

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "27" апреля 2022 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины  
Методы лазерной спектроскопии**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Программа аспирантуры  
**Лазерная физика**

Научная специальность  
**1.3.19 Лазерная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2022 год

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Методы лазерной спектроскопии» относится к числу элективных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

**Цель дисциплины** – ознакомление с методами лазерной спектроскопии.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**знать:**

- основы теории спектральных приборов и их устройств; основные определения и понятия классической спектроскопии; причины ограничения пороговой чувствительности методов; принципы методов двойного резонанса;
- принципы бездоплеровской спектроскопии;
- основные методы, применяемые в современных системах абсорбционной, люминесцентной, акустооптической спектроскопии, ограниченной доплеровским уширением;
- тенденции использования полупроводниковых лазеров в современных системах инфракрасного диапазона;
- современную приборную и элементную базу, используемую в лазерной спектроскопии и системах анализа спектральных данных;

**уметь:**

- пользоваться основными типами оптических спектральных анализаторов;
- проводить анализ оптических систем обработки спектральных данных;
- применять методы расчета основных характеристик приборов спектрального анализа.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Введение. Использование лазерных источников в спектральном анализе	4	2				2	2
Внутрирезонаторная спектроскопия	16	8				8	8

Оптогальваническая и ионизационная спектроскопия	12	6				6	6
Оптикоакустический метод	12	6				6	6
Флуоресцентная спектроскопия	12	6				6	6
Методы двойного резонанса	8	4				4	4
Бездоплеровская спектроскопия	8	4				4	4
<b>Промежуточная аттестация</b>	зачет						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>36</b>				<b>36</b>	<b>36</b>

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Содержание раздела</b>	<b>Форма проведения занятия</b>	<b>Форма текущего контроля</b>
1.	Введение. Использование лазерных источников в спектральном анализе	Основные процессы преобразования поглощенной энергии при резонансном возбуждении вещества. Принципы основных методов лазерной спектроскопии. Сравнение областей применения и основные характеристики методов.	лекции	Контрольные вопросы по теме
2.	Внутрирезонаторная спектроскопия	Широкополосные лазерные среды. Лазеры на красителях. Диэлектрические среды на примесных ионах. Лазерные диоды. Межмодовая конкуренция. Одномодовый и многомодовый режим генерации. Зависимость выходной мощности от селективных потерь. Чувствительность ВРЛС в импульсном режиме генерации лазера. Влияние добротности резонатора. Формирование ВРЛ спектра. Временная зависимость ВР поглощения. Расчет абсорбционных потерь. Влияние разрешающей способности регистрирующей аппаратуры на чувствительность метода. Использование схемы скрещенных дисперсий монохроматора и интерферометра в методе ВРЛС. Ограничение пороговой чувствительности ВР-спектрометра. Особенности использования полупроводниковых лазеров в абсорбционной	лекции	Контрольные вопросы по теме

		спектроскопии.		
3.	Оптогальваническая и ионизационная спектроскопия	Спектроскопия возбужденных состояний. Ступенчатое возбуждение. Спектроскопия ридберговских состояний. Исследование диссоциативных возбужденных состояний молекул.	лекции	Контрольные вопросы по теме
4.	Оптико-акустический метод	История развития метода. Преимущества использования когерентных источников возбуждения. Формирование оптико-акустического сигнала. Форма ОАС при различных способах возбуждения: импульсного, модуляционного. Конструкция спектрофона	лекции	Контрольные вопросы по теме
5.	Флуоресцентная спектроскопия	Лазерная индуцированная флуоресценция. Молекулярная спектроскопия с использованием лазерной индуцированной флуоресценции. Измерения распределения молекул по энергетическим состояниям.	лекции	Контрольные вопросы по теме
6.	Методы двойного резонанса	Двойной оптический резонанс. Преимущество метода по сравнению с лазерно-индуцированной флуоресценцией. Радиооптический резонанс. Оптическая накачка. Микроволновой-инфракрасный двойной резонанс. Двойной оптический резонанс.	лекции	Контрольные вопросы по теме
7.	Бездоплеровская спектроскопия	Многофотонная спектроскопия. Вероятность двухфотонных переходов. Профили линий двухфотонных переходов. Бездоплеровское двухфотонное поглощение.	лекции	Контрольные вопросы по теме

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

Текущий контроль самостоятельной работы обучающихся осуществляется путем проверки ответов на контрольные вопросы по темам.

