочая УЧЕБНАЯ Программа**

**по дисциплине:** Физико-химические процессы в газоразрядной плазме

**по направлению:** 010900 «Прикладные математика и физика»

**магистерская программа:** 010932 – физика высокотемпературных процессов

**факультет:** **МБФ**

**кафедра: Физика высокотемпературных процессов**

**курс:** 5 (магистратура)

**семестры:** 9, 10 **Диф. зачет: 9 семестр,**

**экзамен: 10 семестр**

**Трудоёмкость в зач. ед.:** вариативная часть – 5 зач. ед.;

**в т.ч.:**

**лекции:** 66 час.;

**практические (семинарские) занятия:** нет;

**лабораторные занятия:** нет;

**мастер классы, индивид. и групповые консультации:** нет;

**самостоятельная работа:** 66 час.;

**курсовые работы:** нет;

**подготовка к экзамену:** 1 зач. ед.

**ВСЕГО часов 162**

**Программу составил:** проф.,д.ф-м.н., Амиров Р.Х.

**Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов**

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.

Заведующий кафедрой академик, д.ф.-м.н. В.Е. Фортов

**ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Вариативная часть, в т.ч. :** | \_\_5\_\_ зач. ед. |
| Лекции | \_66\_ часов |
| Практические занятия | \_\_-\_\_ часов |
| Лабораторные работы | \_\_-\_\_ часов |
| Индивидуальные занятия с преподавателем | \_\_-\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия, включая подготовку курсовой работы | \_66\_ часов |
| Мастер- классы, индивидуальные и групповые  Консультации | \_\_-\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия (работа над коллективными и индивидуальными проектами, курсовые работы) | \_\_-\_\_ часов |
| Подготовка к экзамену | 1 зач. ед. |
| **ВСЕГО** | 162 часа (5 зач. ед.) |
| **Итоговая аттестация** | Диф. зачет: 9 семестр  Экзамен: 10 семестр |

1. **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

Целью освоения дисциплины «Физико-химические процессы в газоразрядной плазме» является изучение способов создание газовых разрядов, экспериментальных и теоретических методов исследования физико-химических процессов, как в равновесной, и в неравновесной плазме, и применение полученных знаний при создании и применении газоразрядных технологий.

**Задачами данного курса являются:**

* изучение методов создания равновесной и неравновесной плазмы с заданными параметрами с помощью газовых разрядов различных типов;
* ознакомление с научными основами применения газоразрядной плазмы в технологических процессах и в исследовательских целях;
* ознакомление с физико-техническими требованиями к методам создания плазмы для практических применений, изучение основных принципов использования физико-химических процессов для диагностики плазмы и при развитии технологий;
* формирование у магистрантов способности использовать полученные знания при применении современных плазменных технологий, умение планировать исследования плазмы в широком диапазоне температур и давлений.

1. **Место дисциплины в структуре ООП МАГИСТРАТУРЫ**

Дисциплина **«Физико-химические процессы в газоразрядной плазме»** включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к профессиональному циклу М.2.

Дисциплина **«Физико-химические процессы в газоразрядной плазме»**базируется на материалах курсов бакалавриата: базовая и вариативная часть кода УЦ ООП Б.2**(**математическийестественнонаучный блок) по дисциплинам«Высшая математика» (математический анализ, высшая алгебра, дифференциальные уравнения и методы математической физики), блока «Общая физика» и региональной составляющей этого блока и относится к профессиональному циклу***.*** Освоение курса необходимо для разносторонней подготовки магистров к профессиональной деятельности, включающей как проведение фундаментальных исследований, так и постановку и решение инженерных задач.

1. **Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

Освоение дисциплины «**Физико-химические процессы в газоразрядной плазме**» направлено на формирование следующих общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций магистра:

*а) общекультурные (ОК):*

* *компетенция самообразования и самоорганизации*: способность и стремление к совершенствованию и развитию своего интеллектуального и общекультурного уровня, умение эффективно организовывать свою деятельность и достигать поставленные цели (ОК-1);
* *компетенция* *профессиональной мобильности*: способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);
* *компетенция получения знаний и использования новой информации:* способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать на практике новые знания и умения, способность интегрировать новую информацию в уже имеющуюся систему знаний и применять её, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОК-3);
* *компетенция системного аналитического мышления:* способность к системному мышлению и анализу, к аналитической оценке событий и процессов в природе, технике и обществе (ОК-4) ;
* *компетенция креативности*: способность к творчеству, генерации новых идей, созданию нового знания, новых объектов техники и новых технологических процессов (ОК-5);

