

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

\_\_\_\_\_ В.В. Матросов

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Методы лазерной спектроскопии**

Направление подготовки  
***03.06.01 "Физика и астрономия"***

Направленность подготовки  
***01.04.21 "Лазерная физика"***

Квалификация выпускника  
***Исследователь. Преподаватель-исследователь***

Форма обучения  
***Очная***

Нижний Новгород  
2021

## 1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Методы лазерной спектроскопии» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 4 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в рамках изучения курсов «Электродинамика», «Квантовая радиофизика», «Методы радиофизических измерений» и «Статистическая радиофизика».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)

**Таблица 1**

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ПК-1</i> (базовый этап)	<p>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.</p> <p>УМЕТЬ: пользоваться основными типами оптических спектральных анализаторов; проводить анализ оптических систем обработки спектральных данных.</p>
<i>ПК-2</i> (базовый этап)	<p>ЗНАТЬ: 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.</p> <p>УМЕТЬ: применять методы расчета основных характеристик приборов спектрального анализа.</p>

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов - занятия лекционного типа

и 18 часов - занятия семинарского типа (семинары и научно-практические занятия)), 72 часа 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	6	1	1			2	4
Внутрирезонаторная спектроскопия	20	4	4			8	12
Оптогальваническая и ионизационная спектроскопия	18	3	3			6	12
Оптикоакустический метод	18	3	3			6	12
Флуоресцентная спектроскопия	18	3	3			6	12
Методы двойного резонанса	12	2	2			4	8
Бездоплеровская спектроскопия	12	2	2			4	8
Аттестация по дисциплине - ЗАЧЕТ	4						4
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>18</b>			<b>36</b>	<b>72</b>

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
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.	занятия лекционного типа, занятия семинарского типа	Контрольные вопросы по теме
2.	Внутрирезонаторная	Широкополосные лазерные среды. Лазеры на красителях. Диэлектрические среды на примесных ионах. Лазерные диоды.	занятия лекционного типа,	Контрольные вопросы по

	спектроскопия	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 спектроскопии.	занятия семинарского типа	теме
3.	Оптогальваническая и ионизационная спектроскопия	Спектроскопия возбужденных состояний. Ступенчатое возбуждение. Спектроскопия ридберговских состояний. Исследование диссоциативных возбужденных состояний молекул.	занятия лекционного типа, занятия семинарского типа	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	занятия лекционного типа, занятия семинарского типа	Контрольные вопросы по теме
5.	Флуоресцентная спектроскопия	Лазерная индуцированная флуоресценция. Молекулярная спектроскопия с использованием лазерной индуцированной флуоресценции. Измерения распределения молекул по энергетическим состояниям.	занятия лекционного типа, занятия семинарского типа	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.	занятия лекционного типа, занятия семинарского типа	Контрольные вопросы по теме
7.	Бездоплеровская спектроскопия	Многофотонная спектроскопия. Вероятность двухфотонных переходов. Профили линий двухфотонных переходов. Бездоплеровское	занятия лекционного типа,	Контрольные вопросы по

		двухфотонное поглощение.	занятия семинарского типа	теме
--	--	--------------------------	---------------------------------	------

#### 4. Образовательные технологии

При обучении указанной дисциплины предусмотрено использование наглядной демонстрации оптических спектроскопических систем, имеющихся в научных лабораториях кафедры квантовой радиофизики и лазерных систем.

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

Самостоятельная работа обучающегося предполагает работу, сопровождающую лекционный материал, с рекомендованной литературой и проработку контрольных вопросов (см. ниже):

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?

#### 6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования**

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

## **6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания**

Предусмотрена форма аттестации обучающихся в форме зачета в конце семестра. Зачет проводится в форме тестирования знаний и умений обучающегося на основе программы курса и контрольных вопросов (п.6.3). Положительное оценивание знаний и умений обучающегося производится при демонстрации им соответствующих знаний и умений в соответствии с критериями компетенций, приведенными в п.6.1., а также на основе решения обучающимся практических задач и модельных ситуаций, предложенных преподавателем в процессе тестирования.

