**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Физические основы газового разряда**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Физическая электроника

Форма обучения:

Очная

Москва 20\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Д.ф.-м.н., доцент, Двинин Сергей Александрович, кафедра физической электроники физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Доктор физико-математических наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, заведующий кафедрой физической электроники

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**

Изучается газовый разряд как основа нано-, плазмохимических и других технологий. Рассматриваются следующие вопросы: история газового разряда и классификация его форм, химические компоненты, методы описания и параметры плазмы, особенности движения частиц, уравнения баланса частиц и энергий для плазмы газового разряда, модель Таунсенда для пробоя разрядного промежутка низкого давления, стационарные разряды постоянного тока, тлеющий разряд, различные формы дугового разряда, разряды высокого давления, импульсные разряды, высокотемпературные искровые разряды, высокочастотные разряды, сверхвысокочастотные и оптические (лазерные) разряды, комбинированные разряды, разряды в потоках газа, использование газовых разрядов, неустойчивости газовых разрядов. Цель курса: знакомство с основными понятиями и процессами в физике газового разряда, с классическими моделями газоразрядной плазмы (Шоттки, Ленгмюра-Тонкса, Эленбааса).

Объем дисциплины составляет 108 часов (3 з.е.), в том числе 68 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов, отведенных на самостоятельную работу учащихся.

Дисциплина реализуется на 4 курсе во втором семестре и обязательна для освоения всеми студентами кафедры.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Вариативная часть, обязательная дисциплина

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Не установлены

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций** |
|  |  | Знать уравнения, описывающие рождение, уничтожение, движение и нагрев частиц в газовом разряде.  Уметь решать задачи на поддержание основных форм стационарных и импульсных разрядов на основе уравнений Максвелла, уравнений гидродинамики и кинетических уравнений;  Владеть методами решения основных уравнений гидродинамики плазмы и уравнений для электрического поля в разряде, владеть опытом построения глобальных моделей газового разряда. |

**4.** Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе: 68 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

**5.**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(ак.ч.)** | **В том числе** | | | | | | **Форма текущего контроля успеваемости, наименование** |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем)**  ***Виды контактной работы, академические часы[[1]](#footnote-1)*** | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося,**  **академические часы** |
| **Занятия лекционного типа (лекции)** | **Занятия семинарского типа** | | | **Всего** |
| **Семинары** | **Лабораторные занятия\*** | **Практические занятия\*** |
| История газового разряда. Классификация его форм. Химические компоненты плазмы. Параметры плазмы. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, |
| Методы описания плазмы. Многожидкостная и одножидкостная гидродинамика с учетом химических реакций Функция распределения заряженных частиц по энергиям Особенности движения частиц в газовом разряде. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Уравнения баланса частиц и энергии для плазмы газового разряда. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Модель Таунсенда для пробоя разрядного промежутка низкого давления. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Стационарные разряды постоянного тока. I. Тлеющий разряд. Модели Шоттки и Тонкса Ленгмюра. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Слой пространственного заряда на границе плазмы. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Стационарные разряды постоянного тока. II. Тлеющий разряд в магнитном поле. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Стационарные разряды постоянного тока. III. Различные формы дугового разряда. Процессы на электродах | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Различные формы дугового разряда. Процессы в объеме плазмы. Дуговые разряды высокого давления. Методы учета неравновесности плазмы | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Стример. Волны ионизации. Лавинно-стримерный переход. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Импульсные разряды. Искра, Молния. Высокотемпературные искровые разряды. | **6** | **2** | **2** |  |  | **4** | **2** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Высокочастотные (ВЧ) разряды. Процессы на границе плазмы. | **7** | **2** | **2** |  |  | **4** | **3** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Сверхвысокочастотные (СВЧ) 24разряды. Роль поверхностных волн в поддержании разряда. | **7** | **2** | **2** |  |  | **4** | **3** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Высокочастотные разряды высокого давления. Высокочастотный стример | **7** | **2** | **2** |  |  | **4** | **3** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Оптические (лазерные) разряды.. | **7** | **2** | **2** |  |  | **4** | **3** | Проверка домашних заданий, Контрольная работа |
| Применение газовых разрядов. | **7** | **2** | **2** |  |  | **4** | **3** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| Неустойчивости газовых разрядов. | **7** | **2** | **2** |  |  | **4** | **3** | Опрос, проверка домашних заданий, |
| **Промежуточная аттестация экзамен** |  | | | | | | **8[[2]](#footnote-2)** |  |
| **Итого** | **108** | **68** | | | | | **40** |  |

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

**6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Перечень теоретических вопросов

1. Способы ионизации газа.

1. Зажигание разряда. Самостоятельный и несамостоятельный разряд.
2. Лавинный механизм ионизации.
3. Условие Таунсенда.
4. Влияние объемного заряда на зажигание разряда.
5. Закон 3/2.

7. Закон Пашена.

8. Свойства тлеющего разряда. Катодное и анодное падение. Положительный столб газового разряда.

9. Пространственная структура и изменение параметров плазмы и функции распределения электронов по энергиям в катодной области тлеющего разряда.

10. Теория Шоттки положительного столба газового разряда.

1. Модель Ленгмюра Тонкса положительного столба газового разряда.