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета. Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и

последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ.

## **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

### **5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

#### ***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета***

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризующий оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

### **5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине**

Типовые контрольные вопросы для текущего контроля по темам:

Тема 1.

1. Перечислить основные методы лазерной спектроскопии.
2. Экспериментальные методы определения вероятностей переходов.

Тема 2.

1. Влияние поглощающего внутрирезонаторного элемента на характеристики лазерной генерации.
2. Вид спектра излучения лазера с внутрирезонаторным селективным элементом.

3. Влияние разрешающей способности регистрирующей аппаратуры на чувствительность метода внутрирезонаторной спектроскопии.

Тема 3.

1. Как реализуется механизм многофотонного возбуждения?

2. Многофотонная ионизационная спектроскопия.

3. Преимущества спектроскопии на основе лазерно-индуцированной флуоресценции

Тема 4.

1. Область применения оптико-акустической спектроскопии.

2. Принцип действия спектрофона с емкостным микрофоном.

Тема 5.

1. Отличительные особенности флуоресцентной спектроскопической системы.

2. В каких случаях для исследования спектров используется флуоресцентный метод?

Тема 6.

1. Зондирование уровней методом двойного резонанса.

2. Спектральное разрешение систем двойного резонанса.

Тема 7.

1. Преимущества КАРС-спектроскопии над традиционным абсорбционным методом.

2. Какие факторы ограничивают чувствительность анализа в двухфотонной спектроскопии?

Типовые контрольные вопросы для зачета:

1. Физические процессы релаксации возбуждения атомов, молекул среды .

2. Основные методы линейной лазерной спектроскопии.

3. Широкополосные лазерные среды. Органические красители. Диэлектрические кристаллы и стекла на примесных ионах. Лазерные диоды.

4. Источники когерентного излучения, перестраиваемые по частоте.

5. Межмодовая конкуренция в лазерах с неоднородно уширенной линией усиления.

6. Зависимость выходной мощности от селективных потерь.

7. Чувствительность ВРЛС в импульсном режиме генерации.

8. Временная зависимость ВР поглощения.

9. Расчет абсорбционных потерь.

10. Регистрация ВР спектров.

11. Регистрация ВР сигнала оптогальваническим методом.

12. Особенности использования лазерных диодов в абсорбционной спектроскопии.

13. Чувствительность флуоресцентного метода.

14. Методы регистрации сигналов флуоресценции.

15. Флуоресцентная спектроскопия молекул.

16. Классификация калориметрических методов спектроскопии .

17. Формирования оптоакустического сигнала.
18. Основные характеристики лазерных спектрофонов: чувствительность, спектральное, временное, пространственное разрешение и др.
19. Методы устранения фоновых сигналов.
20. Спектроскопия возбужденных состояний.
21. Межконфигурационные переходы ионов редкоземельных элементов.
22. Метод двойного радиооптического резонанса.
23. Вероятность многофотонных переходов. Бездоплеровская двухфотонная спектроскопия.

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

а) Основная литература:

- 1.
3. Фаррар Т. «Импульсная и Фурье-спектроскопия». М.: «Мир», 1974г. – 164 с.

б) Дополнительная литература:

1. Знаменский Н.В., Малюкин Ю.В. «Спектры и динамика оптических переходов редкоземельных ионов в кристаллах» М.: «Физматлит». 2008г. – 192 с. - <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109475.html>
2. Евсеев И.В., Рубцова Н.Н., Самарцев В.В. «Когерентные переходные процессы в оптике» М.: «Физматлит», 2009г. – 536 с. - <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111997.html>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор к.ф.-м.н. доцент А.П. Савикин

Рецензент к.ф.-м.н. доцент С.Б. Бодров

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор М.И. Бакунов

Программа одобрена на заседании Центра исследования науки и развития аспирантского образования (на правах кафедры) Института аспирантуры и докторантуры от 24 января 2022г., протокол №10.