



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

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Специальный физический практикум»**

**Кафедра физической электроники**

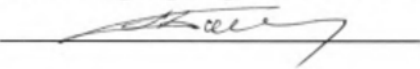
Образовательная программа  
**03.04.02. Физика**

Профиль подготовки  
**Физика плазмы**

Уровень высшего образования  
**магистратура**  
Форма обучения  
**очная**  
Статус дисциплины: **Вариативная**

Махачкала - 2021 год

Рабочая программа дисциплины **Специальный физический практикум** составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.04.02 (магистратура) от «7» августа 2020 г. № 914.

Разработчик: кафедра физической электроники, Рагимханов Г.Б., к.ф.-м.н., доцент 

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

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с технологией, которая лежит в основе элементной базы современных твердотельных электронных приборов (диодных и МДП-структур, тиристоров, биполярных и полевых транзисторов) и с современными методами измерения параметров полупроводниковых приборных структур. Данный физпрактикум охватывает наиболее распространенные методы получения веществ в виде пленок, слоев и структур на различных подложках. Рассматриваются наиболее распространенные методы исследования и измерения основных характеристик полупроводниковых материалов. Большое внимание уделяется теории метода, общим принципам построения экспериментальных установок, освоению методов обработки экспериментальных данных. Анализируются области применения рассмотренных методов, их предельные возможности и перспективы.

Спецкурс базируется на курсах общей и теоретической физики, атомной, оптики, методов диагностики плазмы и математической физики. Изучение спецкурса "физическая электроника" позволяет закрепить знания по перечисленным предметам, а также научиться оптимальному выбору методов для решения поставленных задач и делать заключения на основании анализа и сопоставления всей совокупности имеющихся данных. Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: универсальных –**УК-3**; общепрофессиональных –**ОПК-2, ОПК-4**; профессиональных –**ПК-4, ПК-5, ПК-6**.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лабораторные занятия, самостоятельная работа. Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: защита лабораторных работ и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 9 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен		
		всего	из них						
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации			
1-3	324	108	-	108	-	-	-	216	дифф. зачет

### 1. Цели освоения дисциплины.

Целью изучения дисциплины является ознакомления студентов с экспериментальными методиками применяемыми в физике плазмы для исследования физических закономерностей развития низкотемпературной плазмы газового разряда. В процессе изучения дисциплины студенты должны всесторонне и глубоко усвоить экспериментальные методики, позволяющие с достаточной точностью определить электрические, оптические и спектроскопические параметры газоразрядной плазмы. Полученные знания и экспериментальные навыки должны быть использованы студентами и магистрами в ходе выполнения курсовых и дипломных работ.

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

Входит в обязательный блок вариативных дисциплин общенаучного цикла Б1.В.01.04 ОПОП магистра.

Дисциплина Специальный физический практикум относится к профессиональному циклу по магистерской программе «Физика плазмы» и направлена на изучение физических

основ производства полупроводниковых структур и измерения их основных параметров, которые являются основой современной микроэлектроники, с целью выработки умений и навыков их использования в профессиональной деятельности.

Дисциплина Специальный физический практикум логически и содержательно взаимосвязана с такими дисциплинами как Физика полупроводников и полупроводниковых приборов, Физические основы микроэлектроники, Твердотельная электроника, Физика твердого тела и др.

Спецкурс базируется на курсах общей и теоретической физики, атомной, оптики, методов диагностики плазмы и математической физики. Изучение спецкурса "физическая электроника" позволяет закрепить знания по перечисленным предметам, а также научиться оптимальному выбору методов для решения поставленных задач и делать заключения на основании анализа и сопоставления всей совокупности имеющихся данных.

- способностью организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели (УК-3);
- способностью в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики (ОПК-2);
- способностью определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности (ОПК-4);
- способностью планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках (ПК-4);
- способностью самостоятельно проводить физические исследования, анализировать, делать научные обобщения и выводы, выдвигать новые идеи, интерпретировать и представлять результаты научных исследований (ПК-5);
- способностью эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы (ПК-6);

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

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	<p><b>Знает:</b> методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемно.</p> <p><b>Умеет:</b> применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; выявлять проблемные ситуации, используя методы анализа, синтеза и абстрактного мышления; производить анализ явлений и обрабатывать полученные результаты; оценивать адекватность и достоверность информации о проблемной ситуации, работать с противоречивой информацией из разных источников; осуществлять поиск решений проблемных ситуаций на основе действий, эксперимента и опыта; определять в рамках выбранного</p>

		<p>алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке и предлагать способы их решения;</p> <p>разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;</p> <p><b>Владеет:</b></p> <p>методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций;</p> <p>технологиями выхода из проблемных ситуаций, навыками выработки стратегии действий;</p> <p>методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки.</p>
ОПК-2	<p>Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики, а также смежных областей науки и техники.</li> <li>- принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.</li> <li>- основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования;</li> <li>- передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования;</li> <li>- современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований;</li> <li>- рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки;</li> <li>- использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных;</li> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе;</li> <li>- предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач;</li> <li>- самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи;</li> <li>- навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных</li> </ul>

		<p>информационных технологий;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе;</li> <li>- оценивать, представлять и защищать результаты выполненного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями;</li> <li>- навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul>
ОПК-4	<p>Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности;</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 своей профессиональной деятельности;</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 изложения собственной концепции;</li> <li>- методами описания результатов научных исследований для их внедрения.</li> </ul>
ПК-4	<p>способностью планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках</p>	<p><b>Знает:</b></p> <p>теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-коммуникационных технологий для выполнения экспериментальных и теоретических исследований;</li> <li>анализировать и интерпретировать результаты эксперимента на основе современных теоретических моделей;</li> <li>правильно организовать и планировать эксперимент; правильно применять различные теоретические модели для анализа результатов эксперимента.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <p>основами современных методов экспериментальных исследований в данной области науки; основами теоретических разработок в своей области исследований; адекватными методами планирования и</p>