*б) профессиональные (ПК):*

* способность к пониманию важности воздействия внешних факторов, и их учёта в ходе исследований и разработок (ПК-2);
* способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, химии, экологии, других естественных и социально-экономических науках (ПК-3);
* способность самостоятельно работать на компьютере на уровне квалифицированного пользователя, применять информационно-коммуникационные технологии для обработки, хранения, представления и передачи информации с использованием универсальных пакетов прикладных программ, знание общих подходов и методов по совершенствованию информационно-коммуникационных технологий (ПК-6);
* компетенция владения методами исследовательской и проектной деятельности: способность профессионально владеть методами планирования и проведения исследований и экспериментов, выполнения проектов и заданий в избранной предметной области (ПК-8);
* компетенция самостоятельных исследований: способность самостоятельно оптимально планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в избранной предметной области (по программе специализированной подготовки магистра) с использованием эффективных методов (ПК-10);
* компетенция количественного описания явлений и процессов: способность применения навыков количественного описания и прогнозирования природных, технологических, производственных и социально-экономических явлений и процессов и динамики их развития (ПК-11);
* компетенция математического и физического моделирования явлений и процессов: способность самостоятельно и в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические и физические модели при анализе природных, технологических, производственных и социально - экономических процессов и явлений (ПК-12);
* компетенция генерации новых знаний и создания новых инструментов для этого: способность к разработке новых теоретических и прикладных направлений научной и инновационной деятельности, новых методов и технических средств для проведения фундаментальных исследований и выполнения инновационных разработок, новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей (ПК-14);
* компетенция дальнейшего использования результатов исследований: способность к квалифицированному перенесению полученных результатов научных и аналитических исследований на смежные предметные области и к использованию этих результатов для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности (ПК-16);
* способность к участию в разработке и создании новых объектов техники и технологии (в сфере высоких и наукоёмких технологий) в качестве одного из ведущих разработчиков или в качестве руководителя малого коллектива исполнителей (ПК-17);
* способность к участию в разработке и реализации проекта (научной или инновационной программы) в качестве исполнителя, ответственного за самостоятельный участок работы или в качестве руководителя малого коллектива исполнителей (ПК-20).

1. **конкретные Знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины «**Физико-химические процессы в газоразрядной плазме**» обучающийся должен:

* 1. **Знать:**
* основные элементарные процессы в плазме;
* процессы взаимодействия постоянного и переменного электрических полей с электронами плазмы;
* основные требования к физико-химическим процессам в плазме при их практическом использовании;
* основы диагностики газоразрядной плазмы;
* основные типы газовых разрядов, получаемых в лабораторных условиях;
* способы получения равновесной и неравновесной плазмы;
* особенности электрического пробоя в электрических полях различной частоты;
* методы определения параметров плазмы из электрических характеристик газовых разрядов;
* теоретические методы расчета параметров газоразрядной плазмы;
* практические требования к газовым разрядам и принципы использования их в технологиях.
  1. **Уметь:**
* определять какие физико-химические процессы существенны при использовании газового разряда в приложениях;
* пользоваться своими знаниями для выбора параметров газовых разрядов в исследовательских, прикладных и технологических задачах;
* уметь выбирать методы диагностики при исследовании плазмы газовых разрядов;
* делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
* производить численные оценки параметров газоразрядной плазмы по порядку величины;
* видеть в задачах использования плазмы основные физико-химические процессы, определяющие эффективность газовых разрядов;
* осваивать теоретические подходы к исследованию плазмы и новые экспериментальные методики;
* работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
* эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и экспериментальных результатов.

1. **Владеть:**

* навыками работы с литературой по плазме и газовому разряду;
* навыками самостоятельной работы в лаборатории, в библиотеке и Интернете;
* культурой постановки и проведения эксперимента при использовании газового разряда;
* навыками выбора методов диагностики газоразрядных процессов;
* навыками грамотной обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
* практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
* навыками оценки параметров плазмы и скорости основных физико-химических процессов в газовом разряде.