## **6.3. Примеры типовых контрольных заданий и вопросов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.**

1. Физические процессы релаксации возбуждения атомов, молекул среды (ПК-1).
2. Основные методы линейной лазерной спектроскопии (ПК-1).
3. Широкополосные лазерные среды. Органические красители. Диэлектрические кристаллы и стекла на примесных ионах. Лазерные диоды (ПК-1).
4. Источники когерентного излучения, перестраиваемые по частоте (ПК-2).
5. Межмодовая конкуренция в лазерах с неоднородно уширенной линией усиления (ПК-1).
6. Зависимость выходной мощности от селективных потерь (ПК-1).
7. Чувствительность ВРЛС в импульсном режиме генерации (ПК-1).
8. Временная зависимость ВР поглощения (ПК-1).
9. Расчет абсорбционных потерь (ПК-1).
10. Регистрация ВР спектров (ПК-1).
11. Регистрация ВР сигнала оптогальваническим методом (ПК-2).
12. Особенности использования лазерных диодов в абсорбционной спектроскопии (ПК-1).
13. Чувствительность флуоресцентного метода (ПК-1).
14. Методы регистрации сигналов флуоресценции (ПК-2).
15. Флуоресцентная спектроскопия молекул (ПК-1).
16. Классификация калориметрических методов спектроскопии (ПК-1).
17. Формирования оптоакустического сигнала (ПК-1).
18. Основные характеристики лазерных спектрофонов: чувствительность, спектральное, временное, пространственное разрешение и др. (ПК-2)
19. Методы устранения фоновых сигналов (ПК-1).
20. Спектроскопия возбужденных состояний (ПК-2).
21. Межконфигурационные переходы ионов редкоземельных элементов (ПК-1).
22. Метод двойного радиооптического резонанса (ПК-1).
23. Вероятность многофотонных переходов. Бездоплеровская двухфотонная спектроскопия (ПК-1)

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

### **а) основная литература:**

1. Кремерс Д.А., Радziemски Л.Д. «Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия» М.: «Техносфера», 2009г. – 360 с.
2. Демтредер В. Лазерная спектроскопия: Основные принципы и техника эксперимента. М. Наука, 1985, 608 стр.
3. Беккер Ю. «Спектроскопия». М.: «Техносфера», 2009г. – 528 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.
2. Евсеев И.В., Рубцова Н.Н., Самарцев В.В. «Когерентные переходные процессы в оптике» М.: «Физматлит», 2009г. – 536 с.
3. Параметры спектральных линий газовых молекулярных соединений, полученных из различных источников (банки данных [HITRAN](http://hitran.org) и [GEISA](http://geisa.org)) - <http://spectra.iao.ru/1280x795/ru/home/>

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

- научные лаборатории кафедры квантовой радиофизики и лазерных систем;
- аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор \_\_\_\_\_ Савикин А.П.

Рецензент \_\_\_\_\_ Бодров С.Б.

Заведующий кафедрой общей физики \_\_\_\_\_ Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от \_\_\_\_\_ 2021 года, протокол № \_\_\_\_.

## Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

**ПК-1 Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы**

Тип КОМПЕТЕНЦИИ: Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

**ЗНАТЬ:** базовые разделы высшей математики, теоретической и лазерной физики.

**УМЕТЬ:** проводить основные математические преобразования, пользоваться основными измерительными приборами.

**ВЛАДЕТЬ:** базовым уровнем английского языка, навыками программирования и использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> Основные концепции современной лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных концепциях лазерной физики	Неполные представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные систематические представления об основных концепциях лазерной физики
<b>УМЕТЬ:</b> Работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но не систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Успешное и систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но не систематическое применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	Успешное и систематическое владение современными теоретическими и экспериментальными методами исследований
<b>ВЛАДЕТЬ:</b>	Отсутствие	Фрагментарное применение	В целом успешное, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое



Навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке	навыков	навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	систематическое применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	отдельные пробелы применения навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	владение навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке
---	---------	--	---	---	--

**ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики**

Тип КОМПЕТЕНЦИИ: Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

**ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ**

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

**ЗНАТЬ:** основы лазерной физики.

**УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.

**ВЛАДЕТЬ:** базовым уровнем английского языка, навыками использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b>  Современное состояние исследований в области лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Неполные представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики	Сформированные систематические представления о современном состоянии исследований в области лазерной физики
<b>УМЕТЬ:</b>  Определять наиболее актуальные направления исследований	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но не систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять наиболее актуальные направления исследований	Успешное и систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований
<b>ВЛАДЕТЬ:</b>  Навыками формулирования задач для членов исследовательской	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков формулирования задач для членов исследовательской	В целом успешное, но не систематическое применение навыков формулирования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков формулирования задач для членов	Успешное и систематическое владение навыками формулирования задач для членов исследовательской

группы		ой группы	задач для членов исследовательско й группы	исследовательской группы	группы
--------	--	-----------	--	-----------------------------	--------