		<p>решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках;</p> <p>навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования;</p> <p>владеет логикой научного исследования, терминологическим аппаратом научного исследования в выбранной области физики и смежных с физикой науках;</p> <p>современной аппаратурой и информационными технологиями для применения и внедрения результатов научной деятельности.</p>
ПК-5	<p>способностью самостоятельно проводить физические исследования, анализировать, делать научные обобщения и выводы, выдвигать новые идеи, интерпретировать и представлять результаты научных исследований</p>	<p><b>Знает:</b> методы исследований, проведения, обработки и анализа результатов испытаний и измерений; критерии выбора методов и методик исследований; правила и условия выполнения работ, технических расчетов, оформления получаемых результатов. <b>Умеет:</b> проводить испытания, измерения и обработку результатов; регистрировать показания приборов; проводить расчёты критически анализировать результаты делать выводы. <b>Владеет:</b> выбором испытательного и измерительного оборудования, необходимого для проведения исследований; выполнением оценки и обработки результатов исследования; навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.</p>
ПК-6	<p>Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы</p>	<p><b>Знает:</b> методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах;</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.</p> <p><b>Владеет:</b> методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической</p>

		информации в области физики низкотемпературной плазмы; некоторыми диагностические методы исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления
--	--	---

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

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часа.

4.2.1. Структура дисциплины.

Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контрольная работа		
<b>Модуль I.</b>								
Регистрация ВАХ разряда. Измерение энерговклада в разряд	1				4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Определение мощности в разрядном промежутке Регистрация оптических картин разряда	1				4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Определение удельного энерговклада в разряд.	1				4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль I</b>					12		24	
<b>Модуль II.</b>								
Определение радиуса формирования. Измерение скорости расширения канала	1				4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Определение влияния	1				4		10	Допуск к



магнитного поля. Составление уравнения энергетического баланса.							лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Математическая обработка измерений.	1			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль II</b>				10		26	
Модуль III.							
Фотоэлектрическая регистрация импульсного излучения. Регистрация спектров излучения в магнитном поле	1			4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Эталонные источники излучения. Определение спектральной плотности яркости излучения. Калибровка системы монохром.	1			4		10	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Оценка поглощения световых квантов в канале. Перераспределение интенсивности излучения в магнитном поле	1			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль III</b>				10		26	
<b>Итого за I семестр</b>				32		76	
Модуль IV.							
Оценки электронной плотности в магнитном поле	2			4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Оценки электронной температуры плазмы	2			4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Влияние магнитного поля на радиальное развитие канала разряда	2			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль IV</b>				10		24	
Модуль V.							

Экспериментальные методы формирования и исследования свойств импульсных разрядов в условиях предварительной ионизации газа. Изучение работы генератора высоковольтных импульсов.	2			4		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение схемы источника предыонизации и определение концентрации электронов предыонизации.	2			4		10	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение электрических характеристик импульсного объемного разряда в гелии.	2			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль V</b>				10		26	
<b>Модуль VI.</b>							
Изучение экспериментальных методик исследования оптических и спектральных характеристик импульсных объемных разрядов в инертных газах.	2			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение работы электронно-оптического преобразователя. Исследования пространственно-временных картин формирования импульсного объемного разряда в гелии атмосферного давления.	2			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение условий формирования на однородность и устойчивость разряда.	2			2		8	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Исследование спектров излучения разряда. Исследование динамики расширения прикатодной плазмы	2			2		6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.

разряда.								
<b>Итого: модуль VI</b>				8			30	
<b>Итого за 2 семестр</b>				28			80	
<b>Модуль VII.</b>								
Изучение диффузионной модели газового разряда	3			4			4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение модели Ленгмюра–Тонкса газового разряда	3			4			6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Проверка выполнения законов подобия в газовом разряде.	3			4			6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение зависимость характеристик газового разряда от рода газа.	3			4			4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль VII</b>				16			20	
<b>Модуль VIII.</b>								
Зависимость характеристик газового разряда от геометрии положительного столба. Влияние неквазинейтральности на характеристики разряда.	3			4			6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Численный расчет концентрации возбуждённых атомов в гелии	3			4			4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Изучение влияния различных механизмов передачи энергии на кинетику нагрева молекулярного газа	3			4			4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Черенковские пучковые неустойчивости в плазме	3			4			6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль VIII</b>				16			20	
<b>Модуль IX</b>								

Моделирование взаимодействия ионов с поверхностью кристаллов	3				4		6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Компьютерное моделирование распыления твердых тел ионным пучком	3				4		6	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Моделирование взаимодействия электронного пучка с веществом методом Монте–Карло: моделирование движения рассеянных электронов в массивной мишени и в свободной тонкой пленке.	3				4		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
Моделирование взаимодействия электронного пучка с веществом методом Монте–Карло: Моделирование движения рассеянных электронов в системе “пленка – массивная подложка”.	3				4		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме.
<b>Итого: модуль IX</b>					16		20	
<b>Итого за 2 семестр</b>					38		60	
<b>Итого</b>					108		216	

Общая трудоемкость дисциплины составляет 324 часа.

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

#### **Модуль 1.**

##### **Лабораторные работы:**

Электрические электротехнические параметры канала разряда высокого давления. Интегральные характеристики. Дифференциальные параметры плазменного канала разряда. Влияние начальных условий инициирования разряда. Роль и влияние магнитного поля на электропроводность и удельное сопротивление разряда.

#### **Модуль 2.**

##### **Лабораторные работы:**

Газодинамические и оптические характеристики плазменного канала разряда. Воздействие скорости ввода энергии в разрядный промежуток на газодинамику разряда. Оптические закономерности развития разряда. Подавление интенсивности формирующейся УВ и скорости ее распространения.

#### **Модуль 3.**

##### **Лабораторные работы:**

Спектроскопические характеристики плазменного канала разряда. Распределение спектральной плотности энергетической яркости по спектру излучения. Предельная яркость свечения канала разряда. Влияние параметров разрядного контура, газа и напряженности внешнего продольного магнитного поля на яркость насыщения канала разряда.

#### **Модуль 4.**

##### **Лабораторные работы:**

Энергетические измерения и определение удельного энерговклада в разрядный промежуток. Удельная мощность, выделяемая в разряде. Влияние начальных условий инициирования разряда и напряженности продольного магнитного поля на энергетические параметры канала разряда. Жесткий и мягкий режимы протекания разряда.

