



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИКА ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ**

Кафедра физической электроники

Образовательная программа

**03.04.02 Физика**

Профиль подготовки:

**Физика плазмы**

Уровень высшего образования:

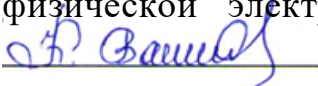
**Магистратура**

Форма обучения: **очная**

Статус дисциплины: **вариативный по выбору**

**Махачкала, 2021 год**

Рабочая программа дисциплины «Физика импульсного пробоя» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки **03.04.02 Физика** (уровень магистратуры), утвержденным Приказом Минобрнауки России от «7» августа 2020 г. № 914.

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 импульсного пробоя**» входит в Блок 1, дисциплина по выбору образовательной программы магистратуры по направлению 03.04.02 Физика (уровень: магистратуры), профиль – физика плазмы.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физической электроники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с физическими представлениями об основных элементарных процессах, которые могут происходить в низкотемпературной плазме газовых разрядов, с основными видами газовых разрядов, экспериментальными результатами, накопленными при их исследовании, методами построения моделей, характеризующих разряд, и методами расчета вольтамперных характеристик, с процессами, протекающими в импульсных газовых разрядах.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: *общепрофессиональных*: ОПК–4; *профессиональных*: ПК–6.

### ***Общепрофессиональные компетенции:***

- Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности (ОПК-4).

### ***Профессиональными компетенциями:***

- Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы (ПК-6).

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

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме двух **контрольных работ, и двух коллоквиумов** и промежуточный контроль в форме **зачета**.

Объем дисциплины 3 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					консультации		
		всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР			
1	108	30	16	-	14	-	-	78	Зачет

## **1. Цели освоения дисциплины**

**Целями освоения дисциплины «Физика импульсного пробоя»** состоит в том, чтобы продемонстрировать знания, полученные студентами в период обучения в бакалавриате, а также получение новых знаний, которые могут быть использованы при экспериментальном исследовании и теоретическом описании конкретных типов газовых разрядов, формирующихся при импульсном пробое.

В лекциях рассматриваются **элементарные процессы в плазме газового разряда**, 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 импульсных разрядах.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры**

Дисциплина «Физика импульсного пробоя» входит в Блока 1 и является дисциплиной по выбору ОПОП магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 Физика (профиль – физика плазмы).

Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные со 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 импульсного пробоя.

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: научный семинар по физике плазмы, спектроскопия плазмы, специальный физический практикум, методы диагностики низкотемпературной плазмы, кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы.

Преподавание курса «Физика импульсного пробоя» сочетает традиционную лекционную форму с мультимедийными компьютерными презентациями и демонстрациями графического представления результатов физики импульсного пробоя газов высокого давления.

## **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, импульсный пробой газа при высоких перенапряжениях, некоторые диагностические методы исследования импульсного пробоя газов.

Анализировать основные элементарные процессы образования и гибели заряженных частиц в плазме газового разряда и их роль в формировании и развитии электрического пробоя.

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ОПОП)	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	ОПК-4.1. Определяет ожидаемые результаты научных исследований.	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы внедрения результатов научных исследований в области физики газового разряда;</li> <li>- возможные варианты внедрения результатов исследований в области профессиональной деятельности.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- определять сферу внедрения результатов научных исследований в области физики низкотемпературной плазмы;</li> <li>- определять ожидаемые результаты научных исследований;</li> <li>- определять способы внедрения результатов научных исследований.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- профессиональной терминологией при презентации проведенного исследования и научным стилем</li> </ul>	Письменный опрос
	ОПК -4.2. Предлагает возможные варианты внедрения результатов исследований в области профессиональной деятельности		
	ОПК-4.3. Знает области применения результатов научных исследований в своей профессиональной деятельности		

