



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Методы диагностики низкотемпературной плазмы**

Кафедра «Физической электроники»  
физического факультета

Образовательная программа магистратуры

2506046 "

( )" <

Физика плазмы

Форма обучения: очная

Статус дисциплины: Дисциплины (модули) по выбору 4 (ДВ.4)

Махачкала, 2022 год

Рабочая программа дисциплины "Методы диагностики низкотемпературной плазмы" составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.04.02 (магистратура) от 7.08.2020 г. № 914.

Разработчик: кафедра физической электроники, Омарова Н.О., д.ф.-м.н., профессор 

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры физической электроники от «3» марта 2022 г., протокол № 4  
И.о. зав. кафедрой  Ашурбеков Н.А.  
(подпись)

на заседании Методической комиссии физического факультета от «23» марта 2022 г., протокол №7.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.  
(подпись)

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «31» марта 2022 г.

Начальник УМУ  Гасангаджиева А.Г.  
(подпись)

## Оглавление

Аннотация рабочей программы дисциплины .....	4
1.Цель изучения дисциплины .....	6
2.Место дисциплины в структуре основной образовательной программы .....	7
3.Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).....	8
4.Объем, структура и содержание дисциплины .....	11
4.1.Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа. ....	11
4.2.Структура дисциплины. ....	11
4.3.Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам). ....	12
4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине. ....	12
4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине.....	14
5.Образовательные технологии. ....	15
6.Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов .....	17
7.Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины. ....	18
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. ....	18
7.2. Типовые контрольные задания. ....	22
7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций .....	26
8.Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	26
9.Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	29
10.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	31
11.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем .....	32
12.Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	32

## **Аннотация рабочей программы дисциплины**

Дисциплина «Методы диагностики низкотемпературной плазмы» является дисциплиной по выбору образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), профиль подготовки Физика плазмы.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой ФЭ.

Спецкурс базируется на курсах общей и теоретической физики, атомной и ядерной физики, радиотехники и радиоэлектроники, методов математической физики. Изучение спецкурса "Методы диагностики низкотемпературной плазмы" позволяет закрепить знания по перечисленным предметам.

Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные со способностью использовать теоретические знания в области квантовой механики, теоретической физики, атомной физики, статистической физики, физики газового разряда, физики плазмы для решения конкретных практических и экспериментальных задач.

Студенты, изучающие 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 атомной физики, квантовой механики, статистических законах распределения, иметь базовые знания в области физики газового разряда, физики плазмы.

Данная дисциплина является базовой для дальнейшего изучения спектроскопии плазмы, основ физики газовых лазеров, физических основ плазменных технологий.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

ОПК-2. Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики;

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

ПК-4. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках;

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

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

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *контроля текущей успеваемости – контрольная работа, коллоквиум, тесты* и промежуточный контроль в форме *зачета.*

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Семестр	Всего	Учебные занятия						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
		в том числе							
		Контактная работа обучающихся с преподавателем							
		Всего	из них						
Лекции	Лабораторные занятия		Практические занятия	КСР	консультации				
3	108	24	12		12			84	зачет

## **1.Цель изучения дисциплины**

**Цели и задачи спецкурса** Методы диагностики низкотемпературной плазмы дать студентам глубокие и прочные знания об основных закономерностях, которым подчиняется газ ионизованных частиц. Плазменное состояние вещества является наиболее распространенным во Вселенной. Изучив спецкурс, студент должен иметь ясное представление о физических особенностях поведения плазмы, уметь делать расчеты параметров плазмы в различных ситуациях, знать основные методы экспериментальных исследований.

При построении курса решалась задача систематизации знаний о физических процессах и явлениях в плазмообразующих средах, изучения основных закономерностей, существующих моделей для описания плазмы и ее свойств, а также задача ознакомления с методами объективного исследования и технологиями их использования.

Спецкурс базируется на курсах общей и теоретической физики, атомной и ядерной физики, радиотехники и радиоэлектроники, методов математической физики, физики плазмы.

