



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

*Физический факультет*  
*Кафедра физической электроники*

**Рабочая программа дисциплины**  
**«ОПТИЧЕСКИЕ И ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ**  
**ПЛАЗМЫ»**

**по специальности: 1.3.5. Физическая электроника**

Уровень образования: подготовка научных и научно-педагогических кадров в  
аспирантуре

Махачкала 2023

Рабочая программа по дисциплине оптические и лазерные методы диагностики плазмы составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. №951. Научная специальность **1.3.5. Физическая электроника**.


Разработчик (и): кафедра физической электроники, д.ф.-м.н., профессор Н.А. Ашурбеков 

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании Совета физического факультета от «31» марта 2023 г.,  
протокол № 7.

Декан  В.С. Курбанисмаилов

на заседании Методической комиссии физического факультета  
«3» июня 2023 г., протокол № 7.

Председатель  Ж.Х. Мурлиева

Рабочая программа согласована с Управлением аспирантуры и докторантуры «30» 03 2023 г.  Э.Т. Рамазанова

## **Аннотация**

Содержание дисциплины оптические и лазерные методы диагностики плазмы охватывает круг вопросов, связанных с углубленным изучением современных проблем оптической и лазерной диагностики нестационарной и неравновесной газоразрядной плазмы, развитию междисциплинарных подходов исследования свойств вещества на примере ионизованных газов и газоразрядной плазмы.

### **1. Цели и задачи изучения дисциплины**

Цель изучения дисциплины оптические и лазерные методы диагностики плазмы – подготовка аспирантов к профессиональной деятельности в сфере науки оптической и лазерной диагностики нестационарной и неравновесной газоразрядной плазмы, высшего профессионального образования и в высокотехнологичных отраслях промышленности, создающих инновационную продукцию на уровне современных международных стандартов.

**Задачи дисциплины:** изучение основ теории оптического излучения атомов, ионов и молекул;

- изучение механизмов уширения спектральных линий атомов в плазме и формирования контуров спектральных линий;
- изучение оптических методов диагностики плазмы по ее собственному излучению;
- изучение методов диагностики плазмы путем зондирования внешним оптическим (лазерным излучением);
- формирование у аспирантов современных представлений об оптических и лазерных методах диагностики плазмы, теоретических и экспериментальных методов исследования оптических свойств плазмы.

В результате изучения дисциплины аспирант должен усвоить:

- основы теории вероятностей оптических переходов в атомах и ионах;
- связь оптических показателей плазмы с концентрациями электронов, возбужденных атомов и температурой электронов плазмы;
- экспериментальные методы диагностики плазмы по ее собственному излучению и путем зондирования плазмы внешним оптическим излучением.

### **2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Дисциплина оптические и лазерные методы диагностики плазмы относится к Образовательному компоненту «Дисциплины (модуля) по выбору 1 (ДВ.1)» программы аспирантуры по специальности: 1.3.5. Физическая электроника.

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

В результате освоения программы подготовки научных и научнопедагогических кадров в аспирантуре, обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине (модулю):

Результаты освоения ОП	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
------------------------	---

<p>Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основные методы научно-исследовательской работы.</li> <li>• Методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах, критически оценивать научную информацию.</li> <li>• Анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать результаты реализации этих вариантов;</li> <li>• При решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</li> <li>• Навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</li> </ul>
<p>Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации.</li> <li>• Современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-графические методы исследования.</li> </ul> <p>Владеть:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.</li> <li>• Навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов.</li> <li>• Навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности.</li> </ul>
<p>Способностью к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов, обработке и интерпретации полученных результатов, а так же обосновывать принятое техническое решение, оценивать возможные последствия его внедрения.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</li> <li>• физические основы технологии функциональных наноматериалов;</li> <li>• Методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики и технологии наноматериалов;</li> <li>• Нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР.</li> <li>• Требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики и технологии функциональных наноматериалов;</li> <li>• Использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по физике технологии наноматериалов;</li> <li>• Пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями формирования наноматериалов.</li> <li>• Представлять научные результаты по теме диссертации в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях.</li> <li>• Готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в выбранной сфере научной деятельности.</li> <li>• Представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес сообществу.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методикой и теоретическими</li> </ul>

	<p>основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики и технологии наноматериалов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Экспресс анализом и диагностическими методами исследования наноматериалов;</li> <li>• Методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики и технологии функциональных наноматериалов.</li> <li>• Знаниями по разделам физики, необходимым для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.</li> <li>• Методами планирования, подготовки проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по специальности диссертационной работы.</li> <li>• Навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение НИР и проектных работ по специальности диссертационной работы.</li> </ul>
--	---

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

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость в часах				Самостоятельная раб.	Формы текущего контроля успеваемости и Форма промежуточной аттестации
				Лекции	Практич. занятия	Лаборат. занятия	Котр. самост. раб		
<b>Модуль 1</b>									
1	Введение. Процессы оптического излучения и поглощения в атомах и молекулах. Времена жизни атомов в возбужденных состояниях и методы их определения (метод атомного и ионного пучков, пучка - пленки, задержанных	5	1,2	2				14	

	совпадений, двойного резонанса, пересечения уровней). Вероятности электронных переходов в атомах. Силы осцилляторов. Спектральное распределение сил осцилляторов. Методы расчета вероятностей электронных переходов. Эффективные времена жизни атомов в возбужденных состояниях. Пленение излучения.								
2	Оптическое излучение плазмы. Излучение плазмы в состояниях равновесия, локального термодинамического равновесия, неравновесных условиях. Связь оптического излучения плазмы с элементарными процессами, происходящими в ней. Уширение спектральных линий в плазме. Допплеровский, столкновительный и штарковский механизмы уширения. Теория механизмов уширения. Контур спектральных линий в плазме. Спектроскопические методы определения концентраций возбужденных атомов в плазме. Связь коэффициентов поглощения с концентрацией поглощающих частиц. Влияние тонкой структуры на оптические спектры поглощения плазмы. Времяразрешенные лазерные абсорбционные методы диагностики концентраций возбужденных атомов в плазме. Методы внутривибронной лазерной спектроскопии.	5	3-5	2		5		13	
	Рубежная контрольная работа								Контр. работа
	<i>Итого по модулю 1: 36ч.</i>			<b>4</b>		<b>5</b>		<b>27</b>	

**Модуль 2. Оптические и лазерные методы диагностики плазмы**

3	<p>Методы скоростной фоторегистрации быстропротекающих процессов в плазме. Интенсивность спектральных линий атомов и ионов. Уравнение баланса атомов, возбуждённых на данный энергетический уровень. Методы покадровой съёмки. Скоростные фоторегистраторы. Электронно-оптические преобразователи. Определение динамики формы разряда по данным скоростной фотографии. Цифровые системы фоторегистрации с пространственным разрешением.</p>	5	5,6	1				14	
4	<p>Показатель преломления плазмы. Применение метода рефракции Типичные схемы оптических интерферометров для диагностики плазмы. Основные принципы лазерной интерферометрии. Метод крюков Рождественского. Голографическая лазерная интерферометрия плазмы. Определение температуры по относительным интенсивностям спектральных линий. Определение температуры по относительным интенсивностям линейчатого и сплошного спектров. Определение температуры по непрерывному спектру.</p>	5	7-9	1		5		10	
5	<p>Методы комбинационного рассеяния света Спонтанное комбинационное рассеяние. Вынужденное комбинационное рассеяние. Активная спектроскопия комбинационного рассеяния.</p>			2				3	



Интенсивность сигнала в КАРС – спектроскопии. Типичная схема экспериментальной установки для активной спектроскопии плазмы. Оптическая поляризационная спектроскопия. Теоретические основы анизотропии процессов электронного возбуждения атомов и молекул. Связь анизотропии функции распределения электронов с поляризацией спонтанного излучения плазмы.								
Рубежная контрольная работа								Контр. работа
<i>Итого по модулю 2: 36ч.</i>			<b>4</b>		<b>5</b>		<b>27</b>	
<b>Итого: 72 часов</b>			<b>8</b>		<b>10</b>		<b>54</b>	<b>зачет</b>

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

##### **Модуль 1. Оптические свойства плазмы.**

**Тема 1.** Процессы оптического излучения и поглощения в атомах и молекулах. Времена жизни атомов в возбужденных состояниях и методы их определения (метод атомного и ионного пучков, пучка-пленки, задержанных совпадений, двойного резонанса, пересечения уровней). Вероятности электронных переходов в атомах. Силы осцилляторов. Спектральное распределение сил осцилляторов. Методы расчета вероятностей электронных переходов. Эффективные времена жизни атомов в возбужденных состояниях. Пленение излучения.

**Тема 2.** Оптическое излучение плазмы. Излучение плазмы в состояниях равновесия, локального термодинамического равновесия, неравновесных условиях. Связь оптического излучения плазмы с элементарными процессами, происходящими в ней. Уширение спектральных линий в плазме. Допплеровский, столкновительный и штарковский механизмы уширения. Теория механизмов уширения. Контура спектральных линий в плазме.

Спектроскопические методы определения концентраций возбужденных атомов в плазме. Связь коэффициентов поглощения с концентрацией поглощающих частиц. Влияние тонкой структуры на оптические спектры поглощения плазмы. Времяразрешенные лазерные абсорбционные методы диагностики концентраций возбужденных атомов в плазме. Методы внутривибрационной лазерной спектроскопии.

##### **Модуль 2. Оптические и лазерные методы диагностики плазмы**

**Тема 4.** Методы скоростной фоторегистрации быстропротекающих процессов в плазме. Интенсивность спектральных линий атомов и ионов. Уравнение баланса атомов, возбужденных на данный энергетический

уровень. Методы покадровой съёмки. Скоростные фоторегистраторы. Электронно-оптические преобразователи. Определение динамики формы разряда по данным скоростной фотографии. Цифровые системы фоторегистрации с пространственным разрешением.

Интерферометрические методы диагностики плазмы. Показатель преломления плазмы. Применение метода рефракции Типичные схемы оптических интерферометров для диагностики плазмы. Основные принципы лазерной интерферометрии. Метод крюков Рождественского. Голографическая лазерная интерферометрия плазмы

Спектроскопические методы определения температуры электронов в плазме Определение температуры по относительным интенсивностям спектральных линий Определение температуры по относительным интенсивностям линейчатого и сплошного спектров. Определение температуры по непрерывному спектру

**Тема 5.** Методы комбинационного рассеяния света Спонтанное комбинационное рассеяние. Вынужденное комбинационное рассеяние. Активная спектроскопия комбинационного рассеяния. Интенсивность сигнала в КАРС – спектроскопии. Типичная схема экспериментальной установки для активной спектроскопии плазмы.

Оптическая поляризационная спектроскопия Теоретические основы анизотропии процессов электронного возбуждения атомов и молекул. Связь анизотропии функции распределения электронов с поляризацией спонтанного излучения плазмы.

## **5. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации обучающегося**

*Тематика заданий текущего контроля и устного опроса обучающихся:*

1. Вероятности электронных переходов в атомах и силы осцилляторов.
2. Методы расчета вероятностей электронных переходов. Правила отбора для оптический переходов.
3. Показатель преломления плазмы.
4. Оптический коэффициент поглощения плазмы.
5. Механизмы уширения спектральных линий в плазме.
6. Связь оптического коэффициента поглощения плазмы с концентрацией возбужденный атомов.
7. Лазерные абсорбционные методы диагностики плазмы.
8. Внутррезонаторные лазерные методы диагностики плазмы.
9. Интерферометрические методы диагностики плазмы.
10. Методы скоростной фоторегистрации быстропротекающих процессов в плазме.
11. Оптические методы определения электронной температуры плазмы.

## 12. Методы комбинационного рассеяния света.

### ***Вопросы для оценки качества освоения дисциплины***

1. Времена жизни атомов в возбужденных состояниях и методы их определения (метод атомного и ионного пучков, пучка-пленки, задержанных совпадений, двойного резонанса, пересечения уровней).
2. Вероятности электронных переходов в атомах. Силы осцилляторов. Спектральное распределение сил осцилляторов. Методы расчета вероятностей электронных переходов. Эффективные времена жизни атомов в возбужденных состояниях. Пленение излучения.
3. Излучение плазмы в состояниях равновесия, локального термодинамического равновесия, неравновесных условиях. Связь оптического излучения плазмы с элементарными процессами, происходящими в ней.
4. Уширение спектральных линий в плазме. Допплеровский, столкновительный и штарковский механизмы уширения. Теория механизмов уширения. Контура спектральных линий в плазме.
5. Связь коэффициентов поглощения с концентрацией поглощающих частиц. Влияние тонкой структуры на оптические спектры поглощения плазмы.
6. Времяразрешенные лазерные абсорбционные методы диагностики концентраций возбужденных атомов в плазме. Методы внутрирезонаторной лазерной спектроскопии.
7. Методы скоростной фоторегистрации быстропротекающих процессов в плазме.
8. Интерферометрические методы диагностики плазмы. Основные принципы лазерной интерферометрии.
9. Метод крюков Рождественского. Голографическая лазерная интерферометрия плазмы.
10. Определение температуры по относительным интенсивностям спектральных линий.
11. Определение температуры по относительным интенсивностям линейчатого и сплошного спектров.
12. Определение температуры по непрерывному спектру.
13. Спонтанное комбинационное рассеяние. Вынужденное комбинационное рассеяние.
14. Активная спектроскопия комбинационного рассеяния. Интенсивность сигнала в КАРС – спектроскопии.

15. Типичная схема экспериментальной установки для активной спектроскопии плазмы.
16. Оптическая поляризационная спектроскопия. Теоретические основы анизотропии процессов электронного возбуждения атомов и молекул.
17. Связь анизотропии функции распределения электронов с поляризацией спонтанного излучения плазмы.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Основная литература**

1. Очкин, В. Н. Спектроскопия низкотемпературной плазмы / В. Н. Очкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Физматлит, 2010. – 591 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68803> (дата обращения: 23.02.2023). – ISBN 978-5-9221-1172-0. – Текст: электронный.
2. Велигоша, А. В. Приборы СВЧ и оптического диапазона: учебное пособие / А. В. Велигоша; Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2014. – 203 с.: ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457773> (дата обращения: 23.02.2023). – Библиогр. в кн. – Текст: электронный.
3. Жданов, В. М. Процессы переноса в многокомпонентной плазме / В. М. Жданов. – Москва: Физматлит, 2009. – 278 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68575> (дата обращения: 23.02.2023). – ISBN 978-5-9221-1052-5. – Текст: электронный.
4. Грим, Г. Уширение спектральных линий в плазме [Текст] / Перевод с англ. С.Я. Бронина и В.С. Зродникова; под ред. [и с предисл.] Г.А. Кобзева и Г.В. Шолина. – Москва: Мир, 1978. – 491 с.
- 5.