		<p>изложения собственной концепции;</p> <p>- методами описания результатов научных исследований для их внедрения.</p>	
<p><b>ПК-6.</b> Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы.</p>	<p><b>ПК-6.1.</b> Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного оборудования.</p>	<p><b>Знает:</b> методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики импульсного пробоя; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах; современные представления по физике электрического пробоя газов.</p> <p><b>Умеет:</b> 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; проводить научные исследования в области физики импульсного пробоя с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического</p>	<p>Круглый стол ...</p>
	<p><b>ПК-6.2.</b> Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы</p>		
	<p><b>ПК-6.3.</b> Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.</p>		
	<p><b>ПК-6.4.</b> Способен собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов и исследований в соответствующей области знаний, проводить эксперименты и наблюдения, составлять отчеты по теме или по результатам проведенных экспериментов</p>		

		<p>оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p> <p><b>Владеет:</b> методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики импульсного пробоя; некоторыми диагностические методы исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики н импульсного пробоя; навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.</p>	
--	--	---	--

#### **4. Объем, структура и содержание дисциплины.**

4.1. Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел и темы дисциплины	Сем естр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Практич. занятия	Лаборат. занятия	Контроль сам. раб	
<b>Модуль 1. Элементарные процессы в плазме импульсного пробоя</b>							
1	Элементарные процессы. Закон сохранения энергии. Сечение столкновений. Скорости протекания элементарных процессов. Принцип детального равновесия. Дифференциальное сечение упругих взаимодействий. Полное сечение. Транспортное сечение. Упругое взаимодействие электронов с атомами и ионами. Эффект Рамзауэра.	2	2	1		8	Устный опрос
2	Направленное движение электронов и ионов в газе под действием электрического поля. Диффузионное движение электронов и ионов.	2	1	1		8	Устный опрос, семинарское занятие
3	Элементарные процессы, вызывающие ионизацию и возбуждение. Ионизация при соударении нейтральных частиц с электронами. прямая и ступенчатая ионизация в плазме. Неупругие удары тяжелых частиц. Возбуждение при соударении нейтральных частиц с электронами. Удары второго рода. Девозбуждение атомов и молекул при соударениях с электронами. Каналы разрушения возбужденных частиц в плазме.	2	2	2		10	Устный опрос, семинарское занятие



<i>Итого по модулю 1</i>			5	4		26	
<b>Модуль 2. Электрический ток при импульсном пробое газов</b>							
4.	Строение двухатомных молекул колебательные и вращательные уровни энергии. Потенциальные кривые. Спектры свечения двухатомных молекул. Процессы с участием трех частиц. Формула Томсона для константы Тройного процесса. Константы некоторых тройных процессов, вычисленные по формуле Томсона. Виды процессов рекомбинации электрона и иона. Образование отрицательных ионов в низкотемпературной плазме.	2	2	2		8	Контрольная работа, семинарские занятия
5	Распределение электрического поля в промежутке при наличии объемных зарядов. Несамостоятельный ток при слабой объемной ионизации (малой концентрации заряженных частиц в объеме). Несамостоятельный ток с ионизационным усилением. Коэффициент ударной ионизации, его зависимость от напряженности поля и давления газа.	2	2	1		8	семинарское занятие
6	Условие развития самостоятельного разряда. Закон Пашена для пробивных напряжений. Роль объемных зарядов в формировании пробоя. Несамостоятельный ток при сильной объемной ионизации. Вольтамперная характеристика стационарного разряда, демонстрирующая	2	1	2		10	семинарское занятие

	различные формы протекания электрического тока в газе. Общее описание тлеющего разряда.						
<i>Итого по модулю 2</i>			5	5		26	
<b><i>Модуль 3. Стационарные и импульсные разряды</i></b>							
7	Теория прикатодного слоя тлеющего разряда. Положительный столб тлеющего разряда. Объемный разряд, поддерживаемый пучком быстрых электронов. Время запаздывания пробоя. Информация, получаемая при измерении времен запаздывания.	2	2	1		8	Устный опрос, семинарское занятие
8	Методы наблюдения одиночной электронной лавины. Таунсендовский и стримерный механизм пробоя.	2	2	2		8	Контрольная работа, семинарские занятия
9.	Самостоятельные импульсные разряды в газах высокого давления. Пробой при высоких перенапряжениях. Оптический пробой	2	2	2		10	Устный опрос
<i>Итого: модуль 3</i>			6	5		26	
<b>Итого</b>			<b>16</b>	<b>14</b>		<b>78</b>	Зачет

