

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Лазерная спектроскопия

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 Лазерная спектроскопия относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1: Знание основных принципов в методах лазерной спектроскопии. Умение и навыки использования базовых знаний в области лазерной спектроскопии в профессиональной деятельности. Владение опытом использования фундаментальных разделов физики и радиофизики, в том числе – прикладной оптики, при решении научно-исследовательских задач</p> <p>ПК-1.2: Знание основных принципов в методах лазерной спектроскопии. Умение и навыки использования базовых знаний в области лазерной спектроскопии в профессиональной деятельности. Владение опытом использования фундаментальных разделов физики и радиофизики, в том числе – прикладной оптики, при решении научно-исследовательских задач</p>	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен выполнять	ПК-2.1: Анализирует современное состояние	ПК-2.1: Знание основных	Задачи	

<p>теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>возможностей современного оборудования для решения научных задач лазерной спектроскопии, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в этой области.</p> <p>Умение и навыки использования современного оборудования, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в области лазерной спектроскопии.</p> <p>Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области лазерной спектроскопии</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач лазерной спектроскопии, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в этой области.</p> <p>Умение и навыки использования современного оборудования, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в области лазерной спектроскопии.</p> <p>Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области лазерной спектроскопии</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач лазерной спектроскопии, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в этой области.</p> <p>Умение и навыки использования современного оборудования, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в области лазерной спектроскопии.</p>		<p>Экзамен: Контрольные вопросы</p>
--	---	---	--	---

		<p>Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области лазерной спектроскопии</p> <p>ПК-2.4: Знание основных возможностей современного оборудования для решения научных задач лазерной спектроскопии, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в этой области.</p> <p>Умение и навыки использования современного оборудования, а также новейшего отечественного и зарубежного опыта в области лазерной спектроскопии.</p> <p>Готовность самостоятельно ставить и решать научные задачи в области лазерной спектроскопии</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	29
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем),	Самостоятельная работа

		часы из них			обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы	Всего	
Тема 1. Введение. Цели лазерной спектроскопии. Классификация методов лазерной спектроскопии	4	2		2	2
Тема 2. Лазерная абсорбционная спектроскопия. Узкополосные перестраиваемые лазеры.	11	6		6	5
Тема 3. Метод тепловой линзы.	4	2		2	2
Тема 4. Конденсация спектра лазерного излучения	4	2		2	2
Тема 5. Спектральные измерения лазерных сред	8	4		4	4
Тема 6. Люминесцентный метод лазерной спектроскопии. Стоксова и антистоксова люминесценция.	8	4		4	4
Тема 7. Дистанционная лазерная спектроскопия	8	4		4	4
Тема 8. Модуляционная лазерная спектроскопия.	8	4		4	4
Тема 9. Лазерная ультрамикроскопия.	6	4		4	2
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

Содержание разделов и тем дисциплины

В процессе изучения дисциплины используется основная образовательная технология: проблемный метод изложения материала с наглядной демонстрацией изучаемых систем с помощью мультимедийных средств обучения. Лекционный материал дополняется наглядной демонстрацией оптико-измерительных систем и их элементов на базе оборудования научно-исследовательских лабораторий кафедры.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- 1) разбор лекционного материала,
- 2) изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,

3) подготовка к аттестации

Текущий контроль усвоения моделей и понятий проводится путем проведения опросов непосредственно в процессе изложения материала

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Задачи лазерной спектроскопии.
2. Закон Бугера-Ламберта-Бера для атомарных газов.
3. Однородное уширение спектральных линий. Естественная ширина. Столкновительное уширение.
4. Принцип Франка-Кондона при электронно- колебательных переходах в молекулах.
5. Стоксов сдвиг между спектрами поглощения и люминесценции.
6. Основные методы осуществления перестройки лазерного излучения.
7. Штарковская структура энергетических уровней ионов в лазерных кристаллах на примере Nd^{3+} в кристалле YAG.
8. Причины уширения спектральных полос ионов группы железа и РЗЭ.
9. Почему образец (твёрдое тело, газовая ячейка, кювета с жидкостью) при поглощении излучения может проявлять свойства линзы?
10. Какие параметры оказывают влияние на величину оптической силы тепловой линзы?
11. Квантовый выход люминесценции. Энергетический выход люминесценции.
12. Излучательная и безызлучательная релаксация.
13. Причины молекулярного рассеяния света.
14. На каком принципе основан метод лазерной ультрамикроскопии частиц?
15. Балансные уравнения с периодически меняющейся добротностью резонатора.
16. На чём основан метод дифференциального поглощения и рассеяния?

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Принципы основных методов лазерной спектроскопии.

2. Спектральный и интегральный показатели поглощения.
3. Колебательно-вращательная структура электронных переходов молекул. Р и R ветви вращательных полос.
4. Правила отбора для электронных, колебательных, вращательных переходов в двухатомных молекулах.
5. Перестраиваемые диодные лазеры. Основные характеристики.
6. Преобразование частоты лазерного излучения в нелинейных средах.
7. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий примесных ионов в кристаллах и стёклах.
8. Фототермический метод измерения поглощения среды.
9. Люминесценция, фосфоресценция и замедленная люминесценция молекул.
10. Механизмы возбуждения анти стоксовой люминесценции.
11. Спектры комбинационного рассеяния. Структура молекул. Энергия фононов твёрдого тела. Измерение малых количеств вещества и распознавание вещества.
12. Цели метода лазерной ультрамикроскопии.
13. Методика регистрации частиц в стёклах и в растворах.
14. Угловое распределение рассеянного света. Зависимость от поляризации.
15. Влияние слабых переменных внутрирезонаторных потерь на усиление лазерной среды.
16. Области применения методов дистанционной лазерной спектроскопии.
17. Использование комбинационного рассеяния света в лидарах.
18. Достижения в области дистанционной лазерной спектроскопии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	<p>Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна</p>

Оценка	Критерии оценивания
	компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых	При решении стандартных	Имеется минимальн	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы	Продемонстрированы

навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	задач не продемонстриро ваны базовые навыки. Имели место грубые ошибки	ый набор навыков для решения стандартны х задач с некоторым и недочетами	базовые навыки при решении стандартны х задач с некоторым и недочетами	базовые навыки при решении стандартны х задач без ошибок и недочетов	навыки при решении нестандарт ных задач без ошибок и недочетов	творческий подход к решению нестандартны х задач
--	---	--	---	--	---	--

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Объяснить основные процессы преобразования поглощённой энергии при резонансном возбуждении вещества.
2. Вероятности переходов в атомах. Интенсивность спектральных линий.
3. Однородное уширение спектральных линий. Естественная ширина. Столкновительное уширение.
4. Конфигурационная диаграмма энергетических уровней молекулы.
5. Объяснить причину стоксова сдвига между спектрами поглощения и люминесценции.

6. В чём состоит преимущество использования узкополосных перестраиваемых лазеров в абсорбционной спектроскопии?
7. Лазеры с дисперсионными резонаторами.
8. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий примесных ионов в кристаллах и стёклах.
9. Объяснить спектральные характеристики иона Cr^{3+} в кристаллах Al_2O_3 , YAG, BeAl_2O_4 , GSGG.
10. Почему образец (твёрдое тело, газовая ячейка, кювета с жидкостью) при поглощении излучения может проявлять свойства линзы?

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Выражение для оценки величины оптической силы тепловой линзы.
2. Объяснить причину формирования селективной линзы в газовом разряде.
3. Анализ устойчивости резонатора с поперечной неоднородностью показателя преломления селективно поглощающей среды.
4. Как экспериментально можно определить квантовый выход люминесценции?
5. Как можно найти вероятность интеркомбинационной конверсии?
6. На примере ионов Er^{3+} объяснить процесс визуализации 1-мкм излучения.
7. Объяснить причину увеличения антистоксовой люминесценции донор-акцепторных пар.
8. Цели метода лазерной ультрамикроскопии.
9. На каком принципе основан метод лазерной ультрамикроскопии частиц?
10. Балансные уравнения с периодически меняющейся добротностью резонатора.
11. Сделать анализ мощности, регистрируемой приёмником лидара.
12. Как определить интегральную и локальную концентрации газа в атмосфере?
13. Источники когерентного излучения в методе ДПР. Преимущества и недостатки.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим

Оценка	Критерии оценивания
	компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Лазерная спектроскопия атомов и молекул / под ред. Г. Вальтера ; пер. с англ. под ред. В. С. Летохова. - М. : Мир, 1979. - 432 с. : ил. - (Проблемы прикладной физики). - 4.20., 3 экз.
2. Савикин Александр Павлович. Синтез керамических образцов ZBLAN: Ho³⁺ и ZBLAN: Ho³⁺ – Yb³⁺ и исследование антистоксовой люминесценции : учебно-методическое пособие / А. П. Савикин, И. А. Гришин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2016. - 18 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=823787&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Савикин А. П. Синтез керамических образцов ZBLAN: Ho³⁺ и ZBLAN: Ho³⁺ – Yb³⁺ и исследование антистоксовой люминесценции : учебно-методическое пособие / Савикин А. П., Гришин И. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. - 19 с. - Рекомендовано методической комиссией химического факультета для магистрантов химического и радиофизического факультетов, обучающихся по направлениям подготовки 04.04.01 «Химия», 18.04.01 «Химическая технология», «Радиофизика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на

сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Химия., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730022&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

А.А.Андронов, Н.Г.Захаров, А.В.Маругин, А.П.Савикин «Новые источники и приемники ИК и терагерцового диапазона» // Учебно-методическое пособие. Н.Новгород, ННГУ, 2007, 95с.
https://elibrary.ru/download/elibrary_29082695_80673348.pdf

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Савикин Александр Павлович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Маругин Алексей Валентинович, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.