#### **Модуль 5.**

##### **Лабораторные работы:**

Экспериментальные методы формирования и исследования свойств импульсных разрядов в условиях предварительной ионизации газа. Изучение работы генератора высоковольтных импульсов. Изучение схемы источника предыонизации и определение концентрации электронов предыонизации. Изучение электрических характеристик импульсного объемного разряда в гелии.

#### **Модуль 6.**

##### **Лабораторные работы:**

Изучение экспериментальных методик исследования оптических и спектральных характеристик импульсных объемных разрядов в инертных газах. Изучение работы электронно-оптического преобразователя. Исследования пространственно-временных картин формирования импульсного объемного разряда в гелии атмосферного давления. Изучение условий формирования на однородность и устойчивость разряда. Исследование спектров излучения разряда.

#### **Модуль 7.**

##### **Лабораторные работы:**

Изучение диффузионной модели газового разряда. Изучение модели Ленгмюра–Тонкса газового разряда. Проверка выполнения законов подобия в газовом разряде. Изучение зависимости характеристик газового разряда от рода газа. Зависимость

характеристик газового разряда от геометрии положительного столба. Влияние неквазинейтральности на характеристики разряда.

Модуль 8.

**Лабораторные работы:**

Численный расчет концентрации возбужденных атомов в гелии. Изучение влияния различных механизмов передачи энергии на кинетику нагрева молекулярного газа. Черенковские пучковые неустойчивости в плазме

Модуль 9.

**Лабораторные работы:**

Моделирование взаимодействия ионов с поверхностью кристаллов. Компьютерное моделирование распыления твердых тел ионным пучком. Моделирование взаимодействия электронного пучка с веществом методом Монте-Карло. Моделирование движения рассеянных электронов в массивной мишени и в свободной тонкой пленке. Моделирование движения рассеянных электронов в системе “пленка – массивная подложка”. Моделирование энергетического распределения обратно-отраженных электронов.

**5. Образовательные технологии**

По каждой лабораторной работе магистрам дается задание по поиску научных статей (не менее трех) отечественных и зарубежных авторов последних 5-10 лет, в которых дается описание метода получения образцов (тонких пленок) и измерения их физических параметров. Такая информация обычно содержится в разделах статьи: «Методика эксперимента», «Эксперимент», «Техника эксперимента». Преподаватель дает ориентир (указывает перечень журналов) для поиска таких статей. Магистр должен сравнивать (сопоставить) свой эксперимент по лабораторной работе с экспериментальной методикой, описываемой автором в статье. Такая работа приучает магистра к поиску и чтению научных статей, и в дальнейшем облегчит его работу над магистерской диссертацией. В рамках данного спецпрактикума также предусмотрено общение магистров с сотрудниками Дагестанского научного центра РАН, занимающимися технологией полупроводниковых материалов и исследованием их электрофизических свойств.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистров.**

**Самостоятельная работа магистров включает:**

- Проработка материала по учебной и научной литературе (теоретическая часть по лабораторной работе);
- Составление отчета по лабораторной работе.

**Задачи для самостоятельного изучения.**

1. Найти коэффициенты свободной диффузии электронов и ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, в плазме разряда в гелии, помещенного в продольное магнитное поле  $H=10^3$  эрстед, температура ионов  $T_i=300$  К, температура электронов  $T_e=40000$  К, длина свободного пробега ионов  $\lambda_i$  при давлении гелия  $1 \text{ Тор}$   $\lambda_{i1}=10^{-2}$  см, длина свободного пробега электронов  $\lambda_e$  в шесть раз больше длины свободного пробега ионов  $\lambda_i$ , давление гелия  $p=5 \text{ Тор}$ .
2. Определить скорость нагрева азота за счет VT-релаксации при условии: давление газа  $100 \text{ Тор}$ , начальная температура газа  $T_{go} = 500$  К; колебательная температура нижних колебательных уровней основного состояния молекулы  $T_v = 5000$  К;.
3. Определить температуру ксенона в закрытой трубке к концу импульса длительностью  $1$  мс, если нагрев газа происходит только за счет упругих столкновений электронов с