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Структура преподавания дисциплины**

**Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам**

|  |  |
| --- | --- |
| № темы и название | Количество часов |
| 1. Процессы на электродах газовых разрядов | 12 |
| 2. Электрический пробой газа | 20 |
| 3. Газоразрядные методы генерации плазмы | 22 |
| 4. Излучательные процессы в газоразрядной плазме | 12 |
| 5. Физические основы методов диагностики газоразрядной плазмы | 10 |
| 6. Плазмохимические процессы в плазме | 18 |
| 7. Газоразрядные лазеры | 18 |
| 8. Частицы в плазме | 8 |
| 9. Неустойчивости газоразрядной плазмы | 12 |
| ВСЕГО (зач. ед.(часов)) | 132 часов (4 зач. ед.) |

**Лекции:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость  (количество часов) |
| 1 | Работа выхода электронов из твердого тела. Эффект Шоттки. Эмиссия электронов из твердых тел (автоэлектронная, термоавтоэлектронная). Взрывная эмиссия. | 2 |
| 2 | Взаимодействие частиц с поверхностью твердых тел. Вторичная эмиссия под действием ионов (потенциальная и кинетическая). Катодное распыление частиц твердого тела. | 2 |
| 3 | Пробой газа. Ионизация и пробой в постоянном поле. Таунсендовский механизм пробоя. Коэффициент Таунсенда. Электронная лавина. Искажение поля пространственным разрядом. Размножение зарядов через вторичную эмиссию. Потенциал зажигания. Кривые Пашена. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения. | 3 |
| 4 | Стримерный пробой. Условия перехода от одиночной лавины к стримеру. Модель самоподерживающего стримера. | 2 |
| 5 | Пробой при высоком перенапряжении. Эффект непрерывного ускорения электронов. Волны ионизации. Пробой в электротрицательных газах. Газовые изоляторы (элегаз). | 3 |
| 6 | Пробой в СВЧ-поле. Набор энергии электронов в переменном электрическом поле. СВЧ-пробой при низких и высоких давлениях. Оптический пробой. Многофотонная ионизация. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения. | 3 |
| 7 | Дуговые разряды. Положительный столб дуги постоянного тока. Каналовая модель. Распределение температуры и плотности тока. Температура плазмы и ВАХ столба дуги высокого давления. | 3 |
| 8 | Тлеющий разряд. Общая структура и внешний вид. Катодный слой. Положительный столб. Теория Шоттки. Электронная температура. Влияние нагрева газа на ВАХ. Пауза свечения тлеющего разряда после возбуждения наносекундным импульсом. | 3 |
| 9 | Коронный разряд. Распределение поля в короне в простейших случаях. Перенос тока за пределами области размножения и ВАХ. Начальные напряжения короны. Особенности короны в электроотрицательных газах. Потери на корону в высоковольтных линиях. Прерывистая корона. Газовый разряд как способ очистки выбросов в энергетике. | 3 |
| 10 | ВЧ – разряд емкостного типа. Режимы работы. ВЧ-разряд индуктивного типа. Баланс энергии. Модель металлического цилиндра. Температура плазмы. СВЧ – разряд. Непрерывный оптический разряд. Обеспечение стационарного состояния плазмы в условиях поглощения лазерного излучения. Связь параметров плазмы с вкладываемой мощностью. | 3 |
| 11 | Типы радиационных переходов. Связь между коэфф. поглощения, вынужденного и спонтанного испускания. Тормозное излучение электронов. Рекомбинационное излучение. Поглощение в непрерывном спектре. | 3 |
| 12 | Сечение фотоионизации. Излучение спектральных линий. Уширение линий. Естественная ширина и форма линии. Столкновительное уширение. Тепловое движение атомов. Эффект Штарка. Сдвиг границы серии. Селективное поглощение. | 3 |
| 13 | Спектральные методы. СВЧ – диагностика плазмы. Зондовые методы. Лазерная диагностика. | 2 |
| 14 | Распространение электромагнитных волн через плазму. Использование плазмы для отражения и поглощения электромагнитного излучения | 3 |
| 15 | Синтез озона в барьерном разряде. Эффективность диссоциации кислорода электронным ударом. Конверсия атомарного кислорода в озон. Интегральная модель озонатора. Синтез озона в криогенном наносекундном разряде. | 3 |
| 16 | Неравновесные плазмохимические процессы. Принципиальная схема очистки дымовых газов от окислов азота и серы радиационно-плазмохимическими методами. Получение и прямые каналы использования активных радикалов. Факторы, определяющие энергетическую эффективность. Применение стримерной короны для очистки продуктов сгорания. | 3 |
| 17 | Упрощенная кинетическая схема при газоразрядной очистке газов от токсичных примесей. Диссоциация СО2 в неравновесной плазме. Физическая кинетика диссоциации СО2 через колебательное возбуждение основного электронного состояния. | 3 |
| 18 | Газоразрядные СО2-лазеры. Оптимальный состав газа. Связь параметров разряда с выходными характеристиками. Допустимые энерговклады. Методы повышения выходной мощности непрерывных СО2-лазеров. Системы с прокачкой газа. Электроионизационные лазеры. | 3 |
| 19 | Лазеры на самоограниченных переходах. Перспективные рабочие тела, азотный лазер, лазер на парах меди. Кинетические схемы. | 3 |
| 20 | Эксимерные лазеры. Физические процессы и кинетическая модель. Оптимальные составы рабочего тела и методы возбуждения. | 3 |
| 21 | Диффузионная зарядка частицы. Зарядка частиц в электрическом поле. Максимальная величина заряда частицы. | 2 |
| 22 | Дрейф заряженных частиц в поле. Эффективность электростатического фильтра на основе коронного разряда. | 2 |
| 23 | Неустойчивости тлеющего разряда Контракция положительного столба. Неустойчивость плазмы. Общий феноменологический подход. Дестабилизирущие факторы: ступенчатая ионизация, нагрев газа, метастабильные состояния. | 3 |
| 24 | Ионизационная перегревная неустойчивость положительного столба тлеющего разряда. Факторы стабилизации: электронный пучок, импульсный разряд. | 3 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 66 часов (2 зач. ед.) |