В результате изучения дисциплины магистрант должен освоить современные методы диагностики плазмы; физические основы методов, аппаратуру для их реализации, области применимости каждого метода и практические приложения как в фундаментальной науке, так и в технологических разработках.

Закрепить и углубить полученные в процессе изучения общих курсов знания по тем разделам физики и математики, которые используются при разработке и реализации методов диагностики плазмы. Это, прежде всего: физическая, геометрическая и когерентная оптика, квантовая теория атома, физика газового разряда, физика плазмы, квантовая электроника, теория случайных сигналов, фурье-преобразование, интегральные уравнения, некорректные обратные задачи и методы статистической регуляризации.

### **Задачи дисциплины**

В результате изучения курса студент должен

знать:

для чего применяются методы диагностики плазмы;

какие параметры плазмы в принципе могут быть определены различными методами диагностики плазмы;

наиболее эффективные методы определения каждого из параметров (перечисленных в программе) и границы их применимости, а также необходимые условия реализации каждого метода;

для каждого из изученных типов приборов (перечисленных в программе) физические основы работы и факторы, определяющие предельное разрешение и рабочий диапазон, принципы оценки и исключения аппаратных искажений;

основные приемы обработки результатов при диагностике плазмы.

## **2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы**

Дисциплина Методы диагностики низкотемпературной плазмы относится к дисциплинам по выбору образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), профиль подготовки Физика плазмы. Данная дисциплина призвана выработать общепрофессиональные и профессиональные компетенции, связанные со способностью использовать теоретические знания в области физики плазмы, квантовой физики, теоретической физики, атомной физики, статистической физики для решения конкретных практических задач.

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 атомной физики, квантовой механики, статистических законах распределения.

Данная дисциплина является базовой для дальнейшего изучения спектроскопии плазмы, основ физики газовых лазеров, физических основ плазменных технологий.

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

Код и наименование компетенции и из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ПООП (при наличии))	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
<p>ОПК-2.</p> <p>Способен в сфересвоей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики.</p>	<p>ОПК-2.1.</p> <p>Владеет навыками организационно-исследовательской деятельности.</p>	<p>Знает:</p> <p>актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики, а также смежных областей науки и техники.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>
	<p>ОПК-2.2.</p> <p>Способен находить и принимать решения, необходимые для решения поставленной задачи.</p>	<p>принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.</p> <p>Умеет:</p> <p>самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки.</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи.</p>	
	<p>ОПК-2.3.</p> <p>Анализирует, интерпретирует, оценивает, представляет и защищает результаты выполненного исследования обоснованными выводами и рекомендациями</p>	<p>Знает:</p> <p>основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования; передовой отечественный и зарубежный научный опыт, и достижения по теме исследования.</p> <p>Умеет:</p> <p>использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных; формулировать и аргументировать</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий; формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе; оценивать, представлять и защищать результаты выполненного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями.</p>	

	<p>ОПК-2.4. Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает и проводит исследования.</p>	<p>Знает: современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно ориентированных прикладных программных средств. Умеет: предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач; самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования. Владеет: навыками самостоятельно выбирать исследования, разрабатывать и проводить исследования.</p>	
<p>ОПК-4. Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований</p>	<p>ОПК-4.1. Определяет ожидаемые результаты научных исследований.</p>	<p>Знает: методы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности; возможные варианты внедрения результатов исследований в области профессиональной деятельности. Умеет: определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности; определять ожидаемые результаты на определять способы внедрения ре Владеет: профессиональной терминологией при презентации проведенного исследования и научным стилем изложения собственной концепции; методами описания результатов научных исследований для их внедрения.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>
	<p>ОПК-4.2. Предлагает возможные варианты внедрения результатов исследований в области профессиональной деятельности.</p>		
	<p>ОПК-4.3. Знает области применения результатов научных исследований в своей профессиональной деятельности</p>		
<p>ПК-4. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научных исследовательских задач в выбранной</p>	<p>ПК-4.1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий исследований</p>	<p>Знает: теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений. Умеет: самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-коммуникационных технологий для выполнения экспериментальных и теоретических исследований; анализировать и интерпретировать</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>
	<p>ПК-4.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p>		

