



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Кафедра физической электроники

Образовательная программа
03.03.02 Физика

Профиль подготовки:
Фундаментальная физика

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
по выбору

Махачкала, 2021 год

Рабочая программа дисциплины **«Физика газового разряда»** составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика (уровень: бакалавриата) от «7» августа 2020 г., № 891.

Разработчик: кафедра физической электроники, Курбанисмаилов В.С., д.ф.-м.н., профессор 

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физической электроники от «21» мая 2021 г., протокол № 9.

Зав. кафедрой  Омаров О.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «30» июня 2021 г., протокол № 10.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«9» июля 2021 г.  Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Физика газового разряда» входит в Блок 1., дисциплина по выбору образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02 – Физика.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физической электроники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением основ физики газового разряда: элементарные процессы в ионизованных газах и процессы переноса, физика тлеющих и дуговых разрядов, механизмы пробоя газа при различных давлениях, формирование плазменных каналов, объемные самостоятельные разряды, искровой и коронный разряды.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: *универсальных* - УК-1; *общепрофессиональных*: ОПК-1; *профессиональных*: ПК-12.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, лабораторные занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: контрольная работа, коллоквиум и пр.) и промежуточный контроль в форме экзамена.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия							Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен		
		всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
5	144	86	36	-	50			58	Экзамен

1. Цели освоения дисциплины

Курс лекций "Физика газового разряда" является одним из цикла специальных курсов, читаемых для студентов по направлению "Физика" на кафедре физической электроники Даггосуниверситета в 5 семестре.

Основная цель данного курса состоит в том, чтобы продемонстрировать знания, полученные студентами на 1-3 курсах, а также получение новых знаний, которые могут быть использованы при экспериментальном исследовании и теоретическом описании конкретных типов газовых разрядов.

В лекциях рассматриваются основные свойства наиболее изученных и имеющих наиболее практическое применение типов разрядов: тлеющие, дуговые, искровые, объемные, стримерные, высокочастотные, а так же вопросы, связанные с протеканием электрического тока в газах, параметры и диагностические методы исследования газоразрядной плазмы, применение газового разряда в науке и технике и т. д.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Физика газового разряда» входит в Блока 1 и является дисциплиной по выбору ОПОП бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика (профиль – фундаментальная физика).

Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные с способностью использовать теоретические знания в области общей физики, квантовой механики, теоретической физики, атомной физики, статистической физики для решения конкретных практических задач на примере задач физики газового разряда.

Студенты, изучающие данную дисциплину, должны иметь сведения и базовые знания о законах движения заряженных и нейтральных частиц, законах сохранения энергии, импульса и момента количества движения, основах квантового описания частиц на основе концепции волновых функций, строении атомов и молекул в объеме знаний курса общей физики и атомной физики, квантовой механики, статистических законах распределения.

Данная дисциплина является базовой для дальнейшего изучения дисциплин: специальный физический практикум, оформление результатов научного исследования, техника физического эксперимента, квантовая электроника (факультатив).

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Студенты в ходе изучения дисциплины должны освоить основы физики классических типов разрядов и современные представления по физике электрического пробоя газов. Знать основные свойства различных типов разрядов, имеющих широкое практическое применение.

Изучить физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах, характерные признаки и отличительные свойства дуговых, тлеющих, искровых, объемных, высокочастотных и сверхвысокочастотных разрядов, таунсендовский, стримерный и современные представления о механизмах пробоя газов, некоторые диагностические методы исследования газоразрядной плазмы.

Анализировать основные элементарные процессы образования и гибели заряженных частиц в плазме газового разряда и их роль в формировании и развитии электрического пробоя, ознакомиться с некоторыми способами применения газовых разрядов в качестве активных сред лазеров.

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ОПОП)	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Б-УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;	Знает: основные методы критического анализа; методологию системного подхода, принципы научного познания. Умеет: производить анализ явлений и обрабатывать полученные результаты; выявлять проблемные ситуации, используя методы анализа, синтеза и абстрактного мышления; использовать современные теоретические концепции и объяснительные модели при анализе информации Владеет: навыками критического анализа.	Устный опрос, письменный опрос
	Б-УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи;	Знает: систему информационного обеспечения науки и образования; Умеет: осуществлять поиск решений проблемных ситуаций на основе действий, эксперимента и опыта; выделять экспериментальные данные, дополняющие теорию (принцип дополнительности). Владеет: основными методами, способами и средствами получения,	

		хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией.	
	Б-УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов	Знает: методы поиска информации в сети Интернет; правила библиографирования информационных источников; библиометрические и наукометрические методы анализа информационных потоков Умеет: критически анализировать информационные источники, научные тексты; получать требуемую информацию из различных типов источников, включая Интернет и зарубежную литературу. Владеет: методами классификации и оценки информационных ресурсов.	
...	Б-УК-1.4. При обработке информации отличает факты от мнений, интерпретаций, оценок, формирует собственные мнения и суждения, аргументирует свои выводы и точку зрения, в том числе с применением философского понятийного аппарата.	Знает: базовые и профессионально-профилированные основы философии, логики, права, экономики и истории; сущность теоретической и экспериментальной интерпретации понятий; сущность операционализации понятий и ее основных составляющих. Умеет: формулировать исследовательские проблемы; логически выстраивать последовательную содержательную аргументацию; выявлять логическую структуру понятий, суждений и умозаключений, определять их вид и логическую корректность. Владеет: методами логического анализа различного рода	Устный опрос

		рассуждений, навыками ведения дискуссии и полемики.	
	Б-УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленных задач.	Знает: требования, предъявляемые к гипотезам научного исследования; виды гипотез (по содержанию, по задачам, по степени разработанности и обоснованности). Умеет: определять в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке и предлагать способы их решения. Владет: технологиями выхода из проблемных ситуаций, навыками выработки стратегии действий; навыками статистического анализа данных.	Устный опрос
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира	Знает: - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники. Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта. Владет: - навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.	Письменный опрос
	ОПК-1.2.	Знает:	

	Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	- основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; - новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности. Умеет: - реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности. Владет: - навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	
	ОПК-1.3. Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.	Знает: - основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы. Умеет: - выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата. Владет: - навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность выбранного метода.	

ПК-12. Знает теорию и методы исследований в области физики низкотемпературной плазмы	ПК-12.1. Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного оборудования.	Знает: методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах; Умеет: пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области физики электрического пробоя; анализировать устройство используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники. Владеет: методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; некоторыми диагностическими методами исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления.	Устный опрос, письменный опрос
--	---	--	---------------------------------------

	ПК-12.2. Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы	Знает: теорию и методы физических исследований в физике плазмы Умеет: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями формирования искровых, дуговых и объемных разрядов; решать задачи для описания поведения элементарных частиц, протекающих в плазме газового разряда; Владеет: навыками проведения научных исследований в области физики низкотемпературной плазмы с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.	
	ПК-12.3. Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.	Умеет: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики низкотемпературной плазмы; использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по физике низкотемпературной плазмы; проводить научные исследования в области физики низкотемпературной плазмы с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта. Владеет: навыки для анализа протекания электрического тока в	

4.1. Объем дисциплины составляет **4** зачетных единиц, **144** академических часов.

[illegible]

3	Образование и гибель заряженных частиц в плазме газового разряда. Ионизация электронным ударом в электрическом поле. Испускание электронов твердыми телами.	5	4	8		4	контрольная работа, семинарское занятие
4	Основные свойства и структура тлеющего разряда. Дуговые разряды. Искровые разряды. Разряды при высоких давлениях и перенапряжениях.	5	8	8		4	семинарское занятие
Модуль 3. Самостоятельные разряды							
5	Самостоятельные объемные разряды. Высокочастотный емкостный разряд.	5	6	8		2	семинарское занятие
6	Разряды в мощных CO ₂ – лазерах непрерывного действия.	5	4	4		2	контрольная работа, семинарское занятие
7	Оптический пробой.	5	2	6		2	контрольная работа, семинарское занятие
	Экзамен	5				36	
	Итого		36	50		58	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1. Введение в физику газового разряда

1. Введение.

Основные понятия и термины физики газового разряда. Что изучает физика газового разряда. Типичные разряды в постоянном электрическом поле. Классификация разрядных процессов. Краткий исторический очерк развития исследований газового разряда. Вклад русских и советских ученых. Применение газового разряда в науке и технике.

2. Основные понятия физики атомных столкновений и кинетической теории.

Упругие и неупругие удары. Эффективное сечение. Частота столкновений. Длина свободного пробега. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Скорость дрейфа, подвижность. Проводимость ионизованного газа. Энергия электронов. Релаксации энергии, критерий постоянства и однородности поля. Диффузия электронов. Коэффициенты свободной и амбиполярной диффузии.

3. Несамостоятельный и самостоятельный ток в газе.

Несамостоятельный ток без ионизационного усиления. Несамостоятельный ток с ионизационным усилением. Самостоятельный ток. Коэффициенты ионизации электронным ударом. Усиление тока электронными, ионными и фотонными процессами. Несамостоятельные и самостоятельные разряды в газах при высоких давлениях.