**Самостоятельная работа:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость  (количество часов) |
| 1 | Работа выхода электронов из твердого тела. Эффект Шоттки. Эмиссия электронов из твердых тел (автоэлектронная, термоавтоэлектронная). Взрывная эмиссия. | 2 |
| 2 | Взаимодействие частиц с поверхностью твердых тел. Вторичная эмиссия под действием ионов (потенциальная и кинетическая). Катодное распыление частиц твердого тела. | 2 |
| 3 | Пробой газа. Ионизация и пробой в постоянном поле. Таунсендовский механизм пробоя. Коэффициент Таунсенда. Электронная лавина. Искажение поля пространственным разрядом. Размножение зарядов через вторичную эмиссию. Потенциал зажигания. Кривые Пашена. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения. | 3 |
| 4 | Стримерный пробой. Условия перехода от одиночной лавины к стримеру. Модель самоподерживающего стримера. | 2 |
| 5 | Пробой при высоком перенапряжении. Эффект непрерывного ускорения электронов. Волны ионизации. Пробой в электротрицательных газах. Газовые изоляторы (элегаз). | 3 |
| 6 | Пробой в СВЧ-поле. Набор энергии электронов в переменном электрическом поле. СВЧ-пробой при низких и высоких давлениях. Оптический пробой. Многофотонная ионизация. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения. | 3 |
| 7 | Дуговые разряды. Положительный столб дуги постоянного тока. Каналовая модель. Распределение температуры и плотности тока. Температура плазмы и ВАХ столба дуги высокого давления. | 3 |
| 8 | Тлеющий разряд. Общая структура и внешний вид. Катодный слой. Положительный столб. Теория Шоттки. Электронная температура. Влияние нагрева газа на ВАХ. Пауза свечения тлеющего разряда после возбуждения наносекундным импульсом. | 3 |
| 9 | Коронный разряд. Распределение поля в короне в простейших случаях. Перенос тока за пределами области размножения и ВАХ. Начальные напряжения короны. Особенности короны в электроотрицательных газах. Потери на корону в высоковольтных линиях. Прерывистая корона. Газовый разряд как способ очистки выбросов в энергетике. | 3 |
| 10 | ВЧ – разряд емкостного типа. Режимы работы. ВЧ-разряд индуктивного типа. Баланс энергии. Модель металлического цилиндра. Температура плазмы. СВЧ – разряд. Непрерывный оптический разряд. Обеспечение стационарного состояния плазмы в условиях поглощения лазерного излучения. Связь параметров плазмы с вкладываемой мощностью. | 3 |
| 11 | Типы радиационных переходов. Связь между коэфф. поглощения, вынужденного и спонтанного испускания. Тормозное излучение электронов. Рекомбинационное излучение. Поглощение в непрерывном спектре. | 3 |
| 12 | Сечение фотоионизации. Излучение спектральных линий. Уширение линий. Естественная ширина и форма линии. Столкновительное уширение. Тепловое движение атомов. Эффект Штарка. Сдвиг границы серии. Селективное поглощение. | 3 |
| 13 | Спектральные методы. СВЧ – диагностика плазмы. Зондовые методы. Лазерная диагностика. | 2 |
| 14 | Распространение электромагнитных волн через плазму. Использование плазмы для отражения и поглощения электромагнитного излучения | 3 |
| 15 | Синтез озона в барьерном разряде. Эффективность диссоциации кислорода электронным ударом. Конверсия атомарного кислорода в озон. Интегральная модель озонатора. Синтез озона в криогенном наносекундном разряде. | 3 |
| 16 | Неравновесные плазмохимические процессы. Принципиальная схема очистки дымовых газов от окислов азота и серы радиационно-плазмохимическими методами. Получение и прямые каналы использования активных радикалов. Факторы, определяющие энергетическую эффективность. Применение стримерной короны для очистки продуктов сгорания. | 3 |
| 17 | Упрощенная кинетическая схема при газоразрядной очистке газов от токсичных примесей. Диссоциация СО2 в неравновесной плазме. Физическая кинетика диссоциации СО2 через колебательное возбуждение основного электронного состояния. | 3 |
| 18 | Газоразрядные СО2-лазеры. Оптимальный состав газа. Связь параметров разряда с выходными характеристиками. Допустимые энерговклады. Методы повышения выходной мощности непрерывных СО2-лазеров. Системы с прокачкой газа. Электроионизационные лазеры. | 3 |
| 19 | Лазеры на самоограниченных переходах. Перспективные рабочие тела, азотный лазер, лазер на парах меди. Кинетические схемы. | 3 |
| 20 | Эксимерные лазеры. Физические процессы и кинетическая модель. Оптимальные составы рабочего тела и методы возбуждения. | 3 |
| 21 | Диффузионная зарядка частицы. Зарядка частиц в электрическом поле. Максимальная величина заряда частицы. | 2 |
| 22 | Дрейф заряженных частиц в поле. Эффективность электростатического фильтра на основе коронного разряда. | 2 |
| 23 | Неустойчивости тлеющего разряда Контракция положительного столба. Неустойчивость плазмы. Общий феноменологический подход. Дестабилизирущие факторы: ступенчатая ионизация, нагрев газа, метастабильные состояния. | 3 |
| 24 | Ионизационная перегревная неустойчивость положительного столба тлеющего разряда. Факторы стабилизации: электронный пучок, импульсный разряд. | 3 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 66 часов (2 зач. ед.) |

