

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Физика газового разряда

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1. Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

- ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования
- ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Задачи освоения дисциплины

- Освоить аппарат исследований в области физики газовых разрядов.
- Научиться применять понятийный аппарат для решения практических задач по постановке экспериментов и задач по теоретическим расчетам процессов в разрядах.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 5, зачет с оценкой.

Семестр 6, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам:

Общая физика.

Математический анализ.

Дифференциальные уравнения.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 з.е., 288 часов, из которых:

– лекции: 64 ч.;

– практические занятия: 64 ч.;

В том числе практическая подготовка: 64 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

ПЕРВЫЙ СЕМЕСТР

Темы лекций для первого семестра

Тема 1. Общие представления по газовым разрядам, терминология, типы газовых разрядов.

Тема 2. Элементарные процессы и их роль в поддержании разрядов. Терминология, относящаяся к элементарным процессам. Скорости протекания реакций. Виды газовых разрядов. Вольтамперная характеристика разряда.

Тема 3. Дрейфовое движение электронов и ионов. Перенос тока в разрядах. Диффузионное движение заряженных частиц. Амбиполярная диффузия.

Тема 4. Процессы, приводящие к возникновению заряженных частиц в плазме. Процессы, приводящие к возникновению возбужденных частиц в плазме. Гибель возбужденных частиц в плазме.

Тема 5. Уравнение Пуассона и его использование при описании газоразрядных процессов.

Тема 6. Уравнения непрерывности для потоков ионов и электронов. Решение системы уравнений непрерывности и уравнения Пуассона как метод отыскания вольтамперной характеристики разряда.

Тема 7. Несамостоятельный ток в газе. Использование уравнений непрерывности и Пуассона для получения вольтамперной характеристики в случае слабой объемной ионизации.

Тема 8. Несамостоятельный разряд с ионизационным усилением. Понятие коэффициента ударной ионизации. Условие развития самостоятельного разряда. Закон

Тема 9. Несамостоятельный ток при сильной объемной ионизации. Понятие прикатодной области и ее роль в поддержании тока разряда.

Тема 10. Общее описание тлеющего разряда. Законы подобия для катодного слоя тлеющего разряда и их связь с законом Пашена для пробивных напряжений.

Тема 11. Положительный столб тлеющего разряда. Законы подобия для положительного столба.

Тема 12. Коронный разряд в газе атмосферного давления. Условие самоподдержания разряда. Вольтамперная характеристика.

Тема 13. Импульсные разряды в газах. Терминология. Понятие времени запаздывания пробоя. Результаты измерений времен запаздывания.

Тема 14. Таунсендовский механизм пробоя.

Тема 15. Стримерный механизм пробоя

Тема 16. Пробой сильно перенапряженных промежутков.

Тема 17. Объемный разряд в газе с внешней ионизацией пучком быстрых электронов

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости, проведения практических занятий по лекционному материалу, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в первом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 час.

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

Темы практических занятий для первого семестра.

1. Функция распределения электронов по скоростям в газоразрядной плазме. Функция распределений Максвелла и понятие температуры. Оценки с применением функции распределения.
2. Принцип детального равновесия. Вычисление констант обратных реакций по известным константам прямых реакций. Получение константы девозбуждения молекулы с использованием принципа детального равновесия. Анализ полученных выражений и численные оценки.
3. Расчет скоростей дрейфа электронов с применением простейших моделей. Экспериментальные данные по скоростям дрейфа. Сопоставление экспериментальных данных с расчетами и интерпретация возникающих расхождений между расчетом и экспериментом. Роль эффекта Рамзауэра в аномальном поведении зависимости скорости дрейфа от напряженности электрического поля.
4. Удары второго рода и их роль в гибели возбужденных частиц. Сравнение скорости убыли возбужденных частиц при спонтанном распаде и в ударах второго рода. Модели столба газоразрядной плазмы и определение температуры электронов спектральными методами с использованием моделей.
5. Распад плазмы при преобладании процесса рекомбинации (вывод уравнений, анализ решений, численные оценки). Распад плазмы при преобладании процессов прилипания (вывод уравнений, анализ решений, численные оценки).
6. Решение уравнения Пуассона для частных случаев распределения избыточного пространственного заряда в межэлектродном промежутке.
7. Анализ системы уравнений непрерывности и Пуассона. Получение условия непрерывности полного тока разряда из системы уравнений.
8. Анализ решений для вольтамперной характеристики несамостоятельного разряда в случае слабой объемной ионизации. Получение выражений для распределения концентраций заряженных частиц по длине промежутка.
9. Литературные данные по коэффициентам ударной ионизации. Оценки пробивных напряжений с использованием закона Пашена. Сопоставление расчетов и экспериментов. Анализ полученных расхождений между расчетом и экспериментом

Темы практических занятий для второго семестра

1. Анализ формул для параметров прикатодной области несамостоятельного разряда. Оценки для выявления условий, в которых процесс ударной ионизации в катодном слое играет роль.
2. Анализ экспериментальных данных по параметрам катодного слоя тлеющего разряда в различных газах. Проведение теоретических оценок и сопоставление расчетов с экспериментом. Сравнение законов подобия для катодного слоя с законом Пашена для пробивных напряжений (численные оценки и анализ результатов).

3. Модели положительного столба тлеющего разряда. Оценки параметров столба с использованием моделей. Отклонения от расчетов, наблюдаемые в эксперименте и интерпретация причин отклонений.
4. Распределение электрического поля в промежутке при неоднородной конфигурации электродов. Вычисления пороговых напряжений зажигания коронного разряда.
5. Экспериментальные данные по временам запаздывания пробоя. Анализ информации, получаемой из экспериментальных данных.
6. Методы наблюдения одиночной электронной лавины. Экспериментальные доказательства таунсендовского механизма пробоя.
7. Переход от таунсендовского механизма к стримерному. Экспериментальные доказательства стримерного механизма пробоя.
8. Особенности пробоя сильно перенапряженных промежутков. Специфика измерений времен запаздывания пробоя. Другие методы исследований.
9. Объемный разряд с внешней ионизацией газа электронным пучком и его применения. Расчет осциллограмм тока и напряжения. Интерпретация результатов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

Перечень учебной литературы.

1. Ю.Д. Королев. Элементарные и кинетические процессы в газоразрядной плазме. Томск, Издательство Томского политехнического университета, 2009.
2. Б.М. Смирнов. Введение в физику атомных столкновений. М., Атомиздат, 1973.
3. Б.М. Смирнов. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М., Атомиздат, 1974.
4. Г. Френсис. Ионизационные явления в газах. М., Атомиздат, 1978.
5. В.Л. Грановский. Электрический ток в газе. Установившийся ток. М., Наука, 1971.
6. Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М., Наука, 1987.
7. Г. Петер. Электронные лавины и пробой в газах. Пер. с англ., М., "Мир", 1968.
8. Ю.Д. Королев, Г.А. Месяц. Физика импульсного пробоя газов, М., Наука, 1991.
9. Y. D. Korolev, G.A. Mesyats. Physics of pulsed breakdown in gases, Yekaterinburg, Ural Division of Russian Academy of Science, 1998.
10. Т.А. Ворончев, В.Д. Соболев. Физические основы электровакуумной техники. М., Высш. школа, 1967.
11. Б.И. Москалев. Разряд с полым катодом, М., Энергия, 1969.

Ссылки на материалы в сети интернет будут даваться студентам по ходу занятий, принимая во внимание освоение ими текущего материала.

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –

<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Королев Юрий Дмитриевич, д. ф.-м. н., профессор.