



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

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Спектроскопия плазмы**

Кафедра «Физической электроники»  
физического факультета


Образовательная программа магистратуры  
03.04.02–Физика


Направленность (профиль):  
Физика плазмы

Форма обучения: очная  
Статус дисциплины: Дисциплина (модуль) профильной  
направленности

Махачкала, 2022 год

Рабочая программа дисциплины Спектроскопия 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 .....	5
2. Место дисциплины в структуре ОПОП .....	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .....	6
4. Объем, структура и содержание дисциплины.....	9
4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов. 9	
4.2. Структура дисциплины. ....	10
4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам). ....	11
5. Образовательные технологии .....	19
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. ....	20
7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины. ....	23
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины. ....	32
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	32
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	33
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем. ....	34
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	34

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина Спектроскопия плазмы входит в модуль профильной направленности 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, физики плазмы. Изучение спецкурса позволяет закрепить знания по перечисленным предметам.

Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные со способностью использовать теоретические знания в области спектроскопии плазмы, теоретической физики, атомной физики, статистической физики для решения конкретных практических задач.

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

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

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

УК-1, ОПК-1, ПК-4, ПК-6

УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий;

ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской 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 экзамена.

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа.

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		Практические занятия	КСР			консультации
Лекции	Лабораторные занятия								
3	144	36	12		24			72+36	экзамен

## 1. Цель изучения дисциплины

Целями освоения дисциплины является ознакомление студентов с современным состоянием и перспективами развития спектроскопии плазмы, освоение терминологии, используемой в спектроскопии, основных спектроскопических методов исследования параметров плазмы, расширение и углубление знаний по спектроскопии плазмы, являющейся самостоятельным научным направлением, в рамках которого происходит интенсивное накопление сведений, что вызывает необходимость в их обобщении. Типичные задачи диагностики плазмы включают в себя определения количественного и качественного химического состава, выяснения как общего энергообмена, так и распределение энергии между различными частицами и их состояниями в квантовом и непрерывном спектрах. Важную роль спектроскопия играет в изучении элементарных процессов, реализация которых во многих применениях является целью создания плазменных устройств.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Спектроскопия плазмы» относится к дисциплинам модуля профильной направленности ОПОП магистра. Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные способностью использовать теоретические знания, умения и практические навыки в области спектроскопии плазмы.

Студенты, изучающие данную дисциплину, должны иметь сведения и базовые знания о плазме как объекте спектроскопии; основные понятия и параметры, связанные с описанием излучения, поглощения и рассеяния света плазмой; методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных состояниях; интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных степенях свободы атомов и молекул; измерение концентраций атомов и молекул; спектроскопические методы определения электрических и магнитных полей в плазме; определение параметров свободных электронов плазмы.

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

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

Студенты должны усвоить основы спектроскопии плазмы, научиться делать количественные оценки и проводить расчеты применительно к задачам из области диагностики, физики и техники плазмы.

УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий;

ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской 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.

По окончании освоения программы по направлению «Физика» выпускник должен продемонстрировать способность разбираться в современном состоянии проблемы, теоретических работах и результатах экспериментов, входящих в программу, способность разбираться в методах исследований в объеме профессиональных дисциплин.

Компетенции магистерских программ должны учитывать региональные особенности и требования работодателей.

В результате изучения дисциплины специалист должен:

➤ **Получить представление** о преимуществах и недостатках спектроскопических методов исследования плазмы, о современном состоянии и перспективах развития спектроскопии плазмы, как отдельного научного направления;

➤ **Знать** основы спектроскопии плазмы, основные спектроскопические методы (полного поглощения и его модификации, лазерные абсорбционные методы, методы абсолютных и относительных интенсивностей и т.д.) исследования параметров плазмы (концентрации возбужденных атомов, электронов, сил осцилляторов и т.д.), терминологию, используемую в спектроскопии, основные фотометрические величины и единицы их измерения.

➤ **Уметь** оценивать по экспериментальным и справочным данным спектральные характеристики различных систем, на их основе давать оценку состояния исследуемого объекта.

➤ **Приобрести навыки** моделирования и решения задач по спектроскопии, навыки экспериментальной деятельности, в частности навыки исследования и определения параметров спектра плазмы, работы со специальными приборами, используемыми в спектроскопии плазмы (спектрограф, монохроматор и т.д.).

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ПООП (при наличии))	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
<p>УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий</p>	<p>ИУК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними. ИУК-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению. ИУК-1.3. Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников ИУК-1.4. Разрабатывает и содержательно аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарного подходов. ИУК-1.5. Строит сценарии реализации стратегии, определяя возможные риски и предлагая пути их устранения.</p>	<p>Знает виды, методы и концепции критического анализа. Умеет применять виды, методы и концепции критического анализа при выработке плана действий в проблемных ситуациях. Владеет основными принципами, определяющими цель и стратегию решения сложных ситуаций.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>
<p>ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</p>	<p>ОПК-1.1. Владеет фундаментальными знаниями в области физики</p>	<p>Знает: физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности; тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники; основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; Умеет: применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности; выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>

		<p>деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта.</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем; основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</p>	
	<p>ОПК-1.2. Использует фундаментальные знания в области физики при решении научно-исследовательских задач.</p>	<p>Умеет:</p> <p>использовать фундаментальные знания в области физики при решении научно-исследовательских задач; реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области научно-исследовательской деятельности.</p>	
	<p>ОПК-1.3. Применяет специальные технологии и методы для реализации преподавательской деятельности</p>	<p>Знает:</p> <p>основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы.</p> <p>Умеет:</p> <p>применять специальные технологии и методы для реализации преподавательской деятельности; выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата.</p> <p>Владеет:</p> <p>специальными технологиями и методами для реализации преподавательской деятельности.</p>	
<p>ПК-4. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках</p>	<p>ПК-4.1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий исследований</p> <p>ПК-4.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся</p>	<p>Знает:</p> <p>теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений.</p> <p>Умеет:</p> <p>самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-коммуникационных технологий для выполнения</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос.</p>



	материальных и временных	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.	
	ПК-4.3. Анализирует и обобщает результаты научно-исследовательских работ с использованием современных достижений науки и техники.		
	ПК-4.4. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.	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.	
ПК-6. Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики низкотемпературной плазмы.	ПК-6.1. Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного оборудования.	Знает: методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах; Умеет: пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области физики электрического пробоя; анализировать устройство используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники. Владеет: методикой и теоретическими основами анализа	Устный опрос, письменный опрос.
	ПК-6.2. Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы		
	ПК-6.3. Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.		
	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	экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; некоторыми диагностические методы исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления.	
--	--	---	--