Модуль 2. Элементарные процессы в плазме газового разряда

4. Образование и гибель заряженных частиц в газе.

Различные механизмы и их роль в условиях газового разряда: рождение электронов и положительных ионов, электрон-ионная рекомбинация, диффузионный уход зарядов к стенкам разрядного сосуда. Ионизация при столкновении возбужденного атома с атомом или молекулой. Термодинамическая равновесная плотность электронов.

5. Ионизация электронным ударом в электрическом поле.

Первый ионизационный коэффициент Таунсенда, ионизационная способность, частота ионизации, электронная лавина и ионизация в однородном магнитном поле, связь между частотой ионизации и первым ионизационным коэффициентом Таунсенда. Пробой газа при малых давлениях и малых расстояниях в полях, близких к однородному. Простейшая теория ударной ионизации Таунсенда. Экспериментальное определение скорости ионизации. Коэффициент вторичной эмиссии и процессы на катоде.

6. Испускание электронов твердыми телами.

Электроны проводимости в металле. Эмиссионный ток насыщения. Температура вырождения, работа выхода. Термоэлектронная, ионно-электронная, фотоэлектронная, вторичная электронная, автоэлектронная и термоавтоэлектронная эмиссия.

Модуль 3. Самостоятельные разряды

7. Основные свойства и структура тлеющего разряда.

Область существования, основные свойства и структура тлеющего разряда. Картина свечения тлеющего разряда: астоново темное пространство, слой катодного свечения, темное катодное пространство, область отрицательного свечения, фарадеево темное пространство, положительный столб, анодное пространство и пленка анодного свечения. Качественная интерпретация картины свечения. ВАХ разряда между электродами. Положительный столб тлеющего разряда. Неустойчивости однородного разряда. Анодное падение потенциала. Нормальное и аномальное катодное

падение потенциала. Природа анодных пятен. Нормальный, аномальный и поднормальный тлеющие разряды.

8. Дуговые разряды.

Виды дуг: дуга с горячим термоэмиссионным катодом, дуги с внешним накалом катода, дуги с “холодным” катодом и катодными пятнами, вакуумная дуга, дуга высокого давления, дуга сверхвысокого давления, дуги низкого давления. Зажигание дуги: способ инициирования, назначение катодного слоя, катодные пятна и вакуумная дуга, механизм эмиссии. Отрыв газовой и электронной температур в равновесной плазме. Положительный столб дуги высокого давления.

9. Искровые разряды.

Общие представления, неприемлемость Таунсендовской схемы пробоя при больших произведениях P , недостатки Таунсендовского механизма пробоя, стримерная теория, искажение поля пространственным зарядом, камера Вильсона. Понятие о стримере, катодонаправленный стример, анодонаправленный стример. Таунсендовский и стримерный механизмы пробоя, границы существования Таунсендовского и стримерного механизмов пробоя, общая картина развития Таунсендовского пробоя, общее описание процессов при стримерном пробое. Модели распространения стримера. Плазменная модель пробоя газов высокого давления.

10. Разряды при высоких давлениях и перенапряжениях.

Общие закономерности. Особенности развития электронных лавин при высоких перенапряжениях. Эффект непрерывного ускорения электронов. Формирование пробоя при одноэлектронном и многоэлектронном инициировании.

11. Самостоятельные объемные разряды.

Различные формы изменения напряжения на разрядном промежутке. Время запаздывания и время формирования пробоя. Самостоятельные разряды с предионизацией. Типичные устройства и способы создания предионизации. Этапы протекания объемного разряда (образование искрового канала). Характеристики горения объемного разряда. Контракция объемного разряда в искровой канал. Сильноточный диффузный разряд в инертных газах высокого давления. Применение ОР в качестве активной среды газовых лазеров. Разряды в пеннинговских эксимерных смесях газовых лазеров.

12. Высокочастотный емкостный разряд.

Дрейфовые качания электронного газа: распределение пространственного заряда, поля и потенциала в плоском промежутке. Идеализированная модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях: уравнения электрического процесса в безэлектродном случае, уравнения в случае оголенных электродов, решение для случая изолированных электродов, вариант решения с оголенными электродами. ВАХ положительного столба:

частота ионизации ВЧ полем, расчет ВАХ и электрических параметров безэлектродного разряда. Формы существования ВЧ разрядов и постоянный положительный потенциал пространства: скачки на кривых потенциала зажигания, и разряды, слаботочный и сильноточный ВЧ разряды среднего давления, область существования слаботочного разряда. Электрические процессы в непроводящем приэлектродном слое и механизм замыкания тока. Слаботочный и сильноточный режимы разряда.