<p>области физики смежных с физико-техническими науками.</p>	<p>ПК-4.3. Анализирует и обобщает результаты научных исследовательских работ с использованием современных достижений науки и техники.</p> <p>ПК-4.4. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.</p>	<p>результаты эксперимента на основе современных теоретических моделей; правильно организовать и планировать эксперимент; правильно применять различные теоретические модели для анализа результатов эксперимента.</p> <p>Владеет: основами современных методов экспериментальных исследований в данной области науки; основами теоретических разработок в своей области исследований; адекватными методами планирования и решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках; навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; владеет логикой научного исследования, терминологическим аппаратом научного исследования в выбранной области физики и смежных с физикой науках; современной аппаратурой и информационными технологиями для применения и внедрения результатов научной деятельности.</p>	
<p>ПК-6. Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы.</p>	<p>ПК-6.1. Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований и оборудования.</p> <p>ПК-6.2. Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы</p> <p>ПК-6.3. Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.</p> <p>ПК-6.4. 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>Знает: методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах;</p> <p>Умеет: пользоваться современной приборной базой для проведения 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.</p> <p>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.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>

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

4.1. Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часа.

#### 4.2. Структура дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Сам раб	Всего	
	Модуль1	3					36	
1	Вводная лекция	3	1	2			2	1). Текущий опрос 2). Ауд. к/р №1-4
2	Зондовые методы исследования плазмы	3	2-4	2	4	28	34	
	Модуль2						36	

3	СВЧ-диагностика плазмы	3	5-8	4	4	28	36	
	Модуль3						36	
4	Пассивная корпускулярная диагностика плазмы	3	9-10	2	2	14	18	
5	Активная корпускулярная диагностика плазмы	3	11-12	2	2	14	18	
	<b>Всего</b>							<b>Зачет</b>
				12	12	84	108	

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

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине

Модуль I.

Введение.

Плазменное состояние вещества во Вселенной и в земных условиях. Разделение зарядов в плазме и квазинейтральность. Дебаевский радиус экранирования, плазменная частота. Экранирование электростатических взаимодействий. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Однородные электрическое и магнитное поля. Циклотронное вращение, ларморовская частота и радиус. Скрещенные электрические и магнитные поля. Дрейф плазмы. Адиабатическая инвариантность магнитного момента, магнитная ловушка.

Термодинамика плазмы. Температура плазмы. Тепловая и кулоновская энергия плазмы. Равновесие ионизации. Вывод формулы Саха. Многоступенчатая ионизация.

Приближенные методы описания плазмы. Плазма, как жидкость. МГД – теория плазмы, закон вмороженности магнитного поля, магнитное давление. Двухжидкостная теория: обобщенный закон Ома, тензор проводимости.

Волны в плазме.

Элементы кинетической теории плазмы. Функция распределения электронов по энергиям. Кинетическое уравнение Больцмана.

Явления переноса в плазме.

## **Диагностика плазмы с помощью электрических зондов.**

Одиночный зонд Ленгмюра. Общий вид зондовой характеристики. Электронная часть характеристики при отрицательном и положительном потенциале зонда. Ионная часть характеристики. Метод двух зондов, противозонда, тройного зонда. Зондовые измерения при сложных условиях в плазме: при высоком давлении, в магнитном поле.