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

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

## 4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Трудоемкость	Лекции	Практич. занятия	Сам. раб.	Экзамен	
	<b>Модуль 1 Введение в спектроскопию плазмы</b>	3	<b>36</b>					
1	Основные понятия и параметры, связанные с описанием излучения, поглощения и рассеяния света плазмой.		12	1	3	8		устный опрос, решение задач, выступления с
2	Плазма как объект спектроскопии. Общие понятия.		12	1	3	8		устный опрос, выступления с докладами, презентации, задачи, контрольная работа
3	Методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных энергетических состояниях		12	2	2	8		устный опрос, выступления с докладами контрольная работа
	Итого по модулю		36	4	8	24		
	<b>Модуль 2 Исследования спектров</b>							
4	Интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных		18	2	4	12		устный опрос, презентации, задачи, выступления с докладами
5	Измерение концентраций атомов и молекул		18	2	4	12		устный опрос, презентации, задачи, выступления с докладами
	Итого по модулю		36	4	8	24		
	<b>Модуль 3 Спектральные методы</b>							
6	Спектральные методы		18	2	4	12		устный опрос,

	определения электрических и магнитных полей плазме	в					выступления с докладами контрольная работа
7	Определение параметров свободных электронов плазмы		18	2	4	12	устный опрос, выступления с докладами контрольная
	<b>Итого по модулю</b>		36	4	8	24	
	<b>Модуль 4 Экзамен</b>		36			36	Экзамен
	<b>Итого</b>		<b>144</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>72</b>	<b>36</b>

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

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

#### **Модуль1 Введение в спектроскопию плазмы. Тема 1. Введение в спектроскопию плазмы.**

Энергетические спектры атомов. Основные характеристики спектра, квантовые числа. Основные моменты атомов. Понятие мультиплетности. Типы связи между моментами.

Отличительные особенности нормальной LS - связи, промежуточной, JJ – связи. Понятие разрешенных и запрещенных переходов между атомами. Основные правила отбора для оптически -разрешенных переходов. Времена жизни атомов в возбужденных состояниях и методы их определения. Естественное расширение уровней энергии. Понятие ширины спектральной линии.

Спонтанные и вынужденные переходы между квантовыми состояниями атома. Понятие вероятности для спонтанного перехода. Время жизни возбужденных состояний, как характеристика устойчивости возбужденного состояния. Связь времени жизни атомов в возбужденном состоянии с естественной шириной спектральной линии. Соотношение между естественной шириной спектральной линии и естественным расширением уровней энергии. Методы определения времени жизни атомов в возбужденном состоянии. Основные фотометрические характеристики спектральной линии конечной ширины. Спектральные и интегральные фотометрические характеристики спектральной линии конечной ширины. Спектральный и интегральный поток излучения, яркость, светимость источника излучения. Единицы измерения основных фотометрических величин в различных системах.

Контур спектральной линии. Классическая и квантовая теория естественного уширения спектральных линий. Виды уширения спектральных линий: естественное, доплеровское уширение.

#### **Тема2. Плазма, как объект спектроскопии.**

#### **Равновесная плазма. Основные уравнения. Излучение плазмы. Связь излучения с элементарными процессами, происходящими в ней. Излучение равновесной плазмы.**

В оптических спектрах плазмы проявляется необычайно высоко развитая структура ее энергетических состояний, поэтому ее спектроскопическое исследование является одним из основных методов исследования. Однако, в характерных для плазмы условиях сильного возбуждения отдельных частиц и их ансамблей число параметров, адекватно описывающих состояние как собственно объекта, так и его оптического спектра, определяется степенью отступления от состояний термодинамического равновесия. Поэтому здесь анализируются различные состояния равновесия плазмы и излучательные свойства плазмы в этих состояниях.

### **Тема 3. Методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных энергетических состояниях**

Эмиссионные методы. Идентификация спектров. Абсолютные измерения. Излучение протяжных неоднородных источников.

Эмиссионные методы сводятся к измерениям интенсивностей в спектрах спонтанного излучения. По определенным соотношениям оценивается связь интенсивности спектральных линий с плотностью излучающих эти линии возбужденных частиц.

Методы поглощения с использованием классических излучателей: поглощение на фоне сплошного спектра, линейчатое поглощение, самопоглощение мультиплетных линий.] Различные методы поглощения: поглощение на фоне сплошного спектра, линейчатое поглощение, самопоглощение мультиплетных линий.

Спектроскопия поглощения с частотно - перестраиваемыми и широкополосными лазерами. Непрямые методы регистрации поглощения лазерного излучения. Индуцированная флуоресценция и опто-гальваническая спектроскопия.

## **Модуль 2 Исследования спектров**

### **Тема 4. Интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных степенях свободы атомов и молекул**

Контур спектральной линии. Классическая и квантовая теория естественного уширения спектральных линий. Виды уширения спектральных линий: естественное, доплеровское уширение. Функция распределения зависимости интенсивности (яркости, светимости и

т.д.) от частоты, по виду которой определяют такую характеристику, как контур спектральной линии. Основные механизмы уширения спектральных линий и формирования их контуров. Естественное и доплеровское уширения спектральных линий. Вид функции распределения для естественного и доплеровского механизмов уширения спектральной линии. Понятие доплеровской и лоренцевской частот. Учет одновременного влияния доплеровского и естественного уширения – контур Фойхта. Учет тонкой структуры в контурах спектральных линий. Поглощение и излучение спектральных линий. Описание излучения и поглощения с помощью вероятностей перехода. Интенсивность спектральных линий. Общие сведения о методах расчета вероятностей переходов.

Определение вероятностей перехода по излучению и поглощению спектральных линий: (Методы поглощения, крюков Рождественского, испускания и комбинированные методы).

Интенсивность спектральных линий. Влияние самопоглощения на интенсивность спектральных линий. Возбуждение и релаксация атомов и молекул с неравно- неравновесной скоростью при взаимодействиях с тяжелыми частицами.

Измерение температуры газа по доплеровскому уширению линий атомов и молекул, возбуждаемых электронами. Спектроскопические проявления движения ионов в плазме. Распределения молекул по вращательным уровням. О выделении больцмановских ансамблей в системе связанных состояний частиц. Распределения молекул по вращательным уровням в электронном состоянии с большим временем жизни.

Возбуждение электронно-колебательно-вращательных (ЭКВ) уровней молекул электронным ударом. Возбуждение ЭКВ уровней тяжелыми частицами.

Об измерении газовой температуры при наличии параллельных каналов возбуждения вращений молекул. Интенсивности в колебательной структуре спектров и распределения молекул по колебательным уровням. Элементы колебательной кинетики, энергия и температура колебаний. Измерения колебательных температур распределений методами спектроскопии поглощения. Эмиссионные методы в ИК области. Комбинации методов

излучения и поглощения, обращение спектра. Комбинационное рассеяние. Измерения колебательных температур молекул в основных электронных состояниях по спектрам электронных переходов. Распределение частиц по электронным уровням.