13. Разряды в мощных CO_2 – лазерах непрерывного действия.

Принцип работы электроразрядного лазера на CO_2 : лазерный переход в молекуле CO_2 , механизм создания инверсной заселенности, лазерная смесь. Типы лазера с различающимися способами теплоотвода. Способы борьбы с неустойчивостями: секционирование катода, управления потоком, применение несамостоятельного разряда. Организации разряда больших объемах с протоком газа: поперечный самостоятельный разряд, продольный самостоятельный разряд, несамостоятельный разряд с ионизацией электронным пучком, комбинированный разряд с постоянным и ВЧ полем, несамостоятельный разряд с ионизацией газа повторяющимися емкостными импульсами. Разряд переменного тока, самостоятельный ВЧ разряд.

4.3.1. Содержание практических занятий по дисциплине.

Модуль 1. Введение в физику газового разряда

Тема I. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц

1. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц и проводимость слабоионизованной плазмы.
2. Упругое рассеяние по классической механике. Обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния. Столкновения ионов с нейтральными частицами. Резонансная перезарядка
3. Несамостоятельный и самостоятельный ток в газе.
4. Ионизация электронным ударом в электрическом поле.

Модуль 2. Элементарные процессы в плазме газового разряда

Тема II. Элементарные процессы.

1. Образование и гибель заряженных частиц в плазме газового разряда.
2. Возбуждение молекулярных колебаний. Замечания о возбуждении и ионизации ионами. Гидродинамическое описание электронов.
3. Рекомбинация электронов и положительных ионов. Образование молекулярных ионов в атомарных газах. Эффективный коэффициент вторичной эмиссии в разряде. Вырывание электронов из тела сильным электрическим полем.
4. Испускание электронов твердыми телами.

Модуль 3. Самостоятельные разряды

Тема III. Самостоятельные разряды

1. Тлеющий разряд и его практическое применение.

2. Вычисление частот ионизации и порогов пробоя на основе кинетического уравнения. Оптический пробой. Темный разряд и роль пространственных зарядов в образовании катодного слоя. Катодный слой.
3. Ионизационно-перегревная неустойчивость. Прилипательная неустойчивость. Отрыв электронной и газовой температур в равновесной плазме.
4. Отличительные свойства дуговых разрядов.
5. Виды плазматронов и их применение для плазменного напыления.

Тема IV. ВЧ и СВЧ разряды

1. Высоочастотные и сверхвысоочастотные разряды.
2. Непрерывный оптический разряд. Лидерный процесс; положительный лидер. Отрицательный ступенчатый лидер. Обратная волна (возвратный удар).
3. Потери на корону в высоковольтных линиях.
4. Идеализированная модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях. Нормальная плотность тока в слабotoчном режиме и пределы его существования. Способы борьбы с неустойчивостями
5. Применение объемных и тлеющих разрядов высокого давления в качестве активных сред газовых лазеров.
6. Устойчивость импульсных разрядов в газах высокого давления. Стабилизирующие и дестабилизирующие факторы.

5. Образовательные технологии: активные и интерактивные формы, лекции, практические занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачеты и экзамены, компьютеры. В течение семестра студенты решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Зачет выставляется после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

По всему лекционному материалу подготовлен конспект лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **Power Point**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

Для подготовки к практическим (семинарским) занятиям издано учебное пособие по курсу «Физика газового разряда», которое в сочетании с

внеаудиторной работой способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль. В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль. Экзамен в конце 5 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

№ пп	Вид самостоятельной работы	Примерная трудоемкость, а.ч.
Текущая СРС		
1.	работа с лекционным материалом, с учебной литературой	1
2.	опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	1
3.	самостоятельное изучение разделов дисциплины с использованием рекомендуемой литературы	2
4.	выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	2
5.	подготовка к практическим и семинарским занятиям	1
6.	подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	1
7.	решение расчетных задач по темам практических работ	1
8.	выполнение реферата по отдельным разделам дисциплины	2
9.	доклад, сообщение по представлению полученных результатов решения определенной учебно-исследовательской или научной темы	2
10.	представление студентом наработанной информации по заданной тематике (презентация)	2

Творческая проблемно-ориентированная СРС		
поиск, изучение и презентация информации по физике		2

формирования и развития объемного разряда, анализ научных публикаций по заданной теме	
исследовательская работа, участие в конференциях по физической электронике, научных семинарах кафедры по физике плазмы	2
анализ литературных данных по физике развития начальных стадий стримерного пробоя в газах высокого давления, выполнение расчётов, составление схем и моделей на основе собранных данных	1
Обработка результатов исследования электрических, оптических и спектральных характеристик искрового разряда в инертных газах атмосферного давления	2
подготовка к экзамену	36
Итого СРС:	58

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по отдельным разделам дисциплины обеспечивается материалом, размещенный на образовательном модуле ДГУ:

1. Курбанисмаилов В.С. Диагностика газоразрядной плазмы.
<http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=876>
2. Курбанисмаилов В.С. Физика газового разряда.
<http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=883>
3. Курбанисмаилов В.С. Структура и механизмы формирования различных форм импульсного разряда в газах высокого давления.
<http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=878>
4. Омаров О.А. Методы диагностики плазмы.
<http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=3015>.

Вопросов для самоконтроля при самостоятельной работе.

1. Понятие сечений и констант элементарных процессов.
2. Закон сохранения энергии при элементарных процессах. Принцип детального равновесия.
3. Упругие соударения электронов с атомами.
4. Упругие соударения электронов с ионами.
5. Дрейфовое движение электронов в низкотемпературной плазме газового разряда.
6. Диффузионное движение электронов в низкотемпературной плазме газового разряда (однополярная диффузия).
7. Диффузионное движение электронов в низкотемпературной плазме газового разряда (амбиполярная диффузия).
8. Виды процессов ионизации и возбуждения.
9. Константы скорости ионизации и возбуждения.
10. Каналы гибели возбужденных частиц в плазме. Удары второго рода. Виды процессов рекомбинации электрона и иона.
11. Несамостоятельный ток при малой концентрации заряженных частиц в газе.

12. Несамостоятельный ток с ионизационным усилением. Вольтамперная характеристика разряда.
13. Коэффициент ударной ионизации и его зависимость от напряженности поля и давления газа.
14. Условие развития самостоятельного разряда. Закон Пашена для пробивных напряжений.
15. Вольтамперная характеристика разряда в газе в общем виде и место различных видов разрядов на вольтамперной характеристике.
16. Импульсный пробой в газе. Время запаздывания при импульсном пробое.
17. Методы наблюдения одиночной лавины.
18. Таунсендовский механизм пробоя.
19. Стримерный механизм пробоя.
20. Пробой сильно перенапряженных промежутков.
21. Импульсные объемные разряды.
22. Механизм перехода от объемного разряда к искровому.
23. ВЧ и СВЧ разряды, оптический пробой.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы и пп.3.

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ОПОП)	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Б-УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;	Знает: основные методы критического анализа; методологию системного подхода, принципы научного познания. Умеет: производить анализ явлений и обрабатывать полученные результаты; выявлять проблемные ситуации, используя методы анализа, синтеза и абстрактного мышления; использовать современные теоретические концепции и объяснительные модели при анализе информации Владеет: навыками	Устный опрос, письменный опрос

		критического анализа.	
	Б-УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи;	Знает: систему информационного обеспечения науки и образования; Умеет: осуществлять поиск решений проблемных ситуаций на основе действий, эксперимента и опыта; выделять экспериментальные данные, дополняющие теорию (принцип дополнительности). Владеет: основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией.	
	Б-УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов	Знает: методы поиска информации в сети Интернет; правила библиографирования информационных источников; библиометрические и наукометрические методы анализа информационных потоков Умеет: критически анализировать информационные источники, научные тексты; получать требуемую информацию из различных типов источников, включая Интернет и зарубежную литературу. Владеет: методами классификации и оценки информационных ресурсов.	
...	Б-УК-1.4. При обработке информации отличает факты от мнений, интерпретаций, оценок, формирует собственные мнения и суждения, аргументирует свои выводы и точку зрения, в том числе с применением философского понятийного аппарата.	Знает: базовые и профессионально-профилированные основы философии, логики, права, экономики и истории; сущность теоретической и экспериментальной интерпретации понятий; сущность операционализации понятий и ее основных составляющих. Умеет: формулировать исследовательские проблемы; логически выстраивать последовательную содержательную аргументацию; выявлять	Устный опрос

		логическую структуру понятий, суждений и умозаключений, определять их вид и логическую корректность. Владеет: методами логического анализа различного рода рассуждений, навыками ведения дискуссии и полемики.	
	Б-УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленных задач.	Знает: требования, предъявляемые к гипотезам научного исследования; виды гипотез (по содержанию, по задачам, по степени разработанности и обоснованности). Умеет: определять в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке и предлагать способы их решения. Владеет: технологиями выхода из проблемных ситуаций, навыками выработки стратегии действий; навыками статистического анализа данных.	Устный опрос
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира	Знает: - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники. Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта. Владеет: - навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную	Письменный опрос