- атомами. Газ напущен в трубку при комнатной температуре, при этом давление равно 100 Тор. Начальная температура газа перед включением разряда  $T_g = 1000$  К; температура электронов  $T_e = 30000$  К; концентрация электронов  $n_e = 2 \cdot 10^{12}$  см<sup>-3</sup>; доля энергии, передаваемая электроном молекуле газа при упругих столкновениях  $\delta = 3 \cdot 10^{-5}$ ; частота упругих столкновений электронов с молекулами  $\nu_{en} = 5 \cdot 10^9$  р.
4. Найти коэффициенты свободной диффузии электронов и ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, в плазме разряда в гелии, помещенного в продольное магнитное поле  $H = 10^3$  эрстед, температура ионов  $T_i = 300$  К, температура электронов  $T_e = 40000$  К, длина свободного пробега ионов  $\lambda_i$  при давлении гелия 1 Тор  $\lambda_{i1} = 10^{-2}$  см, длина свободного пробега электронов  $\lambda_e$  в шесть раз больше длины свободного пробега ионов  $\lambda_i$ , давление гелия  $p = 5$  Тор.
  5. Определить иерархию процессов, определяющих время релаксации атомов в возбужденном к-ом состоянии при условии: давление газа  $p = 3$  Тор, концентрация электронов  $n_e = 10^9$  см<sup>-3</sup>, концентрация атомов в к-ом возбужденном состоянии  $n_k = 10^{10}$  см<sup>-3</sup>, температура газа  $T_g = 900$  К, температура электронов  $T_e = 3$  эВ, радиус разрядной трубки  $R = 2$  см, длина  $L = 1$  м, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_k = 10^3$  с<sup>-1</sup>, коэффициент диффузии атомов в возбужденном к-ом состоянии при давлении газа 1 Тор  $D_{1k} = 100$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>, константа взаимоушшения атомов в возбужденном к-ом состоянии  $k_1 = 10^{-9}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>, константа тушения собственным газом  $k_2 = 7 \cdot 10^{-16}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>, пороговая энергия девозбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 3$  эВ, максимальное суммарное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-13}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 5$  эВ.
  6. Вывести выражение для зависимости величины индукции магнитного поля, при котором происходит переворот радиального электрического поля. Определить эту величину для He-Xe смеси при  $T_e = 40000$  К,  $T_i = 300$  К.
  7. Определить степень ионизации молекулярного газа для условий: давление газа  $p = 5$  Тор, температура электронов  $T_e = 20000$  К;  $T_{go} = 600$  К; пороговая энергия ионизации  $\varepsilon_{oi} = 15$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-18}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ; константа скорости отлипания в 15 раз меньше константы скорости прилипания электронов к молекулам; константа электрон-ионной рекомбинации при  $T_e = T_{go} = 300$  К равна  $10^{-7}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>; константа скорости ион-ионной рекомбинации при нормальных условиях  $10^{-6}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>.
  8. Определить стационарную концентрацию метастабильных атомов гелия  $2^1S$  в плазме разряда в цилиндрической трубке ( $R = 1,5$  см,  $L = 50$  см) при давлении газа  $p = 0,5$  Тор. Концентрация электронов  $n_e = 5 \cdot 10^9$  см<sup>-3</sup>, температура газа  $T_g = 600$  К, температура электронов  $T_e = 5$  эВ, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_m = 10^2$  с<sup>-1</sup>, коэффициент диффузии метастабильных атомов при давлении газа 1 Тор  $D_1 = 400$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>, константа тушения метастабильных атомов собственным газом  $k_1 = 10^{-16}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>, порог энергии возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 20$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-17}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ, константа тушения уровня  $2^1S$  электронным ударом  $k_{me} = 3 \cdot 10^{-7}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>. Взаимоушшением метастабильных атомов друг с другом – пренебречь.
  9. Определить время релаксации атомов в возбужденном состоянии при условии: давление газа  $p = 0.01$  Тор, концентрация электронов  $n_e = 10^8$  см<sup>-3</sup>, температура газа  $T_g = 400$  К, температура электронов  $T_e = 7$  эВ, шарообразная разрядная трубка радиусом  $R = 5$  см, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_k = 10^6$  с<sup>-1</sup>, коэффициент диффузии атомов в возбужденном состоянии при давлении газа 1 Тор  $D_{1k} = 50$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>, константа тушения собственным газом  $k_2 = 7 \cdot 10^{-16}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>, пороговая энергия девозбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 5$  эВ, максимальное суммарное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-15}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 25$  эВ.

10. Определить величину коэффициента амбиполярной диффузии для плазмы разряда в гелии: давление гелия  $p = 7$  Тор, длина свободного пробега ионов  $\lambda_i$  при давлении гелия 1 Тор  $\lambda_{i1} = 10^{-2}$  см, температура ионов  $T_i = 600$  К, температура электронов  $T_e = 40\,000$  К.
11. Определить температуру азота к концу импульса длительностью 50 мкс, если за нагрев газа ответственен канал, связанный с самотушением метастабильных молекул. Давление азота 40 Тор, начальная температура газа  $T_{go} = 300$  К; температура электронов  $T_e = 30000$  К; концентрация электронов  $n_e = 2 \cdot 10^{12}$  см<sup>-3</sup>; доля энергии, идущая в поступательные степени свободы при самотушении метастабильных молекул  $\eta = 0.2$ ; пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 8$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 3 \cdot 10^{-17}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 11$  эВ. Считать, что концентрация метастабильных молекул в условиях задачи стационарна и определяется только прямым электронным возбуждением из основного состояния и самотушением при взаимодействии друг с другом.
12. Найти коэффициенты свободной диффузии электронов и ионов в направлении, перпендикулярном магнитному полю, в плазме разряда в гелии, помещенного в продольное магнитное поле  $H = 10^3$  эрстед, температура ионов  $T_i = 300$  К, температура электронов  $T_e = 40000$  К, длина свободного пробега ионов  $\lambda_i$  при давлении гелия 1 Тор  $\lambda_{i1} = 10^{-2}$  см, длина свободного пробега электронов  $\lambda_e$  в шесть раз больше длины свободного пробега ионов  $\lambda_i$ , давление гелия  $p = 5$  Тор.
13. Определить концентрацию атомов в к-ом состоянии при условии: давление газа  $p = 25$  Тор, концентрация электронов  $n_e = 10^{11}$  см<sup>-3</sup>, температура газа  $T_g = 600$  К, температура электронов  $T_e = 2$  эВ, радиус разрядной трубки  $R = 2$  см, длина  $L = 1$  м, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_k = 10^7$  с<sup>-1</sup>, коэффициент диффузии атомов в возбужденном к-ом состоянии при давлении газа 1 Тор  $D_{1k} = 10$  см<sup>2</sup>с<sup>-1</sup>, константа тушения собственным газом  $k_2 = 10^{-18}$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>, пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 20$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-17}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ. Девозбуждением рассматриваемого состояния электронным ударом пренебречь.
14. Определить скорость нагрева молекулярного газа при условии: давление 5 Тор, начальная температура газа  $T_{go} = 300$  К; температура электронов  $T_e = 20000$  К; колебательная температура нижних колебательных уровней основного состояния молекулы  $T_v = 5000$  К; концентрация электронов  $n_e = 10^{12}$  см<sup>-3</sup>; доля энергии, передаваемая электроном молекуле газа при упругих столкновениях  $\delta = 2 \cdot 10^{-5}$ ; частота упругих столкновений электронов с молекулами  $\nu_{en} = 4 \cdot 10^9$  с<sup>-1</sup>; постоянная времени VT-релаксации в условиях задачи  $\tau_{VT} = 10^{-2}$  с; доля энергии, идущая в поступательные степени свободы при самотушении метастабильных молекул  $\eta = 0.3$ ; пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 6$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 5 \cdot 10^{-17}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 9$  эВ. Считать, что концентрация метастабильных молекул в условиях задачи стационарна и определяется только прямым электронным возбуждением из основного состояния и самотушением при взаимодействии друг с другом.
15. Вычислить частоту возбуждения состояния  $2^1S$  атомов гелия электронным ударом при давлении газа 7 Тор, температуре газа 600 К и температуре электронов 4 эВ. Пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 21$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-17}$  см<sup>2</sup> и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ.
16. За счет эффекта Шоттки работа выхода электронов уменьшилась на 0,2 эВ. Найти напряженность электрического поля вблизи поверхности.
17. Катод площадью 1 см<sup>2</sup> при температуре 1000 К дает ток 3 А. Найти работу выхода электронов.
18. Вычислить удельную мощность, которую нужно подвести к катоду, работающему в режиме насыщения для получения термоэлектронного тока плотностью 0,1 А/см<sup>2</sup> при температуре 2000 К.