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

##### ***4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.***

###### ***Модуль 1. Элементарные процессы в плазме газового разряда***

1. Элементарные процессы. Закон сохранения энергии. Сечение столкновений. Скорости протекания элементарных процессов. Принцип детального равновесия.
2. Дифференциальное сечение упругих взаимодействий. Полное сечение. Транспортное сечение. Упругое взаимодействие электронов с атомами и ионами. Эффект Рамзауэра.
3. Направленное движение электронов и ионов в газе под действием электрического поля.
4. Диффузионное движение электронов и ионов.
5. Элементарные процессы, вызывающие ионизацию и возбуждение. Ионизация при соударении нейтральных частиц с электронами.

прямая и ступенчатая ионизация в плазме. Неупругие удары тяжелых частиц.

6. Возбуждение при соударении нейтральных частиц с электронами. Удары второго рода. Девозбуждение атомов и молекул при соударениях с электронами. Каналы разрушения возбужденных частиц в плазме.

### ***Модуль 2. Электрический ток при импульсном пробое газов***

7. Строение двухатомных молекул колебательные и вращательные уровни энергии. Потенциальные кривые. Спектры свечения двухатомных молекул.
8. Процессы с участием трех частиц. Формула Томсона для константы Тройного процесса. Константы некоторых тройных процессов, вычисленные по формуле Томсона.
9. Виды процессов рекомбинации электрона и иона.
10. Образование отрицательных ионов в низкотемпературной плазме.
11. Распределение электрического поля в промежутке при наличии объемных зарядов.
12. Несамостоятельный ток при слабой объемной ионизации (малой концентрации заряженных частиц в объеме).
13. Несамостоятельный ток с ионизационным усилением. Коэффициент ударной ионизации, его зависимость от напряженности поля и давления газа.
14. Условие развития самостоятельного разряда. Закон Пашена для пробивных напряжений. Роль объемных зарядов в формировании пробоя.
15. Несамостоятельный ток при сильной объемной ионизации.
16. Вольтамперная характеристика стационарного разряда, демонстрирующая различные формы протекания электрического тока в газе. Общее описание тлеющего разряда.

### ***Модуль 3. Стационарные и импульсные разряды***

17. Теория прикатодного слоя тлеющего разряда.
18. Положительный столб тлеющего разряда.
19. Объемный разряд, поддерживаемый пучком быстрых электронов.
20. Время запаздывания пробоя. Информация, получаемая при измерении времен запаздывания.
21. Методы наблюдения одиночной электронной лавины.
22. Таунсендовский и стримерный механизм пробоя.
23. Пробой при высоких перенапряжениях.
24. Самостоятельный объемный разряд в газах высокого давления.
25. Пробой при высоких перенапряжениях. Оптический пробой.
26. Решение задач по курсу.

#### ***4.3.2. Содержание практических занятий по дисциплине.***

##### ***Модуль 1. Элементарные процессы в плазме газового разряда***

1. Исследование электрической прочности воздушных промежутков в неоднородном поле.
2. Разряды в воздухе при переменном напряжении промышленной частоты.
3. Электрические разряды по поверхности твердого диэлектрика.

#### *Модуль 2. Электрический ток при импульсном пробое газов*

4. Исследование генератора (трансформатора) импульсных напряжений.
5. Измерение высоких напряжений. Измерение максимального напряжения искровыми разрядниками. Электростатические вольтметры. Измерение прибором с использованием добавочного резистора или делителя напряжения.
6. Генераторы импульсных напряжений импульсов высокого напряжения прямоугольной формы. Импульсные трансформаторы.

#### *Модуль 3. Стационарные и импульсные разряды*

7. Виды самостоятельных разрядов в газах.

### **5. Образовательные технологии**

Освоение данного курса специальной дисциплины предполагается с использованием лекционных занятий, практических занятий с элементами разбора определенных тем дисциплины в сочетании с внеаудиторной работой в виде написания курсовой работы с использованием новейших достижений в данной области из периодических отечественных и зарубежных научных изданий. На лекционных занятиях предусмотрены компьютерные презентации с наглядными иллюстрациями процессов рассеяния частиц. Кроме того, предусмотрено посещение научных лабораторий Федерального НОЦ «физика плазмы» с ознакомлением с устройствами для получения электронных пучков и анализа их энергетических характеристик. В рамках учебного курса предусмотрена встреча с ведущими специалистами в данной области из МГУ им. М.В. Ломоносова, ОИВТ РАН, ИОФ РАН, которые ежегодно приглашаются в ДГУ в качестве председателей ГЭК или для участия в работе Всероссийской конференции «физическая электроника», организуемой Научным Советом РАН по проблеме «физика низкотемпературной плазмы».

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.

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

Учебной программой дисциплины «Физика импульсного пробоя» предусмотрено 78 часов изучения материала на самостоятельную работу студентов. Данный вид работы является обязательным для выполнения. При самостоятельном выполнении различных видов заданий студент учится

принимать самостоятельно решения, разбирать и изучать новый материал, работать с периодической научной литературой, обрабатывать экспериментальные данные, формировать отчет о проделанном исследовании.

Самостоятельная работа по курсу «Физика импульсного пробоя» включает:

- самостоятельное изучение теоретического материала с использованием рекомендуемой литературы;
- решение расчетных задач по темам практических работ;
- выполнение заданий.

Выполненные задания оформляются в соответствии с требованиями оформления студенческих текстовых документов и сдаются преподавателю в соответствии с графиком самостоятельной работы.

*Приводятся виды самостоятельной работы обучающегося, порядок их выполнения и контроля, дается учебно-методическое обеспечение (возможно в виде ссылок) самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.*

*Приводится характеристика всех видов и форм самостоятельной работы студентов, включая творческую / исследовательскую деятельность студентов, курсовые проекты и работы.*

#### Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

№ пп	Вид самостоятельной работы	Примерная трудоёмкость, а.ч.
<b>Текущая СРС</b>		
1.	работа с лекционным материалом, с учебной литературой	10
2.	опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	
3.	самостоятельное изучение разделов дисциплины с использованием рекомендуемой литературы	15
4.	выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	10
5.	подготовка к практическим и семинарским занятиям	8
6.	подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам	5
7.	решение расчетных задач по темам практических работ	10
8.	выполнение реферата по отдельным разделам дисциплины	5
9.	доклад, сообщение по представлению полученных результатов решения определенной учебно-исследовательской или научной темы	5
10.	представление студентом наработанной информации по заданной тематике (презентация)	5

11.	подготовка к зачету	5
-----	---------------------	---

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. Структура и механизмы формирования различных форм импульсного разряда в газах высокого давления. <http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=878>
3. Курбанисмаилов В.С. Интересная физика. <http://physic01.blogspot.com/>
4. Омаров О.А. Методы диагностики плазмы. <http://edu.dgu.ru/course/view.php?id=3015>.

**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.** Зачет в конце 2 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

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

К оценочным средствам результатов обучения по данной дисциплине относятся:

**Устный опрос (теоретический зачет)** – диалог преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала.

**Коллоквиум** – способ промежуточной проверки знаний, умений, навыков студента в середине семестра по пройденным темам изучаемого предмета.

**Контрольная работа** – средство промежуточного контроля остаточных знаний и умений, обычно состоящее из нескольких вопросов или заданий, которые студент должен решить, выполнить.

**Проектная деятельность** – воплощение имеющегося замысла, идеи, образа решения какой-либо проблемы в подходящей для этого форме (описание, обоснование, расчеты, чертежи).

**Презентация** – представление студентом наработанной информации по заданной тематике в виде набора слайдов и спецэффектов, подготовленных в выбранной программе.

**Кейс-задача** – проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы. Студент самостоятельно формулирует цель, находит и собирает информацию, анализирует ее, выдвигает гипотезы, ищет варианты решения проблемы, формулирует выводы, обосновывает оптимальное решение ситуации.

**Доклад, сообщение** – продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

**Реферат** – продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемого вопроса, приводит различные точки зрения, а также собственное понимание проблемы.

**Портфолио** – конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.

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

<b>Код и наименование компетенции из ОПОП</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ОПОП)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Процедура освоения</b>
ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	ОПК-4.1. Определяет ожидаемые результаты научных исследований.	<b>Знает:</b> - методы внедрения результатов научных исследований в области физики газового разряда; - возможные варианты внедрения результатов исследований в области профессиональной деятельности. <b>Умеет:</b>	Письменный опрос
	ОПК -4.2. Предлагает возможные варианты внедрения результатов исследований в области профессиональной деятельности		

	<p>ОПК-4.3. Знает области применения результатов научных исследований в своей профессиональной деятельности</p>	<p>- определять сферу внедрения результатов научных исследований в области физики низкотемпературной плазмы; - определять ожидаемые результаты научных исследований; - определять способы внедрения результатов научных исследований. <b>Владеет:</b> - профессиональной терминологией при презентации проведенного исследования и научным стилем изложения собственной концепции; - методами описания результатов научных исследований для их внедрения.</p>	
<p><b>ПК-6.</b> Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы.</p>	<p><b>ПК-6.1.</b> Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного оборудования.</p> <p><b>ПК-6.2.</b> Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы</p> <p><b>ПК-6.3.</b> Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.</p> <p><b>ПК-6.4.</b> Способен собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов и</p>	<p><b>Знает:</b> методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики импульсного пробоя; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах; современные представления по физике электрического пробоя газов. <b>Умеет:</b> пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области физики электрического пробоя; анализировать устройство</p>	<p>Круглый стол</p>



	<p>исследований в соответствующей области знаний, проводить эксперименты и наблюдения, составлять отчеты по теме или по результатам проведенных экспериментов</p>	<p>используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники; проводить научные исследования в области физики импульсного пробоя с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p> <p><b>Владеет:</b> методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики импульсного пробоя; некоторыми диагностические методы исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики н импульсного пробоя; навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных</p>	
--	---	--	--

		исследований инновационной деятельности.	в	
--	--	--	---	--

## 7.2. Типовые контрольные задания

### Перечень вопросов к коллоквиуму

1. Элементарные процессы. Закон сохранения энергии. Сечение столкновений. Скорости протекания элементарных процессов. Принцип детального равновесия.
2. Дифференциальное сечение упругих взаимодействий. Полное сечение. Транспортное сечение. Упругое взаимодействие электронов с атомами и ионами. Эффект Рамзауэра.
3. Направленное движение электронов и ионов в газе под действием электрического поля.
4. Диффузионное движение электронов и ионов.
5. Элементарные процессы, вызывающие ионизацию и возбуждение. Ионизация при соударении нейтральных частиц с электронами. прямая и ступенчатая ионизация в плазме. Неупругие удары тяжелых частиц.
6. Возбуждение при соударении нейтральных частиц с электронами. Удары второго рода. Девозбуждение атомов и молекул при соударениях с электронами. Каналы разрушения возбужденных частиц в плазме.
7. Строение двухатомных молекул колебательные и вращательные уровни энергии. Потенциальные кривые. Спектры свечения двухатомных молекул.
8. Процессы с участием трех частиц. Формула Томсона для константы Тройного процесса. Константы некоторых тройных процессов, вычисленные по формуле Томсона.
9. Виды процессов рекомбинации электрона и иона.
10. Образование отрицательных ионов в низкотемпературной плазме.
11. Распределение электрического поля в промежутке при наличии объемных разрядов.
12. Несамостоятельный ток при слабой объемной ионизации (малой концентрации заряженных частиц в объеме).
13. Несамостоятельный ток с ионизационным усилением. Коэффициент ударной ионизации, его зависимость от напряженности поля и давления газа.
14. Условие развития самостоятельного разряда. Закон Пашена для пробивных напряжений. Роль объемных зарядов в формировании пробоя.
15. Несамостоятельный ток при сильной объемной ионизации.
16. Вольтамперная характеристика стационарного разряда, демонстрирующая различные формы протекания электрического тока в газе. Общее описание тлеющего разряда.
17. Теория прикатодного слоя тлеющего разряда.
18. Положительный столб тлеющего разряда.
19. Объемный разряд, поддерживаемый пучком быстрых электронов.

20. Время запаздывания пробоя. Информация, получаемая при измерении времен запаздывания.
21. Методы наблюдения одиночной электронной лавины.
22. Таунсендовский и стримерный механизм пробоя.
23. Пробой при высоких перенапряжениях.
24. Самостоятельный объемный разряд в газовых лазерах.
25. Решение задач по курсу.

**Тематика рефератов и курсовых работ и методические указания  
по их выполнению**

1. Методы получения электронных пучков низкой интенсивности
2. Упругое рассеяние электронов на атомах
3. Методы расчета сечений неупругого рассеяния электронов на атомах
4. Потенциалы взаимодействия электрона с тяжелыми частицами
5. Ионно-молекулярные процессы в плазме
6. Рекомбинация молекулярных ионов с электронами
7. Ударно-радиационная рекомбинация заряженных частиц

***Методические указания к выполнению курсовой работы***

Целью выполнения курсовой работы по дисциплине "Физика импульсного пробоя" является проверка знаний студентов по вопросам основ физики столкновений, полученных в ходе лекционных и семинарских занятий, умения анализировать и обобщать материалы, раскрывающие связи между теорией и экспериментом, углубленное самостоятельное изучение отдельных разделов физики столкновений.

Основные задачи выполнения рефератов и курсовых работ:

- изучение методов анализа специальной учебной и научной литературы, проблемных статей, статистических данных по конкретной теме;
- анализ, обобщение и систематизация материалов по конкретным вопросам физики столкновений;
- изучение теоретических вопросов анализа столкновительных процессов;
- анализ различных областей физики столкновений в науке и технике.

Реферат должен, как правило, базироваться на конкретных материалах одного типа столкновений или процесса рассеяния.

Выбор темы реферата осуществляется студентом самостоятельно, исходя, прежде всего из возможностей получения необходимых для ее выполнения фактических экспериментальных и теоретических материалов. Изменение формулировки темы по инициативе студента не допускается. Тема реферата утверждается лектором данного курса. Студент должен выполнять реферат в соответствии с планом, утвержденным научным руководителем. Это позволяет выдержать логику изложения и проверить ключевые моменты усвоения студентами базовых физических понятий, умение анализировать конкретные ситуации с применением характеристик лазерного излучения.

План реферата разрабатывается студентом самостоятельно, но при этом он должен учитывать ниже изложенные положения. Структура реферата по дисциплине "Физика импульсного пробоя", как правило, включает:

- введение;
- теоретическую часть;
- аналитическую часть;
- практическая часть, посвященная конкретным экспериментальным результатам;
- заключение;
- список использованной литературы;
- приложения.

Во **введении** необходимо охарактеризовать актуальность проблемы, цель и задачи реферата, объект и предмет исследования, методы, используемые при выполнении реферата, ее теоретическую и методологическую основу. Очень важно различать понятия "объект" и "предмет" исследования. Как правило, под объектом понимается определенный тип лазера или оптического явления (например, лазерная искра). Предмет исследования – это более конкретная характеристика определенных аспектов объекта (например, методы расчета порога лазерной искры и т.п.).

В **теоретической части** реферата раскрывается сущность рассматриваемого физического процесса. Необходимо изучить основные теоретические положения, охарактеризовать на основе обобщения учебной и научной литературы, в т.ч. зарубежных авторов, различные трактовки и классификации исследуемого объекта. Теоретическая часть работы может включать исторические аспекты появления и развития данного направления исследований.

Центральное место в реферате занимает **аналитическая часть**. Целью данной части является всесторонний анализ задач, методов экспериментального и теоретического исследования, основные закономерности. Необходимо привести общие сведения об объекте, в т.ч.:

- новые теоретические и экспериментальные результаты, полученные за последние десять лет;
- области применения полученных результатов;
- имеющиеся проблемы и нерешенные вопросы.

В данном разделе необходимо проанализировать соответствие экспериментальных результатов теоретическим моделям, анализировать погрешности измерений и точность теоретических расчетов. Следует показать собственную позицию в оценке проблемной ситуации и возможностей ее решения. Обязательно нужно делать ссылки на использованную литературу и точки зрения цитируемых авторов.

Проведенный анализ объекта исследования с использованием современных, включая квантовых, методов является базой для разработки конкретных предложений.

**Практическая часть** реферата по дисциплине "Физика импульсного пробоя» включает собственные экспериментальные результаты, оценки и расчеты, если эта часть работы запланирована. В данной части необходимо рассмотреть схемы экспериментальных установок, методов исследования и теоретического анализа.

В **заключении** реферата, опираясь на цели и задачи, сформулированные во введении, и результаты трех предшествующих частей, нужно сделать выводы по исследуемой проблеме и обобщить предложения, направленные на конкретные рекомендации.

**Список использованной литературы** должен включать действительно использованные в работе источники. При этом библиография составляется в порядке ссылок по тексту. При ссылке в тексте реферата на использованный источник приводится его порядковый номер в общем списке в квадратных скобках.

В **приложения** включаются вспомогательные материалы, использованные в курсовой работе для характеристики объекта исследования, подготовки таблиц, расчета показателей.

### **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%.

**Лекции - Текущий контроль** включает:

- посещение занятий \_\_10\_\_ бал.
- активное участие на лекциях \_\_15\_\_ бал.
- устный опрос, тестирование, коллоквиум \_\_60\_\_ бал.
- и др. (доклады, рефераты) \_\_15\_\_ бал.

**Практика (р/з) - Текущий контроль** включает:

(от 51 и выше - зачет)

- посещение занятий \_\_10\_\_ бал.
- активное участие на практических занятиях \_\_15\_\_ бал.
- выполнение домашних работ \_\_15\_\_ бал.
- выполнение самостоятельных работ \_\_20\_\_ бал.
- выполнение контрольных работ \_\_40\_\_ бал.

## **8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.**

**а) адрес сайта курса**

Интернет-адрес сайта. В качестве сайта курса рекомендуется использовать сайт кафедры или факультета (института), специализированные учебные сайты (например, на платформе Moodle).

**б) Основная литература:**

1. Райзер, Юрий Петрович. Физика газового разряда / Райзер, Юрий Петрович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1992. - 535,[1] с. : ил.; 22 см. - ISBN 5-02-014615-3.
2. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд: Учебное пособие для вузов.- М.: Изд-во МФТИ, 1997. - 320 с.
3. Райзер, Юрий Петрович. Основы современной физики газоразрядных процессов / Райзер, Юрий Петрович. - М.: Наука, 1980. - 415 с.: ил.; 20 см. - Библиогр.: с. 411-415. - Загл. корешка: Физика газоразрядных процессов. - 3-60.
4. Кудрявцев, Анатолий Анатольевич. Физика тлеющего разряда : учеб. пособие / Кудрявцев, Анатолий Анатольевич, Смирнов, Александр Сергеевич. - СПб.-; М.; Краснодар : Лань, 2010. - 907-28.
5. Омаров, Омар Алиевич. Физика газового разряда: учеб. пособие для студентов физ. специальностей / Омаров, Омар Алиевич, Ашурбеков, Назир Ашурбекович, Курбанисмаилов, Вали Сулейманович. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2001. - 166 с. - 25-00.
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. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т.ХІ - 4: Газовые и плазменные лазеры / отв. ред. С.И.Яковленко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 820 с.: ил. - (Энциклопедическая серия. Серия Б: Справочные приложения, базы и банки данных/ гл. ред. В.Е. Фортов). - ISBN 5-9221-0571-6 : 984-06.
10. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. т.ІІІ-1: Термодинамические свойства низкотемпературной плазмы / отв.ред. А.Н. Старостин. - М.: Физматлит, 2004. - ISBN 5-9221-0550-7 : 984-06.
11. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: сборник статей: в 3 кн. / Российская академия наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова; под ред. М.Я. Щелева. - Москва: Физматлит, 2017. - Кн. 3. Сверхскоростная электронно-оптическая диагностика в физике ускорителей элементарных частиц. - 195 с.: табл., граф., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1737-1. - ISBN 978-5-9221-1740-1 (кн. 3); То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485559> (20.06.2018).
12. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: сборник статей: в 3 кн. / Российская академия наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова; под ред. М.Я. Щелева. - Москва: Физматлит, 2017. - Кн. 2. Сверхскоростная электронно-оптическая аппаратура (принципы построения, динамические испытания, методика

применения). - 305 с. : табл., граф., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1737-1. - ISBN 978-5-9221-1739-5 (кн. 2); То же [Электронный ресурс]. -

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485555> (20.06.2018).

13. Высокоскоростная фотоэлектронная регистрация изображений: сборник статей: в 3 кн. / Российская академия наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова; под ред. М.Я. Щелева. - Москва: Физматлит, 2017. - Кн. 1. Основы, основоположники и последователи пико-фемтосекундной электронно-оптической хронографии. - 380 с.: табл., граф., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1737-1. - ISBN 978-5-9221-1738-8 (кн. 1); То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485548> (20.06.2018).
14. 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: 25.06.2018)

*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. Газовая электроника: метод. указ. к выполнению спец. практикума / [сост. В.С. Курбанисмаилов, Ш.М. Самудов, А.З. Эфендиев]; Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2007. - 85 с. - 51-00.
3. 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.
4. Браун С. Элементарные процессы в плазме газового разряда: Пер. с англ. /Под ред. Франк-Каменецкого Д. А. - М.: Атомиздат, 1961.
5. Грановский В. Л. Электрический ток в газе (установившийся ток). - М.: Наука, 1971.
6. 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.
7. Смирнов Б. М. Физика слабоионизованного газа (в задачах с решениями). - Изд. 2-е. М.: Наука, 1985.
8. Ховатсон А. М. Введение в теорию газового разряда /Пер. с англ. Иванчика И. И. - М.: Атомиздат, 1980.

9. Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах: Пер. с нем. /Под ред. В.С. Камелькова. - М.: Мир, 1968. - 390 с.
10. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Автоэмиссионные и взрывные процессы в газовом разряде – Новосибирск: Наука, 1982.- 255 с.
11. Лозанский Э.Д., Фирсов О.Б. Теория искры. - М.: Атомиздат, 1975. 275 с.
12. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. - М.: Наука, 1991. - 224 с.
13. Карнюшин В.М., Солоухин Р.И. Макроскопические и молекулярные процессы в газовых лазерах. - М.: Атомиздат, 1981.
14. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом: монография / А.И. Пушкарев, Ю.И. Исакова, Р.В. Сазонов, Г.Е. Холодная. - Москва: Физматлит, 2013. - 238 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1411-0; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457656> (20.06.2018).
15. 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> (20.06.2018).

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

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://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 [Электронный ресурс]: 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: 22.03.2018).
3. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://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. 537 наименований.
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](http://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 вопросов, включенных в рабочую программу дисциплины, может быть дополнен отдельными разделами из последних научных достижений в данной области, отраженных в современных обзорах, опубликованных в журналах «Успехи физических наук» и научных монографиях.

Самостоятельная работа должна носить систематический характер.

Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

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

Работа с презентациями Power Point Power Point template ppt presentation. Работа с документами WORD, ADOBE ACROBAT, работа с электронными

библиотеками образовательных и научных ресурсов, в том числе с Научной электронной библиотекой eLibrary/, работа с WEB-2 технологиями.

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

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 отдельным разделам дисциплины.

Комплект анимированных интерактивных компьютерных демонстраций по ряду разделов дисциплины.