Методы изучения функции распределения электронов по энергиям. Формула Дрювестейна. Способы дифференцирования зондовой характеристики. Выбор потенциала пространства. Измерение функции распределения в колеблющейся плазме. Аппаратурные искажения при получении функции распределения методом модуляции зондового тока. Учет эффекта стока электронов к зонду. Импульсные методы изучения функции распределения. Временное разрешение зондового метода. Основные результаты исследования функции распределения в низкотемпературной плазме. Электрический зонд на космическом корабле. Особенности зондовых измерений в ионосферной и межпланетной плазме.

Характерные трудности и источники погрешностей при зондовых измерениях.

### **2. Магнитные зонды.**

Типовая схема и методика измерений. Частотная характеристика зонда и его чувствительность. Согласование зондов. Интегрирование сигналов с зонда. Калибровка. Механические конструкции. Возмущения, вносимые зондом.

### **Модуль 2**

### **3. Микроволновая диагностика плазмы.**

Плазменные колебания и их частота. Распространение электромагнитных волн в отсутствии магнитного поля и в его присутствии. Процессы соударений.

Зондирование плазмы направленными волнами (методы свободного пространства). Определение концентрации электронов по «отсечке» зондирующей волны.

Использование проходящих и отраженных волн. Резонаторные методы.

Методы исследования плазмы, основанные на регистрации ее сверхвысокочастотного излучения.

### **Модуль 3**

#### **4. Корпускулярные методы диагностики плазмы.**

Зондирование плазмы пучками заряженных и нейтральных частиц. Методика масс-спектрометрических измерений. Извлечение частиц. Регистрация ионов и нейтральных частиц. Применение масс-спектрометров в диагностике плазмы.

Пассивная корпускулярная диагностика плазмы.

Активная корпускулярная диагностика плазмы.

Применения плазмы в науке и технике.

Применения плазмы в лазерах.

Плазменные технологии.

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

##### **Тема. Зондовые методы исследования плазмы**

Одиночный зонд Ленгмюра. Общий вид зондовой характеристики. Электронная часть характеристики при отрицательном и положительном потенциале зонда. Ионная часть характеристики.

**Тема. Метод двух зондов, противозонда, тройного зонда.** Зондовые измерения при сложных условиях в плазме: при высоком давлении, в магнитном поле.

**Тема. Методы изучения функции распределения электронов по энергиям.** Формула Дрювестейна. Способы дифференцирования зондовой характеристики. Выбор потенциала пространства. Измерение функции распределения в колеблющейся плазме. Аппаратурные искажения при получении функции распределения методом модуляции зондового тока. Учет эффекта стока электронов к зонду. Импульсные методы изучения функции распределения. Временное разрешение зондового метода. Основные результаты

исследования функции распределения в низкотемпературной плазме. Электрический зонд на космическом корабле. Особенности зондовых измерений в ионосферной и межпланетной плазме.

Характерные трудности и источники погрешностей при зондовых измерениях.

#### **Тема. Магнитные зонды.**

Типовая схема и методика измерений. Частотная характеристика зонда и его чувствительность. Согласование зондов. Интегрирование сигналов с зонда. Калибровка. Механические конструкции. Возмущения, вносимые зондом.

#### **Тема. СВЧ диагностика плазмы.**

Зондирование плазмы направленными волнами (методы свободного пространства). Определение концентрации электронов по «отсечке» зондирующей волны.

Использование проходящих и отраженных волн. Резонаторные методы.

Методы исследования плазмы, основанные на регистрации ее сверхвысокочастотного излучения.

#### **Тема. Корпускулярные методы диагностики плазмы.**

Зондирование плазмы пучками заряженных и нейтральных частиц. Методика масс-спектрометрических измерений. Извлечение частиц. Регистрация ионов и нейтральных частиц. Применение масс-спектрометров в диагностике плазмы.

## **5. Образовательные технологии**

С целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки, предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий:

- во время лекционных занятий используется презентация с применением слайдов с графическим и табличным материалом, что повышает наглядность и информативность используемого теоретического материала;
- практические занятия предусматривают использование групповой формы обучения, которая позволяет студентам эффективно взаимодействовать в микрогруппах при обсуждении теоретического материала;
- использование кейс-метода (проблемно-ориентированного подхода), то есть анализ и обсуждение в микрогруппах конкретной ситуации из практического опыта;
- использование тестов для контроля знаний во время текущих аттестаций и промежуточной аттестации;
- решение задач;
- подготовка рефератов и докладов по самостоятельной работе студентов и выступление с докладом перед аудиторией, что способствует формированию навыков устного выступления по изучаемой теме и активизирует познавательную активность студентов.

Проводятся контрольные работы (на семинарах).

Зачет выставляется по итогам выполнения контрольных работ, 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.

Для выполнения физического практикума и подготовке к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия и разработки по курсу, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развития 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

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

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции	Контроль выполнения работы (Опрос, тест, дом. задание, и т.д)
1.	1	Скрещенные электрические и магнитные поля		ОПК-2	Опрос на практических занятиях. Проверка
		Дрейф плазмы. Магнитные ловушки		ПК-4	конспекта.
	2	Равновесие ионизации.			Контрольная работа.
		Вывод формулы Саха.			Коллоквиум.
		Многоступенчатая ионизация.			
	3	МГД – теория плазмы			
		Обобщенный закон Ома, тензор проводимости			
	4	Звуковые волны.			
		Электронные плазменные волны			
		Ионно- звуковые волны.			Опрос на практических занятиях. Проверка
	5	распределение Максвелла и Дривестейна		ПК-4	конспекта.
	6	Связь между диффузией и подвижностью.		ПК-6	Контрольная работа.
2	7	Общие положения теории излучения			Коллоквиум.
		Лучистая теплопроводность			
	8	УТС		ОПК-2	
	9	Лазеры		ОПК-4	
	10	Плазменные источники света			Опрос на практических занятиях. Проверка
	11	Плазменные технологии		ПК4	конспекта.
				ПК-6	Контрольная работа.
					Коллоквиум.

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

### 7.1. Типовые контрольные задания

(Указываются темы эссе, рефератов, курсовых работ и др. Приводятся примерные тестовые задания, контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.)

--	--	--	--

### Тестовые задания по теме: «Электрические зонды»

1. В чем состоит задача диагностики плазмы?  
Основными задачами диагностики плазмы являются:  
А) определение концентрации электронов;  
Б) определение температуры электронов;  
В) определение электрических полей в плазме;  
Г) определение функции распределения частиц плазмы;  
Д) пункты А, Б, В, Г вместе.
2. Преимущества использования электрических зондов.  
А) можно проводить измерения локальных параметров;  
Б) достаточно чувствительные;  
В) относительно недорогие;  
Г) могут использоваться в достаточно широком диапазоне параметров плазмы;  
Д) пункты А, Б, В, Г вместе.
3. Каковы недостатки использования зондовых методов.  
А) зонд возмущает плазму;  
Б) обработка данных при больших давлениях сложная;  
В) процедура обработки данных различна для различных плазменных сред;  
Г) пункты А, Б, В вместе.
4. Нарисовать схему зондовых измерений.
5. Нарисовать вольт-амперную характеристику одиночного зонда Ленгмюра.

6. Какова область применения зондовых методов.

А)  $p \sim 10^{-5} - 10^{-1}$  Тор,  $n_e \sim 10^6 - 10^{14}$  см<sup>-3</sup>;

Б)  $p > 10^2$  Тор,  $n_e > 10^{14}$  см<sup>-3</sup>;

В)  $p < 10^{-5}$  Тор,  $n_e < 10^6$  см<sup>-3</sup>.

7. Как определить зондовый ток в крутой части вольт-амперной характеристики?

А)  $i = S(en_0 v_e / 4) \exp(eV_p / kT_e)$ ,  $v_e = (8kT_e / \pi m)^{1/2}$

Б)  $i = S(en_0 v_e / 4)$ ,  $v_e = (8kT_e / \pi m)^{1/2}$

В)  $i = (Sen_0 v_e) \exp(eV_s / kT_e)$ ,  $v_e = (4kT_i / \pi m)^{1/2}$

8. Вычислить электронный ток насыщения на плоский зонд в гелиевой плазме при максвелловском распределении электронов. Считать, что площадь зонда 2 мм<sup>2</sup>,  $T_e = 10^5$  К,  $T_i = 10^3$  К,  $n = 10^{10}$  см<sup>-3</sup>.

9. Каков критерий разреженности плазмы вблизи одиночного зонда?

А)  $S / 4\pi l^2 \ll 1$

Где S- площадь поверхности зонда, l- длина пробега электронов.

Б)  $4\pi r^2 \gg 1$ , где r- характерный размер зонда.

В)  $4\pi r^2 / S \ll 1$

10. Как определить температуру электронов  $T_e$  при помощи зондовой характеристики?

А) Снять зондовую характеристику, построить график  $\ln I$  (тока) в зависимости от  $V$ , по углу наклона получающейся прямой можно определить  $T_e$ . Линейность зависимости будет говорить о максвелловском характере распределения электронов;

Б) Снять зондовую характеристику, построить график  $I$  в зависимости от  $V$ , по углу наклона получающейся прямой можно определить  $T_e$  ;

В) Снять ВАХ, построить график  $I$  в зависимости от  $\ln V$ , по углу наклона получающейся прямой можно определить  $T_e$  . Линейность зависимости будет говорить о максвелловском характере распределения электронов.

11. Как определить функцию распределения электронов по скоростям в разреженной плазме при помощи зондового метода?

А)  $d^2 i / dV_p^2 = -S(2\pi e^3 / m^2) f_0(v_t)$ ,  $v_t = (2eV_p / m)^{1/2}$ ;

Б)  $di / dV_p = -S(2\pi e^3 / m^2) f_0(v_t)$ ,  $v_t = (2eV_p / m)^{1/2}$ ;

В)  $d^2 i / dV_p^2 = -S(2\pi e^3 / m^2) (v_t)$ ,  $v_t = (2eV_p / m)^{1/2}$ ;

12. Чему равен ионный ток насыщения на зонд в разреженной плазме?

А)  $i_{+н} = 0,52 S n_0 (kT_e/m)$ ;

Б)  $i_{+н} = 0,52 S n_0 (kT_e/M)$ ;

В)  $i_{+н} = 0,52 S n_0 (M/kT_i)$ .

13. Как определяется плавающий потенциал в плазме методом одиночных зондов?

А)  $i_e = i_i$ ,  $e|V_f|/kT_e = \ln 0,77 (m/M)^{1/2}$

Б)  $i = i_e - i_i$ ,  $|V_f| = \ln 0,77 (T_e/T_i)^{1/2}$

14. В каких случаях используются двойные электрические зонды?

А) при отсутствии опорного электрода;

Б) в распадающейся плазме;

В) в безэлектродном вч разряде;

Г) пункты А, Б, В вместе.

15. При каком условии ток через зондовую цепь равен нулю для двухзондового метода?

А) если разность потенциалов между зондами отсутствует, а потенциалы плазмы в местах расположения зондов  $V_s$  одинаковы;

Б) когда  $V_{p1} > 0$ , а  $V_{p2} < 0$ ;

В) если  $V_{p1} > V_f$ , а  $V_{p2} < V_f$ .

16. Какой формулой описывается ток через зондовую цепь для метода двойных зондов?

а)  $i = i_{+1}(V_{p1}) - i_{енас} \exp(eV_{p1}/kT_e) = -i_{+2}(V_{p2}) + i_{енас} \exp(eV_{p2}/kT_e)$ ;

б)  $i = i_{енас} \exp(eV_{p1}/kT_e) = i_{енас} \exp(eV_{p2}/kT_e)$ ;

в)  $i = i_{+1}(V_{p1}) + i_{енас} \exp(eV_{p2}/kT_e)$ .

17. Как зондовым методом производят измерения электрического поля?

А)  $E_x = (V_{p1} - V_{p2})/\Delta x$ ;

Б)  $E_x = (V_{p1} - V_{p2}) \Delta x$ ;

В)  $E_x = (V_{p1} + V_{p2}) \Delta x$ .

### Примерный перечень вопросов к зачету

1. Основные характеристики плазмы.
2. Классификация методов диагностики плазмы.
3. Корректные и некорректные методы диагностики плазмы.
4. Зондовые методы диагностики плазмы.

5. Потенциал изолированного зонда.
6. Теория электронного тока на одиночный зонд Ленгмюра.
7. Ионная ветвь зондовой характеристики одиночного зонда.
8. Столкновительный режим зондовой характеристики.
9. Зондовые методы измерения функции распределения электронов.
10. Метод двойных электрических зондов.
11. Распространение СВЧ-волн в плазме.
12. Усредненное уравнение движения электронов в ВЧ поле.
13. СВЧ-методы диагностики плазмы.
14. Проводимость плазмы в ВЧ поле.
15. СВЧ-методы свободного пространства.
16. Отражение СВЧ-волн от плазмы.
17. Определение концентрации электронов по отсечке зондирующей волны.
18. Волноводные и резонаторные СВЧ-методы диагностики плазмы.
19. Корпускулярные методы диагностики плазмы.
20. Масс-спектрометрические методы диагностики.
21. Магнитные и электростатические масс-спектрометры.
22. Квадрупольные масс-спектрометры.

### **Тематика рефератов**

1. Механизмы формирования однородного плазменного столба в импульсных разрядах высокого давления.
2. Механизмы формирования катодного слоя в импульсных объемных разрядах.
3. Модели прорастания искрового канала в газах высокого давления.
4. Стримерный механизм пробоя газов высокого давления.
5. Пространственно-временная динамика развития импульсных разрядов в газах высокого давления.
6. Плазменная модель пробоя газов высокого давления.
7. Скоростная визуализация быстропротекающих наносекундных процессов.
8. Технология создания высоковольтных импульсов напряжения для возбуждения импульсных разрядов в газах высокого давления.
6. Проблемы УТС.

## **7.2. 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%.

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

(от 51 и выше - зачет)

посещение занятий 10 баллов

активное участие на практических занятиях 15 баллов

выполнение домашних работ 15 баллов

выполнение самостоятельных работ 20 баллов

выполнение контрольных работ 40 баллов

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) 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. - СП-б.; 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.

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. Левитский, Сергей Михайлович. Сборник задач и расчётов по физической электронике : [учеб. пособие для физ. и радиофиз. фак. ун-тов УССР] / Левитский, Сергей Михайлович. - Киев : Изд-во Киев. ун-та, 1964. - 211 с. ; 21 см. + черт. 0-37.

9. Вакуумная электроника: [учеб. пособие для вузов]. Ч.1 / А. Н. Диденко. - М.: Издво МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. - 604 с. - (Серия "Электроника в техническом университете: Прикладная электроника"/под общ. ред. И.Б. Федорова). - ISBN 978-5-7038-3185-4 : 400-00.

10. Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. / Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. - М. : "Наука.", 1973. - 255с. 11. Инжекционная газовая электроника / [Ю.И. Бычков, Ю.Д. Королев, Г.А. Месяц и др.] ; Отв. ред. О.Б. Евдокимов; [Предисл. Г.А. Месяца].

11. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1982. - 239 с. : ил. ; 21 см. Библиогр.: с. 220-237 (301назв.). - В пер.: 2-70.

12. Эмиссионная электроника / Н. Н. Коваль; под ред. Ю.С. Протасова. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 595 с. - (Серия Электроника. Прикладная электроника / под общ. ред. И.Б. Федорова).- Библиогр.: с. 593. - ISBN 978-5-7038-3347-6: 1500-00.

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. 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485559) (20.02.2022).

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: 20.02.2022)

15. Иванов И.Г. Газовый разряд и его применение в фотонике [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.Г. Иванов. Электрон. текстовые данные. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009. - 96 с. - 978-5-9275-0613-2. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46937.html> (дата обращения: 25.02.2022)

16. Чехлова Т.К. Учебное пособие по курсу «Физическая электроника» для преподавания с использованием мультимедийных технологий [Электронный ресурс] / Т.К. Чехлова. — Электрон. текстовые данные. М. : Российский университет дружбы народов, 2013. -124 с. -978-5-209-04770-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22155.html> (дата обращения: 27.02.2022)

***б) дополнительная:***

1. Ашурбеков Н.А., Омаров О.А., Курбанисмаилов В.С., Омарова Н.О. Кинетика нестационарной неравновесной плазмы наносекундных разрядов. Махачкала. ИПЦ ДГУ, 2007.

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. 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.

6. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Автоэмиссионные и взрывные процессы в газовом разряде – Новосибирск: Наука, 1982.- 255 с.
7. Мутаева, Гайбат Ихласовна. Лекции по эмиссионной электронике : учеб. пособие / Мутаева, Гайбат Ихласовна ; Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т. - Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2006. - 81 с. 46-50
8. Классификация и параметры катодов: учеб. пособие / [сост. Г.И. Мутаева, Х.И. Аджиева]; Федерал. агентство по образованию, Дагест. гос. ун-т. - [2-е изд., испр. и доп.]. - Махачкала: Изд-во ДГУ, 2009. - 28 с. - 19-00.
9. 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 978-5-92211411-0; То же [Электронный ресурс].  
- URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457656> (20.01.2022).
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> (20.02.2022).

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

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки бакалавров по направлению 03.03.02 Физика:

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.

2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.

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. 537наименований.

4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАН <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАН от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.

5. <http://elibrary.ru>.  
844 01.08.2014 . 01.08.2014 .

6. <https://101/101/1597> .  
1 2016 .  
01.08.2016 .

### 7. Scopus

Scopus Elsevier B.V. 19.10.2020 . 1189  
Scopus  
Elsevier B.V. 2022 . <https://www.scopus.com/>

### 8. Wiley Online Library

Freedom Collection Elsevier.  
17.07.2010 . 742  
Freedom Collection Elsevier 2022 .  
<https://onlinelibrary.wiley.com/>

### 9. Springer Nature

Springer Nature.  
17.07.2020 . 743  
Springer Nature 2022 .  
— <https://link.springer.com/>

### 10. American Physical Society

APS (American Physical Society). 10.11.2020 .  
1265  
American Physical Society 2022 . <http://journals.aps.org/about>

11. **Royal Society of Chemistry**  
 RSC DATABASE Royal Society of Chemistry  
 20.10.2020 . 1196  
 Royal Society of Chemistry 2022 . [<http://pubs.rsc.org/>](http://pubs.rsc.org/)
12. **Science (AAAS)** [<http://www.sciencemag.org/>](http://www.sciencemag.org/)
13. [<http://window.edu.ru/>](http://window.edu.ru/)  
 ( )
14. [<http://rrc.dgu.ru/>](http://rrc.dgu.ru/)
15. [<http://archive.neicon.ru/>](http://archive.neicon.ru/)

**10.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на материал практических занятий, рекомендуемую литературу.

**Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:**

- подготовки к контрольным работам;
- подготовки к семинарским (практическим) занятиям;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;
- написание рефератов по проблемам дисциплины "Компьютерные технологии в науке и образовании".

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

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение:

- Microsoft Office (Access, Excel, Power Point, Word и т.д.)

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие информационно-справочные системы:

- автоматизированная система управления - база данных «Университет» - электронные библиотечные системы: Руконт, издательство «Лань».

### **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 компьютерные классы, оснащенные 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.