19. Плоский диод имеет катод площадью  $5 \text{ см}^2$  с работой выхода  $2 \text{ эВ}$ , нагретый до температуры  $1500 \text{ К}$ . Расстояние от анода до катода  $0,5 \text{ см}$ . Найти анодный ток при приложенном напряжении  $500 \text{ В}$ .
20. Найти максимальную скорость фотоэлектронов при облучении катода с работой выхода  $3 \text{ эВ}$  излучением с длиной волны  $0,3 \text{ мкм}$ .
21. Найти квантовый выход фотокатода если его чувствительность на длине волны  $0,5 \text{ мкм}$  составляет  $10^{-6} \text{ А/Вт}$ .
22. Найти смещение длинноволновой границы фотоэффекта для катода с работой выхода  $2 \text{ эВ}$  при приложении к нему ускоряющего электрического поля  $3000 \text{ В/см}$ .
23. Найти ширину потенциального барьера треугольной формы для электрона находящегося на уровне Ферми при приложении к катоду с работой выхода  $4 \text{ эВ}$  ускоряющего электрического поля напряженностью  $10^7 \text{ В/см}$ .
24. Найти плотность тока автоэлектронной эмиссии катода с работой выхода  $4 \text{ эВ}$  при приложении ускоряющего электрического поля напряженностью  $10^7 \text{ В/см}$  (Считать потенциальный барьер имеет треугольную форму).
25. Найти плотность тока автоэлектронной эмиссии с острия катода (радиус кривизны  $10^{-5} \text{ см}$ ) с работой выхода  $4 \text{ эВ}$  при приложении ускоряющего анодного напряжения  $100 \text{ В}$  (Считать потенциальный барьер имеет треугольную форму).
26. По данным осциллограммам тока и напряжения определить временную зависимость мощности и энергии, вложенной в плазму.
27. По данным осциллограммам тока и напряжения определить временную зависимость сопротивления разряда. Оценить температуру электронов в плазме, имеющей следующие размеры: длина плазменного канала  $10 \text{ см}$ , а площадь поперечного сечения  $20 \text{ мм}^2$ .
28. Рассчитать необходимую чувствительность интерферометра для определения концентрации электронов  $N_e = 10^{16} \text{ см}^{-3}$  при длине плазменного канала  $20 \text{ см}$ .
29. Определить концентрацию электронов в плазме, если известно, что сдвиг интерференционной картины равен  $8$  полным полосам. Линейный размер плазмы вдоль зондирующего луча равен  $20 \text{ см}$ .
30. Оценить коэффициент поглощения в плазме излучения с длиной волны  $\lambda = 500 \text{ нм}$ . Концентрация электронов в плазме равна  $10^{17} \text{ см}^{-3}$ , температура равна  $1,5 \text{ эВ}$  и  $Z=1$ .
31. Определить длину свободного пробега фотона, соответствующего длине волны  $\lambda = 600 \text{ нм}$ , в плазме со следующими параметрами:  $N_e = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $T = 2 \text{ эВ}$ ,  $Z=1$  и линейный размер плазмы вдоль зондирующего луча равен  $10 \text{ см}$ .
32. Рассчитать относительные интенсивности компонент расщепления первой линии серии Бальмера,  $H_\alpha$  ( $n_2 = 3 \rightarrow n_1 = 2$ ),  $\lambda = 656,3 \text{ нм}$ .
33. Спектральная линия соответствует переходу между уровнями с разностью энергии  $5 \text{ эВ}$ . Определить волновое число  $[\text{см}^{-1}]$  перехода, длину волны в  $[\text{нм}]$  и частоту перехода  $[\text{с}^{-1}]$ .
34. Определить длины волн первых четырех линий серии Лаймана для щелочного металла, если для этой серии  $\alpha_1 = 0,5$ , а  $\alpha_2 = 0,3$ .
35. Определить длины волн первых трех линий серии Пашена для водорода.
36. Определить отношение длин волн  $L_\alpha$  и  $H_\gamma$  для атома водорода.
37. Определить длину волны спектральной линии в воздухе  $\lambda_{\text{возд}}$ , если длина волны в вакууме  $\lambda_{\text{вак}} = 450 \text{ нм}$ .
38. Исходя из наглядных представлений о движении электрона в атоме по круговой орбите, рассчитать значение магнетона Бора.
39. Рассчитать время жизни атома в возбужденном состоянии, если полная вероятность спонтанных переходов с этого уровня  $10^4 \text{ с}^{-1}$ , а константа безизлучательного тушения уровня собственным газом с концентрацией  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  равна  $10^{-12} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$ .
40. Определить вероятность спонтанного перехода для спектральной линии с длиной волны  $10000 \text{ нм}$ .
41. Считая, что размер излучающего атома  $a = 10^{-8} \text{ см}$ , определить отношение вероятностей магнитного и электрического дипольных излучений