#### **Тема 5. Измерение концентраций атомов и молекул.**

Определение концентраций атомов методами поглощения.

Нейтральные невозбужденные атомы.

Метастабильные атомы.

Положительные ионы малой кратности.

Определение концентраций молекул методом поглощения.

Вероятности оптических переходов двухатомных молекул.

Измерение концентраций двухатомных молекул по поглощению на линиях электронного спектра.

Измерения по поглощению в колебательно-вращательных спектрах.

Поглощение двухатомных молекул в метастабильных электронных состояниях.

Поглощение молекулярными ионами.

Актинометрические методы.

Отрицательные ионы.

Измерение концентраций.

Поглощение света ионами  $H^-$  в водородной ЛТР плазме.

Лазерные абсорбционные методы измерения плотности возбужденных атомов. Нестационарные когерентные эффекты, связанные с прохождением сверхкоротких лазерных импульсов через плазму (самоиндуцированная прозрачность, фотонное эхо). Спектроскопические методы измерения плотности электронов и их температуры. Метод относительных интенсивностей спектральных линий и спектральной линии к прилегающему континууму. Метод измерения температуры электронов по спектральной зависимости рекомбинационного и тормозного континуумов.

### **Модуль 3 Спектральные методы**

**Тема 6. Спектральные методы определения электрических и магнитных полей в плазме.**

Измерения электрических полей по спонтанному излучению атомов в плазме.

Водородоподобные атомы.

Неводородоподобные атомы.

Лазерная штарковская спектроскопия.

Штарковская спектроскопия атомов.

ЛИФ полярных молекул в электрическом поле.

Многофотонное возбуждении атомов.

Когерентная штарковская спектроскопия четырехволнового рассеяния. Исследования магнитных полей.

Измерения, основанные на эффекте Фарадея. Спектральные методы.

#### **Тема 7. Определение параметров свободных электронов плазмы.**

Интерферометрия.

Штарковское уширение спектральных линий.

Плазменные микрополя.

Линейный эффект Штарка.

Квадратичный эффект Штарка.

Обрыв спектральных серий водородоподобных атомов.  
Интенсивности в непрерывном спектре.  
Рассеяние света на электронах  
Рассеяние на электронах, движущихся случайно (томсоновское рассеяние).  
Области проявления томсоновского и коллективного рассеяний.  
Спектр рассеяния и плазменные параметры (прямая задача).  
Определение плазменных параметров по спектрам рассеяния (обратная задача).  
Ограничения метода, чувствительность, примеры.  
Измерения интенсивностей в линейчатых и полосатых спектрах.

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

##### **Модуль1**

##### **Введение в спектроскопию плазмы**

##### **Тема 1. Введение в спектроскопию плазмы.**

Основные понятия и параметры, связанные с описанием излучения, поглощения и рассеяния света плазмой.

Акцентируется внимание на необходимость спектроскопических исследований параметров плазмы, несостоятельность других методов при определении многих параметров плазмы. Дается краткий исторический очерк, также описывается современное состояние спектроскопии плазмы, современное направление в области спектроскопии плазмы. Задачи курса. Перечень необходимой для спецкурса литературы.

Символика энергетических уровней. Типы связи между моментами (нормальная LS - связь, промежуточная, JJ - связь). Правила отбора для оптических переходов.

Понятие энергетического спектра атомов. Основные характеристики спектра, квантовые числа. Основные моменты атомов. Понятие мультиплетности. Типы связи между моментами. Отличительные особенности нормальной LS - связи, промежуточной, JJ – связи. Понятие разрешенных и запрещенных переходов между атомами. Основные правила отбора для оптически -разрешенных переходов. Времена жизни атомов в возбужденных состояниях и методы их определения. Естественное расширение уровней энергии. Понятие ширины спектральной линии.

Спонтанные и вынужденные переходы между квантовыми состояниями атома. Понятие вероятности для спонтанного перехода. Время жизни возбужденных состояний, как характеристика устойчивости возбужденного состояния. Связь времени жизни атомов в возбужденном состоянии с естественной шириной спектральной линии. Соотношение между естественной шириной спектральной линии и естественным расширением уровней энергии. Методы определения времени жизни атомов в возбужденном состоянии. Основные фотометрические характеристики спектральной линии конечной ширины. Спектральные и интегральные фотометрические характеристики спектральной линии конечной ширины. Спектральный и интегральный поток излучения, яркость, светимость источника излучения. Единицы измерения основных фотометрических величин в различных системах. Контур спектральной линии. Классическая и квантовая теория естественного уширения спектральных линий. Виды уширения спектральных линий: естественное, доплеровское уширение.

##### **Тема 2. Плазма, как объект спектроскопии.**

**Равновесная плазма. Основные уравнения. Излучение плазмы. Связь излучения с элементарными процессами, происходящими в ней. Излучение равновесной плазмы. В**

оптических спектрах плазмы проявляется необычайно высоко развитая структура ее энергетических состояний, поэтому ее спектроскопическое исследование является одним из основных методов исследования. Однако, в характерных для плазмы условиях сильного возбуждения отдельных частиц и их ансамблей число параметров, адекватно описывающих состояние как собственно объекта, так и его оптического спектра, определяется степенью отступления от состояний термодинамического равновесия. Поэтому здесь анализируются различные состояния равновесия плазмы и излучательные свойства плазмы в этих состояниях.

### **Тема 3. Методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных энергетических состояниях**

Эмиссионные методы. Идентификация спектров. Абсолютные измерения. Излучение протяженных неоднородных источников.

Эмиссионные методы сводятся к измерениям интенсивностей в спектрах спонтанного излучения. По определенным соотношениям оценивается связь интенсивности спектральных линий с плотностью излучающих эти линии возбужденных частиц. Методы поглощения с использованием классических излучателей: поглощение на фоне сплошного спектра, линейчатое поглощение, самопоглощение мультиплетных линий.] Методы поглощения основаны на измерении поглощения света, прошедшего через однородный объект, что при известной вероятности перехода дает абсолютную величину разности заселенностей уровней. Существуют различные методы поглощения: поглощение на фоне сплошного спектра, линейчатое поглощение, самопоглощение мультиплетных линий. Каждый из перечисленных методов полного поглощения применим к различным видам уширения линий: доплеровское, лоренцовское и фойхтовское.

#### **Спектроскопия поглощения с частотно - перестраиваемыми и широкополосными лазерами.**

Спектроскопия плазмы существенно расширила свои возможности благодаря применения лазеров с управляемой частотой генерации. К настоящему времени разработано и реализовано большое число приемов и схем получения лазерной генерации в широкой спектральной области. По сравнению с классическими лазерные источники дают заметные преимущества в ряде, часто совокупных отношений: в лазерах сравнительно легко достигаются спектральные ширины полос излучения  $<10^{-4}$  см<sup>-1</sup>, что для комбинаций классических источников и монохроматоров представляет определенную проблему; применение лазеров с контролируемой перестройкой частоты позволяет унифицировать и автоматизировать измерения; большая мощность и узкая диаграмма направленности лазерного излучения позволяют во многих случаях избавиться от необходимости учета собственного свечения плазмы; и т.д.

#### **Непрямые методы регистрации поглощения лазерного излучения. Индуцированная флуоресценция и опто-гальваническая спектроскопия.**

Альтернативной может быть регистрация изменения того или иного параметра объекта, вызванного проходящим через него излучением. На сегодня существуют такие непрямые методы регистрации поглощения лазерного излучения как лазерно-индуцированная флуоресценция и опто-гальваническая спектроскопия.

Многофотонные процессы. Комбинационное рассеяние.

## **Модуль 2**

### **Исследования спектров**

#### **Тема 4. Интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных степенях свободы атомов и молекул**



Контур спектральной линии. Классическая и квантовая теория естественного уширения спектральных линий. Виды уширения спектральных линий: естественное, доплеровское уширение. Функция распределения зависимости интенсивности (яркости, светимости и т.д.) от частоты, по виду которой определяют такую характеристику, как контур спектральной линии. Основные механизмы уширения спектральных линий и формирования их контуров. Естественное и доплеровское уширения спектральных линий. Вид функции распределения для естественного и доплеровского механизмов уширения спектральной линии. Понятие доплеровской и лоренцевской частот.

Учет одновременного влияния доплеровского и естественного уширения – контур Фойхта. Учет тонкой структуры в контурах спектральных линий.

Совместное действие естественного, доплеровского и столкновительного механизмов, приводит к образованию нового контура, который носит название смешанного или Фойхтовского контура. Вид Фойхтовского контура, приближения при которых контур Фойхта переходит в доплеровский и естественный контура. Тонкая структура спектральных линий, связанная с таким параметром, как мультиплетность спектральных линий. Влияние расщепления энергетических уровней на вид контура спектральной линии. Уширение спектральных линий ионами и электронами. Квазистатистическое и ударное приближение. Корреляционные эффекты и образование сателлитов на крыльях спектральных линий.

Рассматривается расширение спектральных линий, связанное с взаимодействием между атомами. Существует две противоположные теории, описывающие данный механизм уширения спектральных линий: квазистатистическая и ударная. Приближения ударной теории Лоренца и Ленца-Вейскопфа и квазистатистической теории Хольцмарка и Линдхольма. Возникновение сдвига спектральной линии, связанное с воздействием электрических полей соседних атомов и молекул на данный атом. Механизм возникновения сателлитов на крыльях спектральной линии. Поглощение и излучение спектральных линий. Описание излучения и поглощения с помощью вероятностей перехода. Интенсивность спектральных линий.

Определяя мощность излучения числом элементарных актов испускания, возникает необходимость введения понятия вероятности перехода, соответствующего испусканию или поглощению излучения. Описание поглощения и излучения спектральной линии используя понятие вероятности перехода представляется наиболее правильным, нежели предполагает классическая электродинамика.

Общие сведения о методах расчета вероятностей переходов. Определение вероятностей перехода по излучению и поглощению спектральных линий: (Методы поглощения, крюков Рождественского, испускания и комбинированные методы).

Подробным образом излагаются методы определения сил осцилляторов и их особенности.

Особый интерес представляет метод крюков Рождественского, основанный на исследовании явления аномальной дисперсии величины  $f_{ik}N_i$  и возникновении характерных изгибов интерференционных полос по обе стороны от линии поглощения. Представлены результаты предлагаемых методов определения вероятностей перехода в атомах. Отдельно описываются результаты определения вероятностей переходов в главных сериях, резонансных линиях и т.д.

Интенсивность спектральных линий. Влияние самопоглощения на интенсивность спектральных линий.

Под интенсивностью линии понимают величину пропорциональную мощности излучения единицы объема, если считать, что явления самопоглощения и диффузии излучения в пределах излучающего объема отсутствуют. Рассматривается оценка величин относительных интенсивностей для составляющих PS – мультиплетов и показывается, что если линии

возникают при комбинировании между двумя сложными уровнями, то суммарные интенсивности линий, возникающих при слиянии верхних или нижних уровней в один общий, относятся как статистические веса соответствующих верхних или нижних уровней. Даны оценки влияния самопоглощения на интенсивность спектральных линий, для различных предельных случаев.

Возбуждение и релаксация атомов и молекул с неравно-неравновесной скоростью при взаимодействиях с тяжелыми частицами.

Измерение температуры газа по доплеровскому уширению линий атомов и молекул, возбуждаемых электронами.

Спектроскопические проявления движения ионов в плазме.

Распределения молекул по вращательным уровням.

О выделении бальмановских ансамблей в системе связанных состояний частиц.

Распределения молекул по вращательным уровням в электронном состоянии с большим временем жизни.

Возбуждение электронно-электронно-колебательно-вращательных (ЭКВ) уровней молекул электронным ударом.

Возбуждение ЭКВ уровней тяжелыми частицами.

Об измерении газовой температуры при наличии параллельных каналов возбуждения вращений молекул.

Интенсивности в колебательной структуре спектров и распределения молекул по колебательным уровням. Элементы колебательной кинетики, энергия и температура колебаний.

Измерения колебательных температур и распределений методами спектроскопии поглощения.

Эмиссионные методы в ИК области.

Комбинации методов излучения и поглощения, обращение спектра.

Комбинационное рассеяние.

Измерения колебательных температур молекул в основных электронных состояниях по спектрам электронных переходов.

Распределение частиц по электронным уровням.

## **Тема 5. Измерение концентраций атомов и молекул.**

Определение концентраций атомов методами поглощения.

Нейтральные невозбужденные атомы.

Метастабильные атомы.

Положительные ионы малой кратности.

Определение концентраций молекул методом поглощения. Вероятности оптических переходов двухатомных молекул.

Измерение концентраций двухатомных молекул по поглощению на линиях электронного спектра.

Измерения по поглощению в колебательно-вращательных спектрах.

Поглощение двухатомных молекул в метастабильных электронных состояниях.

Поглощение молекулярными ионами.

Актинометрические методы.

Отрицательные ионы.

Измерение концентраций. Поглощение света ионами  $H^-$  в водородной ЛТР плазме.

**Лазерные абсорбционные методы измерения плотности возбужденных атомов. Нестационарные когерентные эффекты, связанные с прохождением сверхкоротких лазерных импульсов через плазму (самоиндуцированная прозрачность, фотонное эхо).** Все прямые методы поглощения лазерного излучения основаны на выполнении закона Бугера-Берра-Ламберта. При высокой интенсивности излучение может изменять условия равновесия исследуемой системы, перераспределять заселенности уровней частиц. Другим важным свойством излучения является – когерентность – согласованность нескольких периодических процессов. Согласованы они могут быть в пространстве или во времени, таким образом, возникает вопрос о временной и пространственной когерентности. Взаимодействие когерентного излучения с веществом приводит к многочисленным нелинейным эффектам (квантовые биения, фотонное эхо, самоиндуцированная прозрачность, сверхизлучение и др.).

**Спектроскопические методы измерения плотности электронов и их температуры. Метод относительных интенсивностей спектральных линий и спектральной линии к прилегающему континууму.**

Точное измерение абсолютных интенсивностей спектральных линий связано с большими экспериментальными трудностями. Кроме того, во многих случаях известны только относительные значения вероятностей переходов. В основу метода измерения температуры плазмы, разработанного Л.С. Орнштейном, положено спектроскопическое определение температуры по измерениям относительных интенсивностей спектральных линий. Это дает возможность избежать измерения абсолютных значений и не требует знания абсолютных величин концентраций атомов или ионов. Суть метода состоит в следующем. Рассматриваются две спектральные линии, возникающие при переходе между

возбужденными уровнями  $k_i$  и  $l_m$  одного сорта частиц (атомов, ионов данной кратности и т. д.).

**Метод измерения температуры электронов по спектральной зависимости рекомбинационного и тормозного континуумов.**

Определение параметров электронной компоненты по спектрам тормозного и рекомбинационного континуумов основано на том, что сечение процессов, приводящих к излучению сплошного спектра зависят от скорости свободных электронов, а интенсивность – от концентрации заряженных частиц. Для нахождения концентрации электронов следует измерять абсолютные интенсивности, для определения температуры электронов их частотные зависимости.

### **Модуль 3**

#### **Спектральные методы**

**Тема 6. Спектральные методы определения электрических и магнитных полей в плазме.**

Измерения электрических полей по спонтанному излучению атомов в плазме.

Водородоподобные атомы.

Неводородоподобные атомы.

Лазерная штарковская спектроскопия.

Штарковская спектроскопия атомов.

ЛИФ полярных молекул в электрическом поле.

Многофотонное возбуждении атомов.

Когерентная штарковская спектроскопия четырехволнового рассеяния. Исследования магнитных полей.

Измерения, основанные на эффекте Фарадея. Спектральные методы.

### **Тема 7. Определение параметров свободных электронов плазмы.**

Интерферометрия.

Штарковское уширение спектральных линий.

Плазменные микрополя.

Линейный эффект Штарка.

Квадратичный эффект Штарка.

Обрыв спектральных серий водородоподобных атомов.

Интенсивности в непрерывном спектре.

Рассеяние света на электронах

Рассеяние на электронах, движущихся случайно (томсоновское рассеяние).

Области проявления томсоновского и коллективного рассеяний.

Спектр рассеяния и плазменные параметры (прямая задача).

Определение плазменных параметров по спектрам рассеяния (обратная задача).

Ограничения метода, чувствительность, примеры.

Измерения интенсивностей в линейчатых и полосатых спектрах.

## **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 деловой ситуации из практического опыта отечественных и зарубежных исследований;
- 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. Предусмотрены также встречи и мастер-классы специалистов.

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах					
Методы	Формы	Лекции (час)	Практические /семинарские Занятия (час)	СРС (час)	Всего
Работа в команде	решение задач		2		2
«Мозговой штурм» (атака)	опрос студентов, решение задач		2		2
Дискуссия	лекция	4			4
Работа в группах	решение задач контрольная работа		2		2
Выступление в роли обучающего,	Лекция		1		1
Итого интерактивных занятий		4	7		11

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

Для теоретического и практического усвоения дисциплины большое значение имеет самостоятельная работа студентов, она осуществляется студентами индивидуально и под руководством преподавателя.

Самостоятельная работа по дисциплине, предусмотренная учебным планом в объеме 74 часа, направлена на более глубокое усвоение изучаемого курса, формирование навыков исследовательской работы и ориентирование студентов на умение применять теоретические знания на практике.

Основными видами самостоятельной работы студентов в рамках освоения дисциплины «Спектроскопия плазмы» выступают следующие:

- 1) проработка учебного материала;
- 2) работа с электронными источниками;
- 3) выполнение кейс-заданий и решение задач;
- 4) обработка аналитических данных;
- 6) подготовка докладов к участию в тематических дискуссиях;
- 7) работа с тестами и вопросами;
- 8) написание рефератов;

Виды и формы контроля самостоятельной работы студентов в рамках освоения дисциплины «Спектроскопия плазмы»

Разделы дисциплины	Виды самостоятельной работы (и ссылки на литературу <sup>1</sup> )	Количество часов	Форма контроля
Основные понятия и параметры, связанные с описанием излучения, поглощения и рассеяния света плазмой.	проработка учебного материала, работа с электронными источниками, решение задач, выполнение кейс-заданий, обработка аналитических данных, подготовка докладов к участию в тематических дискуссиях, работа с тестами и вопросами, написание рефератов. (1,2,3,4,7,8,9, 11,12, 16,17)	8	Тестирование, дискуссия, опрос, проверка домашнего задания, обсуждение докладов, защита рефератов
Плазма как объект спектроскопии. Общие понятия.	проработка учебного материала, работа с электронными источниками, решение задач, выполнение кейс-заданий, обработка аналитических данных, подготовка докладов к участию в тематических дискуссиях, работа с тестами и вопросами, написание рефератов. (1,2,3,4,7,8,9, 11,12,16,17)	8	Тестирование дискуссия, опрос, проверка домашнего задания, обсуждение докладов, защита рефератов
Методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных энергетических состояниях	проработка учебного материала, работа с электронными источникам, решение задач, выполнение кейс-заданий, выполнение рефератов и докладов, работа с отчетностью, обработка аналитических данных, подготовка докладов к участию в тематических дискуссиях, работа с тестами (1,2,3,5,6,13,14,16,17, 21,22)	8	Тестирование, дискуссия, опрос, проверка домашнего задания, обсуждение докладов, защита рефератов
Интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных степенях свободы атомов и молекул	проработка учебного материала, решение задач, выполнение кейс-заданий, выполнение рефератов и докладов, работа с бухгалтерской отчетностью, обработка аналитических данных, подготовка докладов к участию в тематических дискуссиях, работа с тестами и вопросами, написание рефератов. (1,2,3,11,13,14,15,16,17,18, 21,22)	12	Тестирование, дискуссия, опрос, проверка домашнего задания, презентация и обсуждение докладов, защита рефератов
Измерение концентраций атомов и молекул	Проработка учебной и периодической литературы по выбранной теме, работа с электронными источниками, составление аналитических таблиц, работа фактическим материалом, расчетно-исследовательская работа, формирование выводов и предложений (1-22)	13	Проверка содержания и соответствия предъявляемым требованиям, защита работы,
Спектральные методы определения электрических и магнитных полей в плазме	проработка учебного материала, решение задач, выполнение кейс-заданий, выполнение рефератов и докладов, работа с бухгалтерской отчетностью, обработка аналитических данных, подготовка докладов к	12	Тестирование дискуссия, опрос, проверка домашнего задания,

<sup>1</sup> Дается ссылка на учебно-методическую литературу, указанную в п. 8.

	участию в тематических дискуссиях, работа с тестами и вопросами, написание рефератов. (1,2,3,11,13,14,15,16,17,18, 21,22)		обсуждение докладов, защита рефератов
Определение параметров свободных электронов плазмы	Проработка учебной и периодической литературы по выбранной теме, работа с электронными источниками, составление аналитических таблиц, работа фактическим материалом, расчетно-исследовательская работа, формирование выводов и предложений (1-22)	13	Тестирование дискуссия, опрос, проверка домашнего задания, обсуждение докладов, защита рефератов
Итого		74	

Написание реферата используется в учебном процессе с целью развития у студентов умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов. С помощью рефератов студент глубже изучает разделы и темы дисциплины, учится логически мыслить, оформлять, докладывать, презентовать и защищать результаты самостоятельно проведенного научного исследования.

Процесс подготовки, написания и защиты реферата включает:

- выбор темы;
- подбор специальной литературы и иных источников, их изучение;
- составление плана;
- написание и оформление текста (5-15 машинописных страниц);
- подготовка тезисов доклада (на 7-10 минут);
- устное изложение в виде доклада, в том числе виде презентации.

Выбор темы реферата осуществляется в соответствии с предложенной преподавателем тематикой. В отдельных случаях студент может выбрать для своего реферата тему в соответствии с направлением его НИР.

Материал в реферате располагается в следующей последовательности:

- титульный лист;
- план работы;
- введение;
- текст работы (разбитый на разделы);
- заключение
- список литературы.

Содержание реферата студент докладывает на практическом занятии, заседании научного кружка, научно-практической конференции. На основе обсуждения студенту выставляется соответствующий балл за СРС.

### **Примерная тематика рефератов по модулям и темам дисциплины**

#### **1. Энергетические спектры атомов**

Энергетические спектры атомов. Состояния и квантовые числа связанных электронов в атоме. Электронные конфигурации и термы основных состояний атомов.

Уровни энергии и спектры атомных частиц. Спектры простых и сложных атомов. Правила отбора для изменения состояний излучающего атома.

#### **2. Энергетические спектры молекул**

Энергетические спектры молекул. Потенциалы взаимодействия атомных частиц. Квантовые числа двухатомной молекулы. Электронные конфигурации двухатомных молекул. Потенциальные кривые двухатомных молекул и ионов. Электронно-колебательно-вращательные спектры молекул и молекулярных ионов.

**3. Излучательные свойства низкотемпературной плазмы**

Типы радиационных переходов. Непрерывное излучение плазмы. Излучение спектральных линий: интенсивности, контур и ширина. Характерные спектры излучения атомарной и молекулярной плазмы. Перенос излучения в плазме. Оптическая толщина. Реабсорбция излучения. Уравнение переноса излучения Бибермана-Холстейна и его решения.

**4. Основы количественной спектроскопии плазмы**

Основы фотометрии и измерение спектральных интенсивностей. Спектральная аппаратура и приемники излучения. Эталоны длин волн и спектральной плотности излучения. Современный спектроскопический эксперимент.

**5. Методы спектральной диагностики равновесной и неравновесной низкотемпературной плазмы**

Абсолютные интенсивности спектральных линий, континуума, молекулярных полос. Контурные спектральных линий (СЛ). Самообращение контуров СЛ. Методы спектрального определения параметров атомарной и молекулярной плазмы. Особенности спектральной диагностики неравновесной и нестационарной плазмы. Нелинейные оптические эффекты.

Диэлектрическая проницаемость и критическая плотность плазмы.

**6. Краткие основы физики лазеров**

Оптические резонаторы и его моды. Спонтанное и вынужденное излучение. Инверсия населенности. Принцип работы лазера. Механизмы и способы создания активной среды лазеров. Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров. Взаимодействие лазерного излучения с веществом.

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

**7.1. Типовые контрольные задания**

**Тестовые задания по дисциплине «Спектроскопия плазмы»**

Энергетический спектр атома может быть задан с помощью вполне определенного набора внутренних характеристик атома – его квантовых чисел. К данному набору чисел относятся:

- А) главное квантовое число, орбитальное квантовое число, спиновое квантовое число;
- Б) главное квантовое число, орбитальное квантовое число и магнитный момент атома;
- В) главное квантовое число, орбитальное квантовое число, мультиплетность атома, определяемая спиновым квантовым числом и внутреннее квантовое число.



**2. Основные разделы современной спектроскопии подразделены на:**

А) Эмиссионная спектроскопия, основанная на методах излучения, штарковская спектроскопия, спектроскопия поглощения;

Б) Эмиссионная спектроскопия, спектроскопия поглощения, спектроскопия рассеяния (томсоновского, комбинационного и т.д.);

В) Спектроскопия поглощения, абсорбционная спектроскопия.

**3. Под спектральной линией понимается:**

А) Определенная часть спектра;

Б) Участок спектра, отвечающий переходу между связанными состояниями частиц;

В) Линия определенной частоты, длины волны.

**4. Доплеровское уширение спектральной линии обусловлено:**

А) Естественным затуханием излучения;

Б) Движением излучающей частицы;

В) Взаимодействием излучающих частиц.

**5. Уширение спектральной линии, обусловленное совместным действием естественного, доплеровского и столкновительного уширения называется:**

А) Штарковским уширением;

Б) уширением за счет эффекта Зеемана;

В) Фойхтовским уширением.

**6. Одним из наиболее распространенных методов определения сил осцилляторов спектральных линий атомов, суть которого заключается во введении компенсационной пластинки в интерферометр, за счет чего вблизи линии поглощения интерференционные полосы принимают характерную форму является :**

А) метод поглощения;

Б) метод лучеиспускания;

В) метод крюков Рождественского.

**7. Какое обстоятельство, не связанное с ограничениями по условиям равновесия в плазме лежит в основе методов поглощения**

А) Измерение поглощения света, прошедшего через однородный объект, дает, при известной вероятности перехода, абсолютную величину разности заселенностей уровней, связанных переходов;

Б) В основе метода поглощения лежит определение коэффициента поглощения, измерение которого не имеет ограничений.

**8. Величина полного поглощения, определяемая для того, чтобы связать измеряемое экспериментально поглощение с заселенностями уровней определяется формулой: А)**

$$A_G = \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot \Delta\theta$$
$$A = \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\ln 2}} \cdot \Delta\theta_d$$

Б)

$$A = \Delta\nu \cdot \frac{\Phi_l}{\Phi_0} \quad G = \Delta\nu \cdot \frac{\int_{\nu_1}^{\nu_2} f_0(\nu) d\nu - \int_{\nu_1}^{\nu_2} f_l(\nu) d\nu}{\int_{\nu_1}^{\nu_2} f_0(\nu) d\nu}$$

**9. Какие классические методы определения сил осцилляторов и концентрации атомов по самопоглощению излучения известны на сегодняшний день:**

А) Метод двух трубок, метод одного плоского зеркала за трубкой, метод различных длин; Б) Метод двух трубок, метод одного плоского зеркала за трубкой, метод двух зеркал с трубкой между ними, метод различных длин;

В) Метод абсорбционной спектроскопии, метод усиления излучения.

**10. Каковы преимущества лазерных источников излучения перед классическими в прямых измерениях поглощения:**

А) Только большая мощность и узкая диаграмма направленности лазерного излучения; Б) Большая мощность и узкая диаграмма направленности, возможность получения более узких спектральных полос излучения, возможность перестройки излучения;

В) Сочетание высокой интенсивности и пространственно-временной когерентности лазерного излучения.

**11. В каком случае взаимодействия лазерного излучения с веществом плазмы нарушается закон Бера-Бугера-Ламберта:**

А) Если проходящее через плазменную среду лазерное излучение имеет длину когерентности намного меньше межатомного расстояния;

Б) Если проходящее через плазменную среду лазерное излучение имеет длину когерентности больше межатомного расстояния;

В) Закон Бера- Бугера – Ламберта не нарушается не при каких обстоятельствах.

## **Вопросы к экзамену**

### **Модуль 1. Введение в спектроскопию плазмы**

#### **Тема 1. Введение в спектроскопию плазмы.**

Понятие энергетического спектра атомов. Основные характеристики спектра, квантовые числа. Основные моменты атомов. Понятие мультиплетности. Типы связи между моментами. Отличительные особенности нормальной LS - связи, промежуточной, JJ – связи. Понятие разрешенных и запрещенных переходов между атомами. Основные правила отбора для оптически -разрешенных переходов. Времена жизни атомов в возбужденных состояниях и методы их определения. Естественное расширение уровней энергии. Понятие ширины спектральной линии.

Спонтанные и вынужденные переходы между квантовыми состояниями атома. Понятие вероятности для спонтанного перехода. Время жизни возбужденных состояний, как характеристика устойчивости возбужденного состояния. Связь времени жизни атомов в возбужденном состоянии с естественной шириной спектральной линии. Соотношение между естественной шириной спектральной линии и естественным расширением уровней энергии. Методы определения времени жизни атомов в возбужденном состоянии. Основные фотометрические характеристики спектральной линии конечной ширины. Спектральные и интегральные фотометрические характеристики спектральной линии конечной ширины. Спектральный и интегральный поток излучения, яркость, светимость источника излучения. Единицы измерения основных фотометрических величин в различных системах.

Контур спектральной линии. Классическая и квантовая теория естественного уширения спектральных линий. Виды уширения спектральных линий: естественное, доплеровское уширение. **Тема 2. Плазма, как объект спектроскопии.**

Равновесная плазма.

Основные уравнения.

Излучение плазмы.

Связь излучения с элементарными процессами, происходящими в ней. Излучение равновесной плазмы.

### **Тема 3. Методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных энергетических состояниях**

Эмиссионные методы. Идентификация спектров. Абсолютные измерения. Излучение протяжных неоднородных источников.

Методы поглощения с использованием классических излучателей: поглощение на фоне сплошного спектра, линейчатое поглощение, самопоглощение мультиплетных линий.

Различные методы поглощения: поглощение на фоне сплошного спектра, линейчатое поглощение, самопоглощение мультиплетных линий.

Спектроскопия поглощения с частотно - перестраиваемыми и широкополосными лазерами. Непрямые методы регистрации поглощения лазерного излучения. Индуцированная флуоресценция и опто-гальваническая спектроскопия.

### **Модуль 2 Исследования спектров**

#### **Тема 4. Интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных степенях свободы атомов и молекул**

Контур спектральной линии. Классическая и квантовая теория естественного уширения спектральных линий. Виды уширения спектральных линий: естественное, доплеровское уширение.

Поглощение и излучение спектральных линий. Описание излучения и поглощения с помощью вероятностей перехода. Интенсивность спектральных линий.

Определение вероятностей перехода по излучению и поглощению спектральных линий: ( Методы поглощения, крюков Рождественского, испускания и комбинированные методы).

Интенсивность спектральных линий. Влияние самопоглощения на интенсивность спектральных линий.

Возбуждение и релаксация атомов и молекул с неравно-неравновесной скоростью при взаимодействиях с тяжелыми частицами.

Измерение температуры газа по доплеровскому уширению линий атомов и молекул, возбуждаемых электронами

Спектроскопические проявления движения ионов в плазме.

Распределения молекул по вращательным уровням.

О выделении больцмановских ансамблей в системе связанных состояний частиц. Распределения молекул по вращательным уровням в электронном состоянии с большим временем жизни.

Возбуждение электронно-электронно-колебательно-вращательных (ЭКВ) уровней молекул электронным ударом.

Возбуждение ЭКВ уровней тяжелыми частицами.

Об измерении газовой температуры при наличии параллельных каналов возбуждения вращений молекул.

Интенсивности в колебательной структуре спектров и распределения молекул по колебательным уровням.

Элементы колебательной кинетики, энергия и температура колебаний.

Измерения колебательных температур и распределений методами спектроскопии поглощения.

Эмиссионные методы в ИК области.

Комбинации методов излучения и поглощения, обращение спектра.

Комбинационное рассеяние.

Измерения колебательных температур молекул в основных электронных состояниях по спектрам электронных переходов.

Распределение частиц по электронным уровням.

**Тема 5. Измерение концентраций атомов и молекул**

Определение концентраций атомов методами поглощения.

Нейтральные невозбужденные атомы.

Метастабильные атомы.

Положительные ионы малой кратности.

Определение концентраций молекул методом поглощения.

Вероятности оптических переходов двухатомных молекул.

Измерение концентраций двухатомных молекул по поглощению на линиях электронного спектра.

Измерения по поглощению в колебательно-вращательных спектрах.

Поглощение двухатомных молекул в метастабильных электронных состояниях.

Поглощение молекулярными ионами.

Актинометрические методы.

Отрицательные ионы.

Измерение концентраций.

Поглощение света ионами  $H^-$  в водородной ЛТР плазме.

Лазерные абсорбционные методы измерения плотности возбужденных атомов. Нестационарные когерентные эффекты, связанные с прохождением сверхкоротких лазерных импульсов через плазму (самоиндуцированная прозрачность, фотонное эхо). Спектроскопические методы измерения плотности электронов и их температуры. Метод относительных интенсивностей спектральных линий и спектральной линии к прилегающему континууму.

Метод измерения температуры электронов по спектральной зависимости рекомбинационного и тормозного континуумов.

**Модуль 3 Спектральные методы**

**Тема 6. Спектральные методы определения электрических и магнитных полей в плазме.**

Измерения электрических полей по спонтанному излучению атомов в плазме.

Водородоподобные атомы.

Неводородоподобные атомы.

Лазерная штарковская спектроскопия.

Штарковская спектроскопия атомов.

ЛИФ полярных молекул в электрическом поле.

Многофотонное возбуждении атомов.

Когерентная штарковская спектроскопия четырехволнового рассеяния.

Исследования магнитных полей.

Измерения, основанные на эффекте Фарадея.

Спектральные методы.

**Тема 7. Определение параметров свободных электронов плазмы.**

Интерферометрия.

Штарковское уширение спектральных линий.

Плазменные микрополя.

Линейный эффект Штарка.

Квадратичный эффект Штарка.

Обрыв спектральных серий водородоподобных атомов.

Интенсивности в непрерывном спектре.  
Рассеяние света на электронах  
Рассеяние на электронах, движущихся случайно (томсоновское рассеяние).  
Области проявления томсоновского и коллективного рассеяний.  
Спектр рассеяния и плазменные параметры (прямая задача).  
Определение плазменных параметров по спектрам рассеяния (обратная задача).  
Ограничения метода, чувствительность, примеры.  
Измерения интенсивностей в линейчатых и полосатых спектрах.

**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%. Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий,
- участие на практических занятиях,
- выполнение лабораторных заданий,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос,
- письменная контрольная работа,
- тестирование.

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

**а) адрес сайта курса:**

1.Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучения: [база данных] /Даг. гос. ун-т. – г. Махачкала. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун- та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/> (дата обращения 1.03.2022).

**б) основная:**

1. Очкин В.Н. Спектроскопия низкотемпературной плазмы. М.:Физматлит, 2006 г.
3. Спектроскопия газоразрядной плазмы. \ \ Сб. ст. под ред. С.Э. Фриша. Л.1970 г. Грим Г. Спектроскопия плазмы. М.1972 г.
4. Филимонова Н.И. Методы электронной спектроскопии [Электронный ресурс]:учебное пособие/ Филимонова Н.И., Величко А.А., Фадеева Н.Е.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016.— 68 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69546.html>
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука.2009 г.
6. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. М.: Наука 2010 г.

**в) дополнительная:**

7. Методы исследования плазмы. Под ред. Лохте-Хольтгревена. М.: Мир. 1971г.
8. Оптика и спектроскопия. <https://journals.ioffe.ru/journals/5>.
9. Журнал прикладной спектроскопии. <http://imaph.bas-net.by/JAS/rus/>
10. Лазерная физика. <https://www.lasphys.com/lasphys/>

## **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 ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
7. **Scopus** издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>
8. **Wiley Online Library**  
Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2022 г. <https://onlinelibrary.wiley.com/>
9. **Международное издательство Springer Nature**  
Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>
10. **Журналы American Physical Society**  
Базы данных APS (American Physical Society). Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2022 г. <http://journals.aps.org/about>
11. Журналы Royal Society of Chemistry  
База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>
12. Журнал Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>
13. Единое окно <http://window.edu.ru/>  
(интернет ресурс)
14. Дагестанский региональный ресурсный центр <http://rrc.dgu.ru/>
15. Нэикон <http://archive.neicon.ru/>

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

В основе оценки знаний по дисциплине лежат следующие основные требования:

- освоение всех разделов теоретического курса программы;
- умение применять полученные знания к решению конкретных задач.

Ответ заслуживает *отличной оценки*, если экзаменуемый показывает знания, в полной степени, отвечающие предъявляемым к ответу требованиям: это требование основных понятий и приемов решения задач. Отличная оценка характеризует свободную ориентацию экзаменуемого в предмете. Ответы на вопросы, в том числе и дополнительные, должны обнаруживать уверенное владение терминологией, основными умениями и навыками.

*Хорошая оценка* характеризует тот ответ, который не в полной степени удовлетворяет вышеперечисленным критериям, однако, экзаменуемый обнаруживает прочные знания в объеме курса. Ответ должен быть достаточно аргументирован, вопросы глубоко и осмысленно изложены.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется за то, что ответ экзаменуемого соотносится с основными требованиями, т.е. имеются в виду твердые знания в объеме учебной программы и умение владеть терминологией. Удовлетворительная оценка выставляется за знание в целом, однако, отдельные детали могут быть упущены.

*Неудовлетворительная оценка* выставляется, если ответ не удовлетворяет хотя бы одному из требований или отсутствуют знания основных понятий и методов решения задач.

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

При подготовке к практическим занятиям, а также при написании рефератов могут использоваться поисковые сайты сети «Интернет», информационно-справочная система, а также Интернет-ресурсы, перечисленные в разделе 9 данной программы.

Кроме того, может использоваться учебный курс, размещенный на платформе Moodle ДГУ, <http://moodle.dgu.ru/> (автор-разработчик Омарова Н.О.) и другие учебные курсы, размещенные на указанной платформе, а также учебные материалы, размещенные на образовательном блоге Омаровой Н.О.

Для проведения индивидуальных консультаций может использоваться также электронная почта.

Программное обеспечение: Microsoft Windows 7, Microsoft Word используется для создания текстовых файлов (рефератов, курсовых, выпускных квалификационных работ); Microsoft Excel 2007 для составления аналитических таблиц и расчета показателей; Power Point – для создания презентаций, визуального сопровождения докладов, Microsoft Internet Explorer – в целях поиска информации для самостоятельной работы.

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

Лекционный зал на 50-60 человек, стандартная учебная аудитория для группы на 20-25 чел, мультимедиа проектор, ноутбук, доска, наглядные пособия, специализированная мебель: столы, стулья.