* 1. **Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Название модулей | Разделы и темы лекционных занятий | Содержание | Объем | |
| Аудиторная работа  (часы) | Самостоятельная работа  (часы) |
| 1 | I  ПРОЦЕССЫ НА ЭЛЕКТРОДАХ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ | **Эмиссия электронов из твердых тел** | Работа выхода электронов из твердого тела. Эффект Шоттки. Эмиссия электронов из твердых тел (автоэлектронная, термоавтоэлектронная). Взрывная эмиссия. | 2 | 2 |
| 2 | **Вторичная эмиссия** | Взаимодействие частиц с поверхностью твердых тел. Вторичная эмиссия под действием ионов (потенциальная и кинетическая). Катодное распыление частиц твердого тела. | 2 | 2 |
| 3 | II  ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ ГАЗА | **Общие сведения о пробое в газе** | Пробой газа. Ионизация и пробой в постоянном поле. Таунсендовский механизм пробоя. Коэффициент Таунсенда. Электронная лавина. Искажение поля пространственным разрядом. Размножение зарядов через вторичную эмиссию. Потенциал зажигания. Кривые Пашена. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения. | 3 | 3 |
| 4 | **Стримерный пробой** | Стримерный пробой. Условия перехода от одиночной лавины к стримеру. Модель самоподерживающего стримера. | 2 | 2 |
| 5 | **Пробой при высоком перенапряжении** | Пробой при высоком перенапряжении. Эффект непрерывного ускорения электронов. Волны ионизации. Пробой в электротрицательных газах. Газовые изоляторы (элегаз). | 3 | 3 |
| 6 | СВЧ-пробой | Пробой в СВЧ-поле. Набор энергии электронов в переменном электрическом поле. СВЧ-пробой при низких и высоких давлениях. Оптический пробой. Многофотонная ионизация. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения. | 3 | 3 |
| 7 | III ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ПЛАЗМЫ | **Дуговые разряды** | Дуговые разряды. Положительный столб дуги постоянного тока. Каналовая модель. Распределение температуры и плотности тока. Температура плазмы и ВАХ столба дуги высокого давления. | 3 | 3 |
| 8 | **Тлеющий разряд** | Тлеющий разряд. Общая структура и внешний вид. Катодный слой. Положительный столб. Теория Шоттки. Электронная температура. Влияние нагрева газа на ВАХ. Пауза свечения тлеющего разряда после возбуждения наносекундным импульсом. | 3 | 3 |
| 9 | **Коронный разряд** | Коронный разряд. Распределение поля в короне в простейших случаях. Перенос тока за пределами области размножения и ВАХ. Начальные напряжения короны. Особенности короны в электроотрицательных газах. Потери на корону в высоковольтных линиях. Прерывистая корона. Газовый разряд как способ очистки выбросов в энергетике. | 3 | 3 |
| 10 | ВЧ-разряд и СВЧ-разряд | ВЧ – разряд емкостного типа. Режимы работы. ВЧ-разряд индуктивного типа. Баланс энергии. Модель металлического цилиндра. Температура плазмы. СВЧ – разряд. Непрерывный оптический разряд. Обеспечение стационарного состояния плазмы в условиях поглощения лазерного излучения. Связь параметров плазмы с вкладываемой мощностью. | 3 | 3 |
| 11 | IV ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ | **Типы радиационных переходов, испускание и поглощение** | Типы радиационных переходов. Связь между коэфф. поглощения, вынужденного и спонтанного испускания. Тормозное излучение электронов. Рекомбинационное излучение. Поглощение в непрерывном спектре. | 3 | 3 |