42. Определить отношение вероятности квадрупольного излучения к вероятности дипольного для длины волны  $\lambda = 500$  нм и  $a = 10^{-8}$  см.
43. Для области спектра ( $\nu = 10^{16}$  с $^{-1}$ ) определить вероятности спонтанных дипольных, магнитных и квадрупольных переходов.
44. Для видимой области спектра ( $\lambda = 650$  нм) рассчитать коэффициент затухания для частицы с зарядом  $e$  и с массой  $m_e$ , совершающей линейные гармонические колебания.
45. Определить согласно классической теории выраженную в [с $^{-1}$ ] и [нм] естественную ширину спектральной линии с длиной волны 400 нм.
46. Определить длины волн, соответствующие максимальной интенсивности планковских излучателей, с температурами 10000 К, 3000 К и 100 К.
47. Рассчитать отношение полуширин спектральных линий водорода  $\mu_1 = 1$  и ртути  $\mu_2 = 1$  для температуры газа  $T = 2000$  К.
48. Определить стационарную концентрацию метастабильных атомов гелия  $2^1S$  в плазме разряда в цилиндрической трубке ( $R = 1,5$  см,  $L = 50$  см) при давлении газа  $p = 0,5$  Тор. Концентрация электронов  $n_e = 5 \cdot 10^9$  см $^{-3}$ , температура газа  $T_g = 600$  К, температура электронов  $T_e = 5$  эВ, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_m = 10^2$  с $^{-1}$ , коэффициент диффузии метастабильных атомов при давлении газа 1 Тор  $D_1 = 400$  см $^2$ с $^{-1}$ , константа тушения метастабильных атомов собственным газом  $k_1 = 10^{-16}$  см $^3$ с $^{-1}$ , порог энергии возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 20$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-17}$  см $^2$  и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ, константа тушения уровня  $2^1S$  электронным ударом  $k_{me} = 3 \cdot 10^{-7}$  см $^3$ с $^{-1}$ . Взаимотушением метастабильных атомов друг с другом – пренебречь.
49. Определить время релаксации атомов в возбужденном состоянии при условии: давление газа  $p = 0.01$  Тор, концентрация электронов  $n_e = 10^8$  см $^{-3}$ , температура газа  $T_g = 400$  К, температура электронов  $T_e = 7$  эВ, шарообразная разрядная трубка радиусом  $R = 5$  см, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_k = 10^6$  с $^{-1}$ , коэффициент диффузии атомов в возбужденном состоянии при давлении газа 1 Тор  $D_{1k} = 50$  см $^2$ с $^{-1}$ , константа тушения собственным газом  $k_2 = 7 \cdot 10^{-16}$  см $^3$ с $^{-1}$ , пороговая энергия девозбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 5$  эВ, максимальное суммарное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-15}$  см $^2$  и достигает при  $\varepsilon_m = 25$  эВ.
50. Определить концентрацию атомов в  $k$ -ом состоянии при условии: давление газа  $p = 25$  Тор, концентрация электронов  $n_e = 10^{11}$  см $^{-3}$ , температура газа  $T_g = 600$  К, температура электронов  $T_e = 2$  эВ, радиус разрядной трубки  $R = 2$  см, длина  $L = 1$  м, вероятность излучательного девозбуждения уровня  $A_k = 10^7$  с $^{-1}$ , коэффициент диффузии атомов в возбужденном  $k$ -ом состоянии при давлении газа 1 Тор  $D_{1k} = 10$  см $^2$ с $^{-1}$ , константа тушения собственным газом  $k_2 = 10^{-18}$  см $^3$ с $^{-1}$ , пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 20$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-17}$  см $^2$  и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ. Девозбуждением рассматриваемого состояния электронным ударом пренебречь.
51. Вычислить частоту возбуждения состояния  $2^1S$  атомов гелия электронным ударом при давлении газа 7 Тор, температуре газа 600 К и температуре электронов 4 эВ. Пороговая энергия возбуждения рассматриваемого уровня электронным ударом  $\varepsilon_0 = 21$  эВ, максимальное сечение данного процесса равно  $\sigma_m = 10^{-17}$  см $^2$  и достигает при  $\varepsilon_m = 100$  эВ.

### Вопросы (темы) для самостоятельного изучения.

1. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
2. Гидродинамический механизм расширения канала разряда.
3. Механизм лучистой теплопроводности в плазме канала разряда.
4. Фотоионизационный механизм переноса энергии.
5. Процессы переноса в плазме газового разряда.
6. Влияние магнитного поля на явления переноса в плазме.

7. Регистрация спектров излучения плазмы фотографическим методом.
8. Регистрация спектров излучения плазмы фотоэлектрическим методом.
8. Электрические электротехнические параметры канала разряда высокого давления.
9. Интегральные характеристики.
10. Дифференциальные параметры плазменного канала разряда.
11. Влияние начальных условий инициирования разряда.
12. Роль и влияние магнитного поля на электропроводность и удельное сопротивление разряда.
13. Газодинамические и оптические характеристики плазменного канала разряда.
14. Воздействие скорости ввода энергии в разрядный промежуток на газодинамику разряда.
15. Оптические закономерности развития разряда.
16. Подавление интенсивности формирующейся УВ и скорости ее распространения.
17. Спектроскопические характеристики плазменного канала разряда.
18. Распределение спектральной плотности энергетической яркости по спектру излучения.
19. Предельная яркость свечения канала разряда.
20. Влияние параметров разрядного контура, газа и напряженности внешнего продольного магнитного поля на яркость насыщения канала разряда.
21. Энергетические измерения и определение удельного энергоклада в разрядный промежуток.
22. Удельная мощность выделяемая в разряде.
23. Влияние начальных условий инициирования разряда и напряженности продольного магнитного поля на энергетические параметры канала разряда.
24. Жесткий и мягкий режимы протекания разряда.
25. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
26. Гидродинамический механизм расширения канала разряда.
27. Механизм лучистой теплопроводности в плазме канала разряда.
28. Фотоионизационный механизм переноса энергии.
29. Влияние магнитного поля на явления переноса в плазме.
30. Регистрация спектров излучения плазмы фотографическим методом.
31. Регистрация спектров излучения плазмы фотоэлектрическим методом.
32. Измерение токов импульсных разрядов.
33. Измерение импульсных напряжений. Определение параметров плазмы по данным электрических измерений.
34. Методы скоростной покадровой съёмки. Скоростные фоторегистраторы.
35. Электронно-оптические преобразователи.
36. Распределение интенсивности свечения разряда и определение температуры плазмы.
37. Определение динамики формы разряда по данным скоростной фотографии. Измерения времени свечения и полной энергии излучения плазмы импульсных разрядов.
38. Уравнение баланса атомов, возбуждённых на данный энергетический уровень.
39. Модель локального термодинамического равновесия (ЛТР).
40. Стационарная корональная модель.
41. Столкновительно - излучательная модель.
42. Понятие о температуре в плазме. Определение температуры по относительным интенсивностям спектральных линий в модели ЛТР.
43. Определение температуры по относительным интенсивностям спектральных линий. Корональная модель.
44. Спектроскопия плазмы с временным разрешением.
45. Показатель преломления плазмы.