12. Движение заряженных частиц. Амбиполярная диффузия и дрейф частиц в электрическом поле. Условие изотропности функции распределения.

13. Процессы в области стенок тлеющего разряда. Влияние инерции ионов на движение заряженных частиц.

14. Нормальная плотность тока на катоде тлеющего разряда.

15. Элементарные химические процессы в плазме газового разряда.

16. Теория пробоя разрядных промежутков постоянным полем. Закон Пашена.

1. Механизм объемной фотоионизации газа высокого давления.
2. Стримерные механизмы развития разряда при высоких давлениях.
3. Коронный разряд постоянного тока.
4. Высокочастотные разряды низкого давления - емкостной ВЧ разряд.
5. Роль приэлектродных слоёв в ВЧ разрядах. Процессы детектирования и действие средних сил.
6. Постоянные поля и токи в ВЧ разрядах.
7. ВЧ разряды при высоких давлениях - корона и факельный разряд.
8. Сильноточные импульсные разряды Z-пинч, Θ-пинч.
9. Плазменный фокус и микропинчи.
10. Импульсные разряды наносекундной длительности.
11. Импульсные излучательные разряды.

28.Дифузионная теория пробоя СВЧ разряда. Критерии пробоя в импульсном поле. Статистическое запаздывание.

29. Особенности пробоя газа в лазерном диапазоне.

30. Стационарный разряд в ограниченных объемах. Механизмы ограничения поля. Скин-эффект. Свойства разрядов в резонаторах.

1. Особенности СВЧ разрядов в свободном пространстве. Механизмы распространения разряда.
2. Особенности распространения лазерного разряда.
3. Неустойчивости как метод математического анализа поведения динамических систем.
4. Примеры неустойчивостей в полностью ионизованной бестоковой плазме.
5. Примеры неустойчивостей в плазме с током.
6. Перегревные неустойчивости.
7. Неустойчивости в системах с отрицательной дифференциальной проводимостью.

Неустойчивости, связанные с особенностями химической кинетики.

Примеры задач:

1. Рассчитать первый ионизационный коэффициент Таунсенда.
2. Рассчитать коэффициент амбиполярной диффузии
3. Сравнить направленную и хаотическую скорости электронов в постоянном электрическом поле
4. Получить условия пробоя разрядного промежутка постоянным напряжением.
5. Рассчитать долю тока, переносимого электронами и ионами на катоде дугового разряда.
6. Рассчитать коэффициент диффузии в гидродинамическом и кинетическом приближении. Объяснить в чем разница.
7. Рассчитать подвижность электронов в гидродинамическом и кинетическом приближении. Чем отличаются режимы аномального и нормального дрейфа.
8. Рассчитать время ухода иона на стенку в диффузионном режиме для цилиндрической и прямоугольной разрядной трубки
9. Рассчитать время ухода иона на стенку в диффузионном режиме для цилиндрической разрядной трубки при учете инерции ионов.
10. Рассчитать плотность тока ионов на стенку для цилиндрической разрядной трубки в диффузионном режиме. Нужно ли при этом использовать критерий Бома?
11. Рассчитать энергию ионов, бомбардирующих стенку разрядной трубки в диффузионном режиме.

Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация проводятся на основе приведенного выше перечня вопросов.:

6.2. Шкала и критерии оценивания

**7. Ресурсное обеспечение**

Основная литература

1. С.А.Двинин. Физические основы газового разряда. Часть 1. Учебное пособие. Москва. МГУ имкни М.В.Ломоносова. Физический факультет. 2012. 119 с.

2. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Т.2. Установившийся ток. М.: «Наука», ГРФМЛ, 1971.

3. Райзер Ю.П. ″Физика газового разряда″. М.: «Наука», 1992.

4. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма. / Под редакцией Б.Я. Мойжеса и Г.Е. Пикуса. М.: «Наука». 1973. С. 176 – 221.

5. Недоспасов А.В., Хаит В.Д. Колебания и неустойчивости низкотемпературной плазмы. M.: «Наука». 1979. 160 с.

Дополнительная литература

1. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики. М.: Наука. 1981. 358 c.

2. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики: плазмы. М.: Высшая школа. 1980.

3. Кудрявцев А.А. Смирнов А.С. Цендин Л.Д. Физика тлеющего разряда. Лань. С.-П., Москва, Краснодар. 2010. 493 с.

4. Смирнов Б.М. Физика слабоионизованного газа. М.: Наука, 1972. 416 с.

6. Синкевич О.А., Стаханов И.П. Физика плазмы. Стационарные процессы в частично ионизованном газе. М.: Высшая школа. 1991. 192 с.

7. Лозанский Э. Д., Фирсов О. Б. Теория искры. М.: Атомиздат, 1975. 271 c.

8. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982, 376 с.

9. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. 719 с.

10. Lieberman M., Lichtenberg A.J. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Second Edition, John Wiley and Sons, 2005.

11. Митчнер М., Кругер Ч. Частично ионизованные газы. М.: Мир 1976. 468 с.

12. Велихов Е. П., Ковалёв А. С., Рахимов А. Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Изд-во: Наука, 1987, 160 стр.

Интернет-ресурсы

physelec.phys.msu.ru

**8.Язык преподавания:** русский

1. *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.* [↑](#footnote-ref-1)
2. *Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося* [↑](#footnote-ref-2)