| 12 | Уширение спектральных линий | Сечение фотоионизации. Излучение спектральных линий. Уширение линий. Естественная ширина и форма линии. Столкновительное уширение. Тепловое движение атомов. Эффект Штарка. Сдвиг границы серии. Селективное поглощение. | 3 | 3 |
| 13 | V  ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ | Диагностика плазмы | Спектральные методы. СВЧ – диагностика плазмы. Зондовые методы. Лазерная диагностика. | 2 | 2 |
| 14 | Электромагнитные волны в плазме | Распространение электромагнитных волн через плазму. Использование плазмы для отражения и поглощения электромагнитного излучения | 3 | 3 |
| 15 | VI  ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПЛАЗМЕ | Синтез озона в разряде | Синтез озона в барьерном разряде. Эффективность диссоциации кислорода электронным ударом. Конверсия атомарного кислорода в озон. Интегральная модель озонатора. Синтез озона в криогенном наносекундном разряде. | 3 | 3 |
| 16 | Очистка газов от окислов | Неравновесные плазмохимические процессы. Принципиальная схема очистки дымовых газов от окислов азота и серы радиационно-плазмохимическими методами. Получение и прямые каналы использования активных радикалов. Факторы, определяющие энергетическую эффективность. Применение стримерной короны для очистки продуктов сгорания. | 3 | 3 |
| 17 | Газоразрядная очистка газов от токсичных примесей | Упрощенная кинетическая схема при газоразрядной очистке газов от токсичных примесей. Диссоциация СО2 в неравновесной плазме. Физическая кинетика диссоциации СО2 через колебательное возбуждение основного электронного состояния. | 3 | 3 |
| 18 | VII  ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАЗЕРЫ | Газоразрядные CO2-лазеры | Газоразрядные СО2-лазеры. Оптимальный состав газа. Связь параметров разряда с выходными характеристиками. Допустимые энерговклады. Методы повышения выходной мощности непрерывных СО2-лазеров. Системы с прокачкой газа. Электроионизационные лазеры. | 3 | 3 |
| 19 | Лазеры на самоограниченных переходах | Лазеры на самоограниченных переходах. Перспективные рабочие тела, азотный лазер, лазер на парах меди. Кинетические схемы. | 3 | 3 |
| 20 | Эксимерные лазеры | Эксимерные лазеры. Физические процессы и кинетическая модель. Оптимальные составы рабочего тела и методы возбуждения. | 3 | 3 |
| 21 | VIII  ЧАСТИЦЫ В ПЛАЗМЕ | Зарядка частиц в плазме | Диффузионная зарядка частицы. Зарядка частиц в электрическом поле. Максимальная величина заряда частицы. | 2 | 2 |
| 22 | Дрейф заряженных частиц в поле | Дрейф заряженных частиц в поле. Эффективность электростатического фильтра на основе коронного разряда. | 2 | 2 |
| 23 | IX  НЕУСТОЙЧИВОСТИ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ | Неустойчивости тлеющего разряда | Неустойчивости тлеющего разряда. Контракция положительного столба. Неустойчивость плазмы. Общий феноменологический подход. Дестабилизирущие факторы: ступенчатая ионизация, нагрев газа, метастабильные состояния. | 3 | 3 |
| 24 | Ионизационная перегревная неустойчивость | Ионизационная перегревная неустойчивость положительного столба тлеющего разряда. Факторы стабилизации: электронный пучок, импульсный разряд. | 3 | 3 |

1. **Образовательные технологии**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Вид занятия | Форма проведения занятий | Цель |
| 1 | лекция | изложение теоретического материала | получение теоретических знаний по дисциплине |
| 2 | лекция | изложение теоретического материала с помощью презентаций | повышение степени понимания материала |
| 3 | лекция | решение задач по заданию (индивидуальному где требуется) преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце изучения темы, используются учебники, рекомендуемые данной программой | осознание связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин |
| 4 | самостоятельная работа студента | подготовка к экзамену | повышение степени понимания материала |

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

**Контрольно-измерительные материалы**

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета и экзамена:

1. Одиночная электронная лавина. Искажение внешнего поля объемным зарядом.
2. Таунсендовский механизм пробоя. Коэффициент Таунсенда.
3. Кривые Пашена.
4. Закон нарастания тока при таунсендовском механизме пробоя.
5. Стримерный механизм пробоя.
6. Самораспространение стримера. Модель Даусона и Вина.
7. СВЧ-пробой. Набор энергии электрона в переменном электрическом поле, влияние столкновений.
8. Теория СВЧ пробоя при низких и высоких давлениях.
9. Оптический пробой. Влияние давления газа и длины волны лазерного излучения. Пробой воздуха при атмосферном давлении.
10. Оптический пробой при низких давлениях. Многофотонная ионизация.
11. Вторичная эмиссия. Потенциальное вырывание электронов.
12. Тлеющий разряд. Общая структура.
13. Напряженность электрического поля в положительном столбе тлеющего разряда. Правила подобия.
14. Тлеющий разряд. Баланс энергии электронов и связь температуры электронов с величиной поля.
15. Тлеющий разряд. Температура электронов в тлеющем разряде, связь с давлением и радиусом трубки.
16. Катодный слой тлеющего разряда. Нормальная плотность тока.
17. Влияние нагрева газа на ВАХ тлеющего разряда.
18. Стабилизирующие и дестабилизирующие процессы в тлеющем разряде.
19. Характерные времена процессов в тлеющем разряде.
20. Факторы неравновесности плазмы: отрыв температуры электронов, выход излучения из плазмы.
21. Факторы неравновесности плазмы: амбиполярная диффузия, нарушение ионизационного равновесия.
22. Пауза свечения тлеющего разряда после возбуждения плазмы высоковольтным импульсом.
23. Ионизационно-перегревная неустойчивость положительного столба тлеющего разряда. Расчет инкремента неустойчивости.
24. Ионизационно-перегревная неустойчивость положительного столба тлеющего разряда в молекулярном газе.
25. Стабилизация разряда электронным пучком и высоковольтными импульсами.
26. Дуговой разряд. Уравнение баланса энергии для цилиндрического канала.
27. Реактивная теплопроводность плазмы.
28. Дуговой разряд. Каналовая модель.
29. Температура плазмы в дуге. ВАХ столба дуги.
30. ВЧ – разряд емкостного типа. Режимы работы.
31. ВЧ-разряд индуктивного типа.
32. Непрерывный оптический разряд.
33. Постановка задачи о пробое на основе кинетического уравнения.
34. Расчет частоты ионизации при учете неупругих потерь на основе кинетического уравнения.
35. Эмиссия электронов из твердых тел (автоэлектронная, термоавтоэлектронная).
36. Эмиссия электронов из твердых тел (эффект Шоттки, термоэлектронная эмиссия)
37. Синтез озона в барьерном разряде. Эффективность диссоциации кислорода электронным ударом.
38. Синтез озона в барьерном разряде. Конверсия атомарного кислорода в озон.