46. Рефракционные и теневые методы диагностики плазмы.
47. Интерферометрические методы диагностики.
48. Типичные схемы оптических интерферометров.
49. Основные принципы лазерной интерферометрии.
50. Трёхзеркальный лазерный интерферометр.
51. Методы сканирования аппаратной функции.
52. Измерения в пределах интерференционного максимума.
53. Голографическая лазерная интерферометрия плазмы.
54. Практические схемы для определения оптической толщины плазмы.
55. Вынужденное комбинационное рассеяние. Активная спектроскопия комбинационного рассеяния.
56. Экспериментальная установка для активной спектроскопии плазмы.
57. Пространственные характеристики положительного столба разряда постоянного тока
58. Диффузионные модели газового разряда
59. Модели Ленгмюра–Тонкса газового разряда
60. Законов подобия в газовом разряде
61. Влияние неквазинейтральности на характеристики разряда.
62. Черенковские пучковые неустойчивости в плазме
63. Моделирование взаимодействия ионов с поверхностью кристаллов
64. Компьютерное моделирование распыления твердых тел ионным пучком
65. Моделирование взаимодействия электронного пучка с веществом методом Монте–Карло
66. Моделирование движения рассеянных электронов в массивной мишени и в свободной тонкой пленке.
67. Моделирование движения рассеянных электронов в системе “пленка – массивная подложка”.
68. Моделирование энергетического распределения обратно–отраженных электронов.

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

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

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

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	<b>Знает:</b> методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемно. <b>Умеет:</b> применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; выявлять проблемные ситуации, используя методы анализа, синтеза и абстрактного мышления; производить анализ явлений и	Устный опрос, письменный опрос

		<p>обрабатывать полученные результаты; оценивать адекватность и достоверность информации о проблемной ситуации, работать с противоречивой информацией из разных источников; осуществлять поиск решений проблемных ситуаций на основе действий, эксперимента и опыта; определять в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке и предлагать способы их решения; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;</p> <p><b>Владеет:</b> методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; технологиями выхода из проблемных ситуаций, навыками выработки стратегии действий; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки.</p>	
ОПК-2	<p>Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики</p>	<p><b>Знает:</b> - актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики, а также смежных областей науки и техники. - принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи. - основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования; - передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования; - современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств.</p> <p><b>Умеет:</b> - самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки; - использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

		<p>работе;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач;</li> <li>- самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи;</li> <li>- навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий;</li> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе;</li> <li>- оценивать, представлять и защищать результаты выполненного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями;</li> <li>- навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul>	
ОПК-4	Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности;</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 своей профессиональной деятельности;</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 изложения собственной концепции;</li> <li>- методами описания результатов научных исследований для их внедрения.</li> </ul>	Устный опрос, письменный опрос

ПК-4	<p>способностью планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках</p>	<p><b>Знает:</b> теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений.</p> <p><b>Умеет:</b> самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-коммуникационных технологий для выполнения экспериментальных и теоретических исследований; анализировать и интерпретировать результаты эксперимента на основе современных теоретических моделей; правильно организовать и планировать эксперимент; правильно применять различные теоретические модели для анализа результатов эксперимента.</p> <p><b>Владеет:</b> 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>	Устный опрос, письменный опрос
ПК-5	<p>способностью самостоятельно проводить физические исследования, анализировать, делать научные обобщения и выводы, выдвигать новые идеи, интерпретировать и представлять результаты научных</p>	<p>Знает: методы исследований, проведения, обработки и анализа результатов испытаний и измерений; критерии выбора методов и методик исследований; правила и условия выполнения работ, технических расчетов, оформления получаемых результатов. Умеет: проводить испытания, измерения и обработку результатов; регистрировать показания приборов; проводить расчёты критически анализировать результаты делать выводы. Владеет: выбором испытательного и измерительного оборудования, необходимого для проведения исследований; выполнением оценки и</p>	Устный опрос, письменный опрос

	исследований	обработки результатов исследования; навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.	
ПК-6	Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы	<p><b>Знает:</b> методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах;</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.</p> <p><b>Владеет:</b> 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>	Устный опрос, письменный опрос

## 7.2 Типовые контрольные задания

### Темы рефератов:

1. Оптические закономерности развития разряда.
2. Подавление интенсивности формирующейся УВ и скорости ее распространения.
3. Спектроскопические характеристики плазменного канала разряда.
4. Распределение спектральной плотности энергетической яркости по спектру излучения.
5. Предельная яркость свечения канала разряда.



6. Влияние параметров разрядного контура, газа и напряженности внешнего продольного магнитного поля на яркость насыщения канала разряда.

7. Энергетические измерения и определение удельного энергоклада в разрядный промежуток.

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

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   бал.
- выполнение лабораторной работы   60   бал.
- выполнение самостоятельных работ   10   бал.
- выполнение домашних   10   бал
- выполнение контрольных работ   10   бал

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

### **Литература**

#### **Основная литература.**

1. К. Шимино, «Физическая электроника» М., Энергия. 1977г.
2. Н.А. Копцов «Электроника» М., 1953г.
3. А.Г. Шерстнев «Электронная оптика и электронно-лучевые приборы». М., Энергия 1971г.
4. А.А. Жигарев «электронная оптика и электронно-лучевые приборы». М., «Высшая школа» 1972г.
5. Физический энциклопедический словарь. М., «Советская энциклопедия» 1983г.
6. Л.А. Арцимович, Лукьянов С.Ю. «Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях» 2 изд. М., 1978г.
7. С.А. Двинин. Физические основы газового разряда. Часть 1. Учебное пособие. Москва. МГУ им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. 2012. 119 с.
8. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Т.2. Установившийся ток. М.: «Наука», ГРФМЛ, 1971.
9. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: «Наука», 1992.
10. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма. /Под редакцией Б.Я. Мойжеса и Г.Е. Пикуса. М.: «Наука». 1973. С. 176 – 221.
11. Недоспасов А.В., Хаит В.Д. Колебания и неустойчивости низкотемпературной плазмы. М.: «Наука». 1979. 160 с.
12. А.М. Девятов, В.М. Шибков. «Элементарные процессы в ионизованном газе», Издательство МГУ, Москва, 2001.
13. Л.В. Шибкова, В.М. Шибков. Разряд в смесях инертных газов. Москва: Физматлит, 2005, 198 с.