		сущность проблем.	
	ОПК-1.2. Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	Знает: - основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; - новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности. Умеет: - реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности. Владеет: - навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	
	ОПК-1.3. Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.	Знает: - основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы. Умеет: - выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата. Владеет: - навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность выбранного метода.	
ПК-12. Знает теорию и методы исследований в области физики	ПК-12.1. Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного	Знает: методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы	Устный опрос, письменный опрос

низкотемпературной плазмы	оборудования.	возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах; Умеет: пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области физики электрического пробоя; анализировать устройство используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники. Владеет: методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; некоторыми диагностические методы исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления.	
	ПК-12.2. Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы	Знает: теорию и методы физических исследований в физике плазмы Умеет: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями формирования искровых, дуговых и объемных разрядов; решать задачи для описания поведения элементарных частиц, протекающих в плазме газового разряда; Владеет: навыками проведения научных исследований в области	

		физики низкотемпературной плазмы с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.	
	ПК-12.3. Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.	Умеет: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики низкотемпературной плазмы; использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по физике низкотемпературной плазмы; проводить научные исследования в области физики низкотемпературной плазмы с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта. Владеет: навыки для анализа протекания электрического тока в различных типах газового разряда, а также их взаимодействия с внешними электромагнитными полями; устройством используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники.	

7.2. Типовые контрольные задания

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 столкновения ионов с нейтральными частицами. Как происходит резонансная перезарядка? Что такое экранирование зарядов в плазме и дебаевский радиус?

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? Как происходит дрейф электронов в слабоионизованном газе? Опишите энергию электронов. Опишите процесс диффузии электронов и ионов. Что такое амбиполярная диффузия? Опишите проводимость ионизованного газа.

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. Назовите принципы образования молекулярных ионов в атомарных газах. 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?

Тема 4. 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. Опишите оптический пробой. Опишите эксперименты по пробоем в СВЧ-полях. 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.

Тема 5. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Дуговые разряды.

Устный опрос, примерные вопросы:

От чего возникают и к чему приводят неустойчивости? Назовите некоторые другие часто действующие дестабилизирующие факторы. Опишите ионизационно-перегревную 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? Дуга низкого давления с искусственным накатом катода, каковы особенности?

Тема 6. Поддержание и генерация равновесной плазмы в разрядах различных частотных диапазонов. Искровой разряд.

Устный опрос, примерные вопросы:

Как происходит одиночная электронная лавина? Что такое стример? Как происходит лидерный процесс? Что такое положительный 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.

Тема 7. 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?

Тема 8. Высокочастотный емкостной разряд. Разряды в мощных CO₂ - лазерах непрерывного действия.

Письменная работа, примерные вопросы:

1. В чем принцип диэлектрического барьерного разряда. 2. Опишите идеализированную модель протекания быстропеременного тока через длинный плоский промежуток при повышенных давлениях. 3. Какова нормальная плотность тока в слабotoчном 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 слабotoчного разряда. 7. Опишите сильноточный режим. 8. Принцип работы электроразрядного лазера на CO₂. 9. Способы борьбы с неустойчивостями.

Примеры тестовых заданий по физике газового разряда:

1. Первый ионизационный коэффициент Таунсенда характеризует:

1) число пар ионов, которое один электрон в среднем рождает на 1 см пути, дрейфуя в направлении электрического поля;

2) число ионизаций, которое какой ни будь электрон, в среднем, совершает в 1 с.

3) число пар ионов, которое в среднем рождает электрон, проходя в однородном электрическом поле разность потенциалов 1 В.

2. Ионизационная способность η связана с коэффициентом ударной ионизации α следующим образом

1) $\eta = aE$;

2) $\eta = a / E$;

3) $\eta = E / a$.

3. Как зависит дрейфовая скорость электронов от напряженности электрического поля?

1) $\vec{v}_d = m v_m / \vec{E}$;

2) $\vec{v}_d = \vec{E} e / m v_m$;

3) $\vec{v}_d = m v_m \vec{E} e$.

4. Каков закон нарастания числа электронов в однородном электрическом поле?

1) $n_e = n_0 \exp(at)$;

2) $n_e = n_0 ax$;

3) $n_e = n_0 \exp(ax)$.

5. Каково условие перехода несамостоятельного разряда в самостоятельный?

1) $\mu > 1$

2) $\mu < 1$

3) $\mu = \gamma(\exp(ad) - 1) = 1$.

6. Какой из следующих закономерностей подчиняется плотность тока аномального тлеющего разряда?

1) $j = I/S \neq \text{const}$

2) $j = I/S = \text{const}$

3) не зависит от S и I.