39. Синтез озона в барьерном разряде. Интегральная модель озонатора.
40. Диффузионная зарядка частиц в плазме.
41. Предельный заряд частицы.
42. Зарядка частиц в электрическом поле.
43. Коронный разряд. Напряжение зажигания.
44. ВАХ короны.
45. Влияние заряда частиц на ВАХ короны.
46. Дрейф заряженных частиц в поле. Эффективность электростатического фильтра.
47. Обратная корона. Гистерезис ВАХ короны.
48. Применение неравновесной плазмы для очистки газов от оксидов азота и серы. Принципы очистки. Энергетические затраты.
49. Применение газоразрядной плазмы для очистки газов. Упрощенная кинетическая модель.
50. Применение стримерной короны для очистки газов.
51. Диссоциация СО2 в неравновесной плазме.
52. Математическая модель стримера.
53. Правила подобия для стримера.
54. Типы радиационных переходов.
55. Связь между коэффициентами поглощения, вынужденного и спонтанного испускания для тормозного излучения.
56. Тормозное излучение электронов при столкновении с атомами и ионами.
57. Рекомбинационное излучение
58. Поглощение излучения в непрерывном спектре.
59. Сечение фотоионизации.
60. Излучение спектральных линий.
61. Механизмы уширения спектральных линий. Сдвиг границы серии.
62. Коэффициент поглощения на заданном спектральном переходе.
63. Уравнение Бибермана-Холстейна
64. Выход резонансного излучения из газового объема.
65. Газоразрядные СО2-лазеры.
66. Лазеры на самоограниченных переходах.
67. Распространение электромагнитных волн через плазму. Использование плазмы для отражения и поглощения электромагнитного излучения
68. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**
    1. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет
69. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**
    1. **Основная литература**
70. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Интеллект, 2009.
71. Фортов В.Е., Храпак А.Г., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы. М.: Физматлит, 2010.
72. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VIII. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2003.
    1. **Дополнительная литература:**
73. Франк-Каменецкий Д.А. - Лекции по физике плазмы. - М.:Атомиздат.
74. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. -Основы физики плазмы - М.:Атомиздат, 1977 - 384с.
75. Райзер Ю.П. - Основы современной физики газоразрядных процессов. - М.:Наука, 1980.
76. Смирнов Б.М. Физика слабоионизованного газа -М.:Наука, 1985.
77. Базелян Э.М., Райзер Ю.П., Искровой разряд - М.: МФТИ, 1997, -320с.
78. Асиновский Э.И., Кириллин А.В., Низовский В.Л.- Стабилизированные электрические дуги и их применение в теплофизическом эксперименте. -М.:Наука, 1992 -246с.
79. Браун С. - Элементарные процессы в плазме газового разряда. - М.:Атомиздат, 1961.
80. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. - Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. - М.:Наука, 1982.
81. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. - Физика импульсного пробоя газов. - М:Наука, 1991 - 224с.
82. Лозанский Э.Д., Фирсов О.Б. - Теория искры - М.:Атомиздат, 1975.
83. Райст П. - Аэрозоли. - М.:Мир - 1987.
84. Ретер Г. - Электронные лавины и пробой в газах. - М.:Мир, 1968, 390с.
85. Ховатсон А.М.- Введение в теорию газового разряда.-М.:Атомиздат, 1980, - 182с.

**Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.**

1. Курс лекций «Физика плазмы», <http://www.inp.nsk.su/chairs/plasma/sk/fpl.ru.shtml>

Программу составил

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (Амиров Р.Х., д.ф.-м.н., профессор)

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.