14. Л.М. Биберман, В.С. Воробьев, И.Т. Якубов. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982, 375 с.
15. Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука, 1982, 591 с.
16. М.А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз. 1962, 892с.
17. В.Н. Очкин. Спектроскопия низкотемпературной плазмы. М.: Физматлит, 2006, 472с.
18. С.Э. Фриш. Оптические спектры атомов. М.-Л.: Физматгиз, 1963, 640с.
19. С.А. Зарин, А.А. Кузовников, В.М. Шибков. Свободно локализованный СВЧ-разряд в воздухе. Глава 3. -М.: Нефть и газ, 1996, 204с.

#### Дополнительная литература.

1. Лебедев А.Н., Шальков А.В. «Основы физики и техники ускорителей» М., 1978г.
2. Лебедев И.В. «Техника и приборы сверхвысоких частот». Т. 2 М., «энергия» 1964г.
3. Рафильсон А.Э., Шертевский А.М. «Масс-спектрометрические приборы». М., 1968г.
4. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики. М.: Наука. 1981. 358 с.
5. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики: плазмы. М.: Высшая школа. 1980.
6. Кудрявцев А.А. Смирнов А.С. Цендин Л.Д. Физика тлеющего разряда. Лань. С.-П., Москва, Краснодар. 2010. 493 с.
7. Смирнов Б.М. Физика слабоионизованного газа. М.: Наука, 1972. 416 с.
8. Синкевич О.А., Стаханов И.П. Физика плазмы. Стационарные процессы в частично ионизованном газе. М.: Высшая школа. 1991. 192 с.
9. Лозанский Э. Д., Фирсов О. Б. Теория искры. М.: Атомиздат, 1975. 271 с.
10. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982, 376 с.
11. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. 719 с.
12. Lieberman M., Lichtenberg A.J. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Second Edition, John Wiley and Sons, 2005.
13. Митчнер М., Кругер Ч. Частично ионизованные газы. М.: Мир 1976. 468 с.
14. Велихов Е. П., Ковалёв А. С., Рахимов А. Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Изд-во: Наука, 1987, 160 стр.
15. В.М. Шибков. Изучение влияния различных механизмов передачи энергии на кинетику нагрева молекулярного газа. В книге □Сборник задач компьютерного практикума по физическим основам плазменных и лучевых технологий□. Под ред. А.Ф. Александрова и В.И. Петрова. Москва: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2000, с.43-56.
16. А.А. Матвеев, В.П. Силаков //Неравновесная кинетика процессов в низкотемпературной водородной плазме //ИОФ РАН. Москва, 1994. Препринт № 8.
17. А.Ю. Костинский, А.А. Матвеев, В.П. Силаков //Кинетические процессы в неравновесной азотно-кислородной плазме. //ИОФ РАН. Москва, 1990. Препринт №87.
18. В.М. Шибков. Р.С. Константиновский, Л.В. Шибкова. Влияние газового разряда на воспламенение водородно-кислородной смеси. //Кинетика и катализ, 2005, т.46, № 6, с.821-834.
19. Toshizo Shirai, Tatsuo Tabata, Hiroyuki Tawara, Yukikazu Itikawa // Atom. Data and Nucl. Data Tables. 2002. V. 80. № 2. P. 147.

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

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>  
Лицензионный договор № 2693/17 от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Доступ открыт с с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке( доступ будет продлен)
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) договор № 55\_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг.(доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеки на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания.
5. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>(единое окно доступа к образовательным ресурсам).
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
7. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
8. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
9. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
10. Федеральный центр образовательного законодательства <http://www.lexed.ru>
11. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
12. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета СанктПетербургского госуниверситета.
13. **Springer**. Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ предоставлен на неограниченный срок
14. **SCOPUS** <https://www.scopus.com> Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору №Scopus/73 от 08 августа 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями победителями конкурса. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.
15. **Web of Science** - [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com) Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями победителями конкурса Договор действует с момента подписания по 30.03.2017г.
16. «**Pro Quest Dissertation Theses Global**» (**PQDT Global**). - база данных зарубежных – диссертации. Доступ продлен согласно сублицензионному договору № ProQuest/73 от 01 апреля 2017 года <http://search.proquest.com/>. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.
17. **Sage** - мультидисциплинарная полнотекстовая база данных. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № Sage/73 от 09.01.2017 <http://online.sagepub.com/> Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.

18. **American Chemical Society.** Доступ продлен на основании сублицензионного договора №ACS/73 от 09.01.2017 г. [pubs.acs.org](http://pubs.acs.org) Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.

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

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

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов по физике газового разряда;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.
- **Самостоятельная работа студентов:**
  - проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
  - поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
  - выполнение курсовых работ (проектов);
  - написание рефератов;
  - работа с тестами и вопросами для самопроверки.

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

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

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

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

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

Лаб. №1: Осциллограф ОК - 21М, пояс Роговского, омический делитель.

Лаб. №2. Сверхскоростной фоторегистратор (СФР), батарея конденсаторов, осциллограф. Электронно-оптический затвор Керра, ёмкостной делитель напряжения.

Лаб. №3. Генератор задержанных импульсов, лабораторный автотрансформатор. Монохроматор ДМР -4, вакуумная установка, измеритель форвакуума.

Лаб. №4. Спектрограф ИСП - 30, щели Гартмана, фотопленка. Спектрограф СТЭ-1, датчик магнитного поля, электрические зонды. Фотоэлектрический умножитель, запоминающий осциллограф С8.

Лаб. 5-6. Генератор высоковольтных импульсов, разрядная камера, источник предыонизации, фотоэлектронный регистратор ФЭР2-1, спектрограф, монохроматор, ФЭУ.