7. Какое из следующих соотношений является критерием стримерного пробоя

1) $\exp(ad) > N_{KP}$

2) $\exp(ad) \geq N_{KP}$

3) $ad = N_{KP}$.

8. Отличительным признаком Таунсендовского механизма пробоя является то, что объемный заряд одиночной лавины не искажает электрическое поле в промежутке, т.е. число электронов в лавине удовлетворяет следующему соотношению

1) $\exp(ad) > N_{KP}$

2) $\exp(ad) = N_{KP}$

3) $\exp(ad) < N_{KP}$.

9. Катоды дуговых разрядов испускают электроны в результате:

- 1) термоэлектронной, автоэлектронной и термоавтоэлектронной эмиссии;
 - 2) вторичной электронной эмиссии;
 - 3) за счет фотоэффекта.
- 10.** Кривые Пашена определяют экспериментальные зависимости
- 1) потенциал зажигания V_i и E_i/p от отношения p/d ;
 - 2) потенциал зажигания V_i и E_i/p от произведения pd ;
 - 3) потенциал зажигания V_i и E_i/p от отношения d/p .
- 11.** Неотъемлемой частью тлеющего разряда является наличие:
- 1) положительного столба;
 - 2) фарадеево темного пространства;
 - 3) катодного слоя;
 - 4) области отрицательного свечения.
- 12.** Положительный столб тлеющего разряда постоянного тока – наиболее ярко выраженный и распространенный пример:
- 1) высокотемпературной плазмы;
 - 2) слабоионизированной неравновесной плазмы;
 - 3) сильноионизированной равновесной плазмы.
- 13.** Дуговым называют самоподдерживающиеся разряды, в которых
- 1) катодное падение составляет сотни вольт;
 - 2) катодное падение потенциала имеет относительно низкую величину порядка потенциалов ионизации или возбуждения атомов ($\sim 1-10$ эВ);
 - 3) напряжение горения дуг составляет десятки киловатт.
- 14.** Разновидности разрядов постоянного тока, которые перечисляют к типу дуговых можно квалифицировать:
- 1) по характеру процессов на катоде;
 - 2) по состоянию плазмы положительного столба дуги;
 - 3) по характеру процессов на катоде, состоянию плазмы положительного столба, по роду среды в которой протекает ток.
- 15.** В дуге с горячим термоэлектронным катодом катод нагревается целиком до высоких температур за счет:
- 1) вторичной электронной эмиссии;
 - 2) постороннего источника;
 - 3) автоэлектронной эмиссии;
 - 4) интенсивной термоэлектронной эмиссии.
- 16.** Столб дуги атмосферного давления – наиболее типичный и распространенный образец:
- 1) слабо ионизированной низкотемпературной плазмы;
 - 2) плотной низкотемпературной плазмы, поддерживаемой электрическим полем;
 - 3) столб однородного разряда с объемным протеканием тока.
- 17.** Катодный слой дугового разряда в отсутствии постороннего накала катода призван создать условия:

- 1) для зажигания столба дуги;
- 2) для самоподдержания сильного тока;
- 3) для обеспечения вторичной эмиссии.

18. Одним из условий для зажигания однородного объемного разряда является то, что абсолютное значение начальной концентрации электронов определяется как:

- 1) $n_0 = (4dt)^{1/2}$;
- 2) $n_0 \geq 2\varepsilon_0 / 3\varepsilon_0$;
- 3) $n_0 \geq (3eaE_0 / 32\varepsilon_0)^{3/2}$,

где ε_0 - средняя энергия электронов; α - коэффициент ударной ионизации; E_0 - внешнее поле, n_0 - начальная концентрация электронов.

19. Связь между частотой ионизации ν_i и скоростью дрейфа ν_g и ионизационным коэффициентом α :

- 1) $\nu_i = \nu_g \alpha$;
- 2) $\nu_i = \nu_g / \alpha$;
- 3) $\nu_i = \alpha / \nu_g$.

20. Для аналитического описания ионизационного коэффициента α Таунсендом была предложена эмпирическая формула

- 1) $\alpha = \nu_i \nu_g$;
- 2) $\alpha / p = A \exp(-BP / E)$;
- 3) $\alpha / p = AP / BE$,

где A и B - постоянные коэффициенты; p - давление; E - модуль напряженности электрического поля.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ответ																				

7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 20 баллов,
- устный опрос, тестирование, коллоквиум - 60 баллов,
- (доклады, рефераты) - 10 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 50 баллов,
- письменная контрольная работа - 50 баллов,

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

а) адрес сайта курса (образовательный портал ДГУ).

Курбанисмаилов В.С. Физика газового разряда.

<http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=883>

б) Основная литература

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда.- 2-е изд.- М.: Наука, 1992. - 592 с.
2. Леб Л. Основные процессы электрических разрядов в газах: Пер. с англ. /Под ред. Н.А. Капцова. - М.: Гостехиздат, 1950. - 672 с.
3. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. - М.: Гостехиздат, 1952.
4. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд: Учебное пособие для вузов.- М.: Изд-во МФТИ, 1997. - 320 с.
5. Курбанисмаилов В.С., Омаров О.А., Ашурбеков Н.А. Физика газового разряда. Учебное пособие. Махачкала, ИПЦ ДГУ, 2001.
6. Цендин Л.Д., Кудрявцев А.А., Смирнов А.С. Физика тлеющего разряда. Учебное пособие. Изд-во «Лань». Санкт- Петербург.2010. 512 с.
7. Смирнов А.С. Физика газового разряда. Учебное пособие. Изд-во СПбГТУ, СПб. 1997.
8. Дьяков А.Ф., Бобров Ю.К., Сорокин А.В., Юргеленас Ю.В. Физические основы электрического пробоя газов. М.: Издательство МЭИ, 1999. 400 с.
9. Жукешов А.М. Исследование импульсного разряда высокой мощности [Электронный ресурс] / А.М. Жукешов. - Электрон. текстовые данные. — Алматы: Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2014. — 158 с. - 978-601-04-0620-9. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58662.html> (дата обращения: 27.09.2021).
10. Савинов, В.П. Физика высокочастотного емкостного разряда: монография / В.П. Савинов. - Москва: Физматлит, 2013. - 308 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1551-3; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457688> (27.09.2021).

в) Дополнительная литература:

1. Райзер, Юрий Петрович и др. Высокочастотный ёмкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения: [учеб. пособие для вузов по направлению "Техн. физика"] / Райзер, Юрий Петрович и др.; М.Н. Шнейдер, Н.А. Яценко. - М.: Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та: Наука. Изд. фирма "Физ.-мат. лит.", 1995. - 310 с.: ил.; 22 см. - Библиогр.: с. 299-310. - ISBN 5-7417-0006-3 (Изд-во Моск. физ. техн. ин-та): 2500-00.
2. Омаров, Омар Алиевич. Импульсные разряды в газах высокого давления: учебное пособие для вузов / Омаров, Омар Алиевич. - Махачкала: Юпитер, 2001. - 335 с. - Библиогр.: с. 332-333. - ISBN 5-7895-0027-7: 87-56.

3. Браун С. Элементарные процессы в плазме газового разряда: Пер. с англ. /Под ред. Франк-Каменецкого Д. А. - М.: Атомиздат, 1961.
4. Трубецков, Д.И. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2-х т. [Текст]. Т.1 / Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов. - М.: Физматлит, 2005. - ISBN 5-9221-0372-5 : 270-27.
5. Ховатсон А.М. Введение в теорию газового разряда /Пер. с англ. Иванчика И. И. - М.: Атомиздат, 1980.
6. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. - М.: Наука, 1991. - 224 с.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г. Срок действия договора со 02.10.2020 г. по 02.10.2021 г.
2. Moodle [*Физика газового разряда*]: система виртуального обучения: [база данных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/> (дата обращения: 27.09.2021).
3. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: www.biblioclub.ru. Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. Срок действия договора с 01.10.2020 до 30.09.2021 г. 537наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
7. **Web of Science:** Web of Science Core Collection базы данных Clarivate. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 07.07.2020 г. № 692 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Clarivate в 2020 г. webofknowledge.com
8. **Scopus:** Scopus издательства Elsevier B.V. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении

лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2020 г. <https://www.scopus.com>

9. **Международное издательство Springer Nature** Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2020 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>

10. **Журналы American Physical Society.** Базы данных APS (American Physical Society). Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2020 г. <http://journals.aps.org/about>

11. **Университетская информационная система РОССИЯ** <https://uisrussia.msu.ru/>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов по физике газового разряда;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;
- моделирование кинетических процессов в плазме объемного разряда.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Программное обеспечение для лекций: MS Power Point (MS Power Point Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.

2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS Power Point (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Закрепление теоретического материала и приобретение практических навыков использования аппаратуры для проверки физических законов обеспечивается лабораториями специального физического практикума – 2 лаб.

При проведении занятий используются компьютерный класс, оснащенный современной компьютерной техникой.

При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Комплект мультимедийных слайд-лекций по всем разделам дисциплины.

Комплект анимированных интерактивных компьютерных демонстраций по ряду разделов дисциплины.