

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**

Спектроскопия лазерных кристаллов БЗ.ДВ.2

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая радиофизика и квантовая электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Марисов М.А.

**Рецензент(ы):**

Мухамедшин И.Р.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 642614

Казань

2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) техник-проектировщик Марисов М.А. НИЛ магнитной радиоспектроскопии и квантовой электроники им. С.А. Альтшулера Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Mikhail.Marisov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины (модуля) "Спектроскопия лазерных кристаллов" являются овладение знаниями об основах физики конденсированных лазерных материалов, а именно: а) усвоение принципов и методов оптической спектроскопии лазерных кристаллов, б) особенностей формирования кристаллической структуры и оптических центров, в) их спектрально-люминесцентных характеристик, г) свойств наиболее популярных твердотельных лазерных материалов и актуальным направлениям их применения.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б3.ДВ.2 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Курс "Спектроскопия лазерных кристаллов" предваряет курс "Основы физических процессов в оптических квантовых генераторах", "Квантовая радиофизика" и специальный практикум квантовой радиофизике.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
пк-1	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
пк-2	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки
пк-3	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования
пк-4	способностью использовать основные методы радиофизических измерений
пк-6	способностью к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники
ок-10	способностью самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ок-11	способностью собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным, научным, социальным и этическим проблемам
ок-3	способностью к постановке цели и выбору путей ее достижения, настойчивость в достижении цели
ок-4	способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ок-6	способностью работать самостоятельно и в коллективе, руководить людьми и подчиняться

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- основы физики конденсированных лазерных материалов принципы и методы оптической спектроскопии лазерных кристаллов;
- особенности формирования кристаллической структуры и оптических центров,
- роль спектрально-люминесцентные характеристик в процессах, имеющих место в твердотельных лазерах и усилителях света
- свойства наиболее популярных твердотельных лазерных материалов

2. должен уметь:

- обосновать использование того или иного метода спектроскопического эксперимента для получения знаний о характеристиках исследуемого вещества или явления
- объяснить физические принципы работы твердотельных лазеров с различными кристаллическими активными средами и рассказать о сферах их использования.

3. должен владеть:

теоретическими знаниями основных законов кристаллохимии и взаимодействия излучения с веществом

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Тема 1. Спектроскопия. Цели и основные задачи						

спектроскопии

8

1

2

0

0

устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Тема 2. Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения	8	2	2	0	0	устный опрос
3.	Тема 3. Тема 3. Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) и актиноидов	8	3-4	4	0	0	устный опрос
4.	Тема 4. Тема 4. Характеристики спектров активированных кристаллов	8	5	2	0	0	устный опрос
5.	Тема 5. Тема 5. Лазерные среды, активированные ионами Nd <sup>3+</sup>	8	6	2	0	0	презентация
6.	Тема 6. Тема 6. Лазерные среды, активированные ионами Er <sup>3+</sup>	8	7	2	0	0	презентация
7.	Тема 7. Тема 7. Лазерные среды, активированные ионами Yb <sup>3+</sup>	8	8	2	0	0	презентация
8.	Тема 8. Тема 8. Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами Tm <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> , Er <sup>3+</sup> и Dy <sup>3+</sup> )	8	9	2	0	0	презентация
9.	Тема 9. Тема 9. Лазерные среды, активированные ионами Cr <sup>3+</sup>	8	10	2	0	0	презентация
10.	Тема 10. Тема 10. Лазерные среды, активированные ионами Ti <sup>3+</sup>	8	11	2	0	0	презентация
11.	Тема 11. Тема 11. Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона	8	12	2	0	0	презентация

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
12.	Тема 12. Тема 12. Нелинейные лазерные кристаллы	8	13	2	0	0	презентация
13.	Тема 13. Тема 13. Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)	8	14	2	0	0	презентация
14.	Тема 14. Тема 14. Полупроводниковые кристаллические лазерные среды	8	15	2	0	0	презентация
15.	Тема 15. Тема 15. Волоконные активные среды	8	16	2	0	0	презентация
16.	Тема 16. Тема 16. Кристаллические активные среды на центрах окраски	8	17	2	0	0	презентация
17.	Тема 17. Тема 17. Фотонные кристаллы	8	18	2	0	0	презентация
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	зачет
	Итого			36	0	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Тема 1. Спектроскопия. Цели и основные задачи спектроскопии

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Спектроскопия. Цели и основные задачи спектроскопии. Основные задачи оптической спектроскопии лазерных кристаллов. Три основных направления спектроскопических исследований активированных кристаллов. Прямая и обратная задача спектроскопии

### Тема 2. Тема 2. Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения (Зонная структура (диэлектрики, полупроводники) и диапазон прозрачности симметрия кристаллов (двулучепреломление), фотохимическая (радиационная устойчивость), физические параметры кристаллических и аморфных материалов (теплопроводность, константы теплового расширения и пр.), требования к активаторам и к активируемым матрицам). Методы синтеза неактивированных и активированных кристаллов, керамик и стёкл (фазовые диаграммы, законы активации: изоморфизм, правила Гольдшмидта, Вегарда, Ретгерса, полярности; изовалентная и гетеровалентная активация; закон Галивера-Пфанна и коэффициенты распределения активаторной примеси и т.п.)

### **Тема 3. Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) и актиноидов**

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) и актиноидов (электронная структура и валентные состояния; Энергетические уровни свободных ионов и ионов в твердых телах (мультиплеты, правило Гунда, диаграммы Дики -Кроссвайта и Сугано-Танабе, отличия между РЗИ и ионами группы железа, понятие о кристаллическом поле, Штарковская структура уровней РЗИ)

### **Тема 4. Характеристики спектров активированных кристаллов**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Характерные черты оптических спектров кристаллов, активированных ионами группы железа и редкоземельными ионами. Спектры ионов неодима в парамагнитных кристаллах Электронные и электронно-колебательные спектры активаторов в кристаллах принцип Франка-Кондона, правило Стокса и стоксов сдвиг Полуфеноменологическая теория Эйнштейна (коэффициенты Эйнштейна и их связь с измеряемыми спектроскопическими параметрами, время жизни возбужденных состояний, сечения вынужденных переходов, безызлучательные переходы, квантовый выход люминесценции) Передача энергии возбуждения между активаторными ионами (тушение и сенсбилизация люминесценции, кросс-релаксационные и апконверсионные процессы, миграция энергии и концентрационное тушение люминесценции)

### **Тема 5. Лазерные среды, активированные ионами Nd<sup>3+</sup>**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Схема энергетических уровней и лазерные переходы ионов Nd<sup>3+</sup> в кристаллах и стеклах (четырёх и квазитрёх уровневые схемы лазерной генерации) Кристаллохимические особенности синтеза, физические, спектроскопические и лазерные характеристики кристаллов иттрий-алюминиевого граната Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YAG), иттрий-алюминиевого перовскита (YAIO<sub>3</sub>), YVO<sub>4</sub> и LiYF<sub>4</sub> (YLF), активированные ионами Nd<sup>3+</sup> (спектры поглощения и люминесценции, квантовый выход люминесценции и оптимальные концентрации активаторов в различных матрицах, коэффициенты ветвления, способы накачки этих кристаллов, КПД генерации, температурная перестройка длины волны излучения)

### **Тема 6. Лазерные среды, активированные ионами Er<sup>3+</sup>**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лазерные среды, активированные ионами Er<sup>3+</sup>. Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации в ИК и видимом диапазонах, способы накачки и характеристики лазерной генерации). Перспективы Er-активированных лазерных материалов.

### **Тема 7. Лазерные среды, активированные ионами Yb<sup>3+</sup>**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лазерные среды, активированные ионами Yb<sup>3+</sup> Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации, способы накачки и характеристики лазерной генерации).

### **Тема 8. Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами Tm<sup>3+</sup>, Ho<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> и Dy<sup>3+</sup>)**

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**



Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами  $Tm^{3+}$ ,  $Ho^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  и  $Dy^{3+}$ ). Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации в ИК и видимом диапазонах, способы накачки и характеристики лазерной генерации).

#### **Тема 9. Тема 9. Лазерные среды, активированные ионами $Cr^{3+}$**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лазерные среды, активированные ионами  $Cr^{3+}$ . Спектроскопические и лазерные характеристики кристаллов рубина, форстерита,  $BeAl_2O_4$ ,  $LiCaAlF_6$ ,  $LiSrAlF_6$  и  $KZnF_3$ , активированных ионами  $Cr^{3+}$ .

#### **Тема 10. Тема 10. Лазерные среды, активированные ионами $Ti^{3+}$**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лазерные среды, активированные ионами  $Ti^{3+}$ . Спектроскопические и лазерные характеристики  $Ti^{3+}$  в кристаллах сапфира. Применения и перспективы

#### **Тема 11. Тема 11. Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона. Схема энергетических уровней и лазерные переходы (отличие межконфигурационных переходов от переходов между состояниями внутри одной и той же электронной конфигурации, проблемы получения генерации в УФ области спектра, существующие активные среды). Применения и перспективы

#### **Тема 12. Тема 12. Нелинейные лазерные кристаллы**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Нелинейные лазерные кристаллы. Эффект генерации второй гармоники в нелинейном кристалле (нелинейные восприимчивости, синхронизм). Активированные нелинейные кристаллы и эффект самоумножения частоты лазерной генерации.

#### **Тема 13. Тема 13. Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Явление комбинационного рассеяния и ВКР. Твердотельные ВКР-преобразователи лазерного излучения. Активированные среды совмещенные с ВКР преобразователем.

#### **Тема 14. Тема 14. Полупроводниковые кристаллические лазерные среды**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Полупроводниковые кристаллические лазерные среды Зонная структура полупроводниковых кристаллов (примесные уровни, уровень Ферми-Дирака). Переходы, вызывающие испускание фотона. Методы создания инверсной населенности, явления оптического усиления и лазерной генерации. Принципы работы инжекционных лазеров, Гетероструктурированные кристаллические материалы для полупроводниковых лазеров.

#### **Тема 15. Тема 15. Волоконные активные среды**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Волоконные активные среды Принципы функционирования ( $Er$ -,  $Yb$ - и рамановских сред, особенности осуществления накачки ) Материалы для волоконных сред и их характеристики (область и ширина полосы усиления, эффективность (КПД)?) Компоненты и конструкция волоконных лазеров Применения и перспективы (волоконно-оптические линии связи, обработка материалов)

#### **Тема 16. Тема 16. Кристаллические активные среды на центрах окраски**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Кристаллические активные среды на центрах окраски а) Типы центров окраски и материалы б) Способы создания центров окраски в) Уровни энергии, спектроскопические, фотохимические и иные свойства г) Лазерные характеристики активных материалов на центрах окраски д) Применения и перспективы

#### **Тема 17. Тема 17. Фотонные кристаллы**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Фотонные кристаллы а) Что такое фотонный кристалл? Его основные свойства. б) Зоны в фотонных кристаллах и их оптические проявления в) Современные методы изготовления фотонных кристаллов г) Усиление света на фотонных кристаллах и лазерная генерация д) Применения и перспективы

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Тема 1. Спектроскопия. Цели и основные задачи спектроскопии	8	1	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Тема 2. Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения	8	2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Тема 3. Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) и актиноидов	8	3-4	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
4.	Тема 4. Тема 4. Характеристики спектров активированных кристаллов	8	5	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
5.	Тема 5. Тема 5. Лазерные среды, активированные ионами Nd <sup>3+</sup>	8	6	подготовка к презентации	2	презентация
6.	Тема 6. Тема 6. Лазерные среды, активированные ионами Er <sup>3+</sup>	8	7	подготовка к презентации	2	презентация
7.	Тема 7. Тема 7. Лазерные среды, активированные ионами Yb <sup>3+</sup>	8	8	подготовка к презентации	2	презентация
8.	Тема 8. Тема 8. Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами Tm <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> , Er <sup>3+</sup> и Dy <sup>3+</sup> )	8	9	подготовка к презентации	2	презентация

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
9.	Тема 9. Тема 9. Лазерные среды, активированные ионами Cr <sup>3+</sup>	8	10	подготовка к презентации	2	презентация
10.	Тема 10. Тема 10. Лазерные среды, активированные ионами Ti <sup>3+</sup>	8	11	подготовка к презентации	2	презентация
11.	Тема 11. Тема 11. Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона	8	12	подготовка к презентации	2	презентация
12.	Тема 12. Тема 12. Нелинейные лазерные кристаллы	8	13	подготовка к презентации	2	презентация
13.	Тема 13. Тема 13. Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)	8	14	подготовка к презентации	2	презентация
14.	Тема 14. Тема 14. Полупроводниковые кристаллические лазерные среды	8	15	подготовка к презентации	2	презентация
15.	Тема 15. Тема 15. Волоконные активные среды	8	16	подготовка к презентации	2	презентация
16.	Тема 16. Тема 16. Кристаллические активные среды на центрах окраски	8	17	подготовка к презентации	2	презентация
17.	Тема 17. Тема 17. Фотонные кристаллы	8	18	подготовка к презентации	2	презентация
	Итого				36	

### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Реализуется модульно-рейтинговая система. Для этого учебный материал разделяется на логически завершенные части (модули), после изучения которых предусматривается аттестация в виде текущих кратких опросов студентов.

Учебный материал излагается студентам в виде лекций, причем в начале изложения новых тем в интерактивной форме в виде беседы и/или краткого опроса обучающихся выявляется уровень их базовой подготовки и имеющиеся в ней пробелы. С учетом последних корректируется и формируется стратегия дальнейших лекционных занятий. В процессе обучения практикуются демонстрационные опыты на научном и учебно-научном оборудовании кафедры и лаборатории НИЛ МРС и КЭ.

Начиная с середины семестра (8-10 недели) реализуются проектные методы обучения, предполагающие самостоятельное изучение студентами определенного раздела дисциплины и представления полученных результатов в виде публичной презентации. Причем, с целью вовлечения в процесс изучения данной темы максимального числа студентов, активизации их творческой работы (самостоятельного осуществления целеполагания, сбора необходимой информации, ее анализа с разных точек зрения, формирования выводов и заключения, самоконтроля процесса получения знаний и его результатов), используются методы групповой и взаимооценки: рецензирование студентами работ друг друга и оппонирование ими проектов.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Тема 1. Спектроскопия. Цели и основные задачи спектроскопии**

устный опрос , примерные вопросы:

Спектроскопия. Цели и основные задачи спектроскопии. Основные задачи оптической спектроскопии лазерных кристаллов. Три основных направления спектроскопических исследований активированных кристаллов. Прямая и обратная задача спектроскопии

### **Тема 2. Тема 2. Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения**

устный опрос , примерные вопросы:

Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения а) Зонная структура (диэлектрики, полупроводники) и диапазон прозрачности б) симметрия кристаллов (двулучепреломление), в) фотохимическая (радиационная устойчивость) г) физические параметры кристаллических и аморфных материалов (теплопроводность, константы теплового расширения и пр.) д) требования к активаторам и к активируемым матрицам е) методы синтеза неактивированных и активированных кристаллов, керамик и стёкл (фазовые диаграммы, законы ?активации?: изоморфизм, правила Гольдшмидта Вегарда, Ретгерса, полярности; изовалентная и гетеровалентная активация; закон Галливера-Пфанна и коэффициенты распределения активаторной примеси и т.п.) ж) активированные и нелинейные материалы, сферы их применения(примеры наиболее используемых активированных и нелинейных кристаллов)

### **Тема 3. Тема 3. Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) и актиноидов**

устный опрос , примерные вопросы:

Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) а) Электронная структура и валентные состояния б) Энергетические уровни свободных ионов и ионов в твердых телах (мультиплеты, диаграммы Дики-Кроссвайта и Сугано-Танабе, отличия между РЗИ и ионами группы железа, понятие о кристаллическом поле, Штарковская структура уровней РЗИ) в) Интенсивности полос в спектрах (правила отбора, правило Лаппорта)

### **Тема 4. Тема 4. Характеристики спектров активированных кристаллов**

устный опрос , примерные вопросы:

Характеристики спектров активированных кристаллов а) Электронные и электронно-колебательные спектры активаторов в кристаллах и методы их исследования (спектры поглощения и люминесценции, их связь со структурой энергетических состояний активаторных ионов и визуальной окраской кристаллов, принцип Франка-Кондона, правило Стокса и стоксов сдвиг, отличия спектров кристаллов и аморфных материалов, однородное и неоднородное уширение спектральных линий) б) Полуфеноменологическая теория Эйнштейна (коэффициенты Эйнштейна и их связь с измеряемыми спектроскопическими параметрами, время жизни возбужденных состояний, сечения вынужденных переходов, безызлучательные переходы, квантовый выход люминесценции) в) Передача энергии возбуждения между активаторными ионами (тушение и сенсбилизация люминесценции, кросс-релаксационные и апконверсионные процессы, миграция энергии и концентрационное тушение люминесценции)

#### **Тема 5. Тема 5. Лазерные среды, активированные ионами Nd<sup>3+</sup>**

презентация , примерные вопросы:

Лазерные среды, активированные ионами Nd<sup>3+</sup> а) Схема энергетических уровней и лазерные переходы ионов Nd<sup>3+</sup> в кристаллах и стеклах (четырёх и квазитрёх уровневые схемы лазерной генерации) б) Кристаллохимические особенности синтеза, физические, спектроскопические и лазерные характеристики кристаллов иттрий-алюминиевого граната Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (YAG), иттрий-алюминиевого перовскита (YAlO<sub>3</sub>), YVO<sub>4</sub> и LiYF<sub>4</sub> (YLF), активированные ионами Nd<sup>3+</sup> (спектры поглощения и люминесценции, квантовый выход люминесценции и оптимальные концентрации активаторов в различных матрицах, коэффициенты ветвления, способы накачки этих кристаллов, КПД генерации, температурная перестройка длины волны излучения) в) Индексы длин волн излучения лазеров на неодим-активированных материалах, сравнение лазерных характеристик кристаллических и аморфных сред

#### **Тема 6. Тема 6. Лазерные среды, активированные ионами Er<sup>3+</sup>**

презентация , примерные вопросы:

Лазерные среды, активированные ионами Er<sup>3+</sup> а) Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации в ИК и видимом диапазонах, способы накачки и характеристики лазерной генерации) б) Перспективы Er-активированных лазерных материалов

#### **Тема 7. Тема 7. Лазерные среды, активированные ионами Yb<sup>3+</sup>**

презентация , примерные вопросы:

Лазерные среды, активированные ионами Yb<sup>3+</sup> а) Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации, способы накачки и характеристики лазерной генерации) б) Мощные волоконные Yb-лазеры в) Перспективы Yb-активированных лазерных материалов

#### **Тема 8. Тема 8. Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами Tm<sup>3+</sup>, Ho<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> и Dy<sup>3+</sup>)**

презентация , примерные вопросы:

Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами Tm<sup>3+</sup>, Ho<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> и Dy<sup>3+</sup>) а) Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации в ИК и видимом диапазонах, способы накачки и характеристики лазерной генерации)

#### **Тема 9. Тема 9. Лазерные среды, активированные ионами Cr<sup>3+</sup>**

презентация , примерные вопросы:

Лазерные среды, активированные ионами Cr<sup>3+</sup> а) Спектроскопические и лазерные характеристики кристаллов рубина, форстерита, BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiCaAlF<sub>6</sub>, LiSrAlF<sub>6</sub> и KZnF<sub>3</sub>, активированных ионами Cr<sup>3+</sup>

#### **Тема 10. Тема 10. Лазерные среды, активированные ионами Ti<sup>3+</sup>**

презентация , примерные вопросы:

Лазерные среды, активированные ионами Ti<sup>3+</sup> а) Спектроскопические и лазерные характеристики Ti<sup>3+</sup> в кристаллах сапфира б) Применения и перспективы

#### **Тема 11. Тема 11. Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона**

презентация , примерные вопросы:

Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона а) Схема энергетических уровней и лазерные переходы (отличие межконфигурационных переходов от переходов между состояниями внутри одной и той же электронной конфигурации, проблемы получения генерации в УФ области спектра, существующие активные среды) б) Применения и перспективы

### **Тема 12. Тема 12. Нелинейные лазерные кристаллы**

презентация , примерные вопросы:

Нелинейные лазерные кристаллы а) Эффект генерации второй гармоники в нелинейном кристалле (нелинейные восприимчивости, синхронизм) б) Активированные нелинейные кристаллы и эффект самоумножения частоты лазерной генерации в) Применения и перспективы

### **Тема 13. Тема 13. Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)**

презентация , примерные вопросы:

Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) а) Явление комбинационного рассеяния и ВКР б) Твердотельные ВКР-преобразователи лазерного излучения в) Активированные среды совмещенные с ВКР преобразователем г) Применения и перспективы

### **Тема 14. Тема 14. Полупроводниковые кристаллические лазерные среды**

презентация , примерные вопросы:

Полупроводниковые кристаллические лазерные среды а) Зонная структура полупроводниковых кристаллов (примесные уровни, уровень Ферми-Дирака) б) Переходы, вызывающие испускание фотона в) Методы создания инверсной населенности, явления оптического усиления и лазерной генерации г) Принципы работы инжекционных лазеров, Гетероструктурированные кристаллические материалы для полупроводниковых лазеров. д) Квантовые точки е) Примеры полупроводниковых лазерных сред. Их характеристики ж) Применения и перспективы

### **Тема 15. Тема 15. Волоконные активные среды**

презентация , примерные вопросы:

Волоконные активные среды а) Принципы функционирования (Er-, Yb- и рамановских сред, особенности осуществления накачки ) б) Материалы для волоконных сред и их характеристики (область и ширина полосы усиления, эффективность (КПД)?) в) Компоненты и конструкция волоконных лазеров г) Применения и перспективы (волоконно-оптические линии связи, обработка материалов)

### **Тема 16. Тема 16. Кристаллические активные среды на центрах окраски**

презентация , примерные вопросы:

Кристаллические активные среды на центрах окраски а) Типы центров окраски и материалы б) Способы создания центров окраски в) Уровни энергии, спектроскопические, фотохимические и иные свойства г) Лазерные характеристики активных материалов на центрах окраски д) Применения и перспективы

### **Тема 17. Тема 17. Фотонные кристаллы**

презентация , примерные вопросы:

Фотонные кристаллы а) Что такое фотонный кристалл? Его основные свойства. б) Зоны в фотонных кристаллах и их оптические проявления в) Современные методы изготовления фотонных кристаллов г) Усиление света на фотонных кристаллах и лазерная генерация д) Применения и перспективы

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

1. Спектроскопия. Цели и основные задачи спектроскопии. Основные задачи оптической спектроскопии лазерных кристаллов. Три основных направления спектроскопических исследований активированных кристаллов. Прямая и обратная задача спектроскопии

2. Физико-химические свойства лазерных материалов и способы их получения (Зонная структура (диэлектрики, полупроводники) и диапазон прозрачности симметрия кристаллов (двулучепреломление), фотохимическая (радиационная устойчивость), физические параметры кристаллических и аморфных материалов (теплопроводность, константы теплового расширения и пр.), требования к активаторам и к активируемым матрицам)
3. Методы синтеза неактивированных и активированных кристаллов, керамик и стёкл (фазовые диаграммы, законы "активации": изоморфизм, правила Гольдшмидта, Вегарда, Ретгерса, полярности; изовалентная и гетеровалентная активация; закон Галивера-Пфанна и коэффициенты распределения активаторной примеси и т.п.)
4. Активированные и нелинейные материалы, сферы их применения (примеры наиболее используемых активированных и нелинейных кристаллов)
5. Физико-химические характеристики активаторов: ионов переходных металлов, редкоземельных ионов (РЗИ) и актиноидов (электронная структура и валентные состояния;
6. Энергетические уровни свободных ионов и ионов в твердых телах (мультиплеты, правило Гунда, диаграммы Дики -Кроссвайта и Сугано-Танабе, отличия между РЗИ и ионами группы железа, понятие о кристаллическом поле, Штарковская структура уровней РЗИ)
7. Характерные черты оптических спектров кристаллов, активированных ионами группы железа и редкоземельными ионами. Спектры ионов неодима в парамагнитных кристаллах.
8. Интенсивности полос в спектрах (правила отбора, правило Лаппорта, основы теории Джадда-Оффельта)
9. Электронные и электронно-колебательные спектры активаторов в кристаллах принцип Франка-Кондона, правило Стокса и стоксов сдвиг
10. Полуфеноменологическая теория Эйнштейна (коэффициенты Эйнштейна и их связь с измеряемыми спектроскопическими параметрами, время жизни возбужденных состояний, сечения вынужденных переходов, безызлучательные переходы, квантовый выход люминесценции)
11. Передача энергии возбуждения между активаторными ионами (тушение и сенсбилизация люминесценции, кросс-релаксационные и апконверсионные процессы, миграция энергии и концентрационное тушение люминесценции)
12. Схема энергетических уровней и лазерные переходы ионов  $Nd^{3+}$  в кристаллах и стеклах (четырёх и квазитрёх уровневые схемы лазерной генерации)
13. Кристаллохимические особенности синтеза, физические, спектроскопические и лазерные характеристики кристаллов иттрий-алюминиевого граната  $Y_3Al_5O_{12}$  (YAG), иттрий-алюминиевого перовскита ( $YAlO_3$ ),  $YVO_4$  и  $LiYF_4$  (YLF), активированные ионами  $Nd^{3+}$  (спектры поглощения и люминесценции, квантовый выход люминесценции и оптимальные концентрации активаторов в различных матрицах, коэффициенты ветвления, способы накачки этих кристаллов, КПД генерации, температурная перестройка длины волны излучения)
14. Лазерные среды, активированные ионами  $Er^{3+}$ . Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации в ИК и видимом диапазонах, способы накачки и характеристики лазерной генерации). Перспективы  $Er$ -активированных лазерных материалов.
15. Лазерные среды, активированные ионами  $Yb^{3+}$  Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации, способы накачки и характеристики лазерной генерации).
16. Полиактивированные лазерные среды (активированные ионами  $Tm^{3+}$ ,  $Ho^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  и  $Dy^{3+}$ ). Схема энергетических уровней и лазерные переходы активаторных ионов в кристаллах и стеклах (схемы лазерной генерации в ИК и видимом диапазонах, способы накачки и характеристики лазерной генерации).
17. Лазерные среды, активированные ионами  $Cr^{3+}$ . Спектроскопические и лазерные характеристики кристаллов рубина, форстерита,  $BeAl_2O_4$ ,  $LiCaAlF_6$ ,  $LiSrAlF_6$  и  $KZnF_3$ , активированных ионами  $Cr^{3+}$ . Лазерные среды, активированные ионами  $Ti^{3+}$ . Спектроскопические и лазерные характеристики  $Ti^{3+}$  в кристаллах сапфира. Применения и перспективы

18. Кристаллические лазерные среды ультрафиолетового диапазона. Схема энергетических уровней и лазерные переходы (отличие межконфигурационных переходов от переходов между состояниями внутри одной и той же электронной конфигурации, проблемы получения генерации в УФ области спектра, существующие активные среды). Применения и перспективы

19. Нелинейные лазерные кристаллы. Эффект генерации второй гармоники в нелинейном кристалле (нелинейные восприимчивости, синхронизм). Активированные нелинейные кристаллы и эффект самоумножения частоты лазерной генерации.

20. Кристаллические лазерные среды, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Явление комбинационного рассеяния и ВКР. Твердотельные ВКР-преобразователи лазерного излучения. Активированные среды совмещенные с ВКР преобразователем.

21. Полупроводниковые кристаллические лазерные среды Зонная структура полупроводниковых кристаллов (примесные уровни, уровень Ферми-Дирака). Переходы, вызывающие испускание фотона. Методы создания инверсной населенности, явления оптического усиления и лазерной генерации. Принципы работы инжекционных лазеров, Гетероструктурированные кристаллические материалы для полупроводниковых лазеров.

Текущий контроль усвоения материала осуществляется в виде текущих кратких опросов студентов. Начиная с 5-го занятия. Студенты готовят презентации на 10-15 минут. За подготовленные презентации в течение семестра студент получает до 50 баллов. Для допуска к зачету студенту необходимо набрать более 28 баллов. На зачете студент получает 2 вопроса из прилагаемого списка (Приложение 1 стр 1). За ответы на каждый из вопросов он получает до 25 баллов. Результирующая оценка получается суммированием баллов, полученных в течение семестра и на зачете

### 7.1. Основная литература:

1. Демтрёдер В., Современная лазерная спектроскопия (уч.пособие) /В.Демтрёдер,( пер. с англ.) - Долгопрудный:Интеллект,2014. - 1071с.
2. Щапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники [электронный ресурс] : учеб. пособие по английскому языку для технических вузов / И. А. Щапова. - 2-е изд., стереотип. - М. : ФЛИНТА, 2011. - 235 с. - ISBN 978-5-9765-0040-4  
<http://znanium.com/bookread.php?book=454727>
3. Ландсберг Г.С. Оптика / "Физматлит", 2010, 848 стр. <http://e.lanbook.com/view/book/2238/>
2. Степанов Е.В. Дiodная лазерная спектроскопия и анализ молекул-биомаркеров. Изд.: "Физматлит", - ISBN: 978-5-9221-1152-2, - 2009, -416 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2329/>
3. Евсеев И.В. Когерентные переходные процессы в оптике, - М.: ФИХМАТЛИТ, 2009. - 536 с. - ISBN 978-5-9221-1199-7. <http://e.lanbook.com/view/book/2731/page5/>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Левшин А.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерение Молекулярная люминесценция. - М.: изд-во МГУ, 1989.
2. Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Калимуллин Р.И. Фотонные и фононные кристаллы / "Физматлит"Издательство: ISBN: 2010Год: 156 стр.  
<http://e.lanbook.com/view/book/48285/>
3. Рабек Я. Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике. - М.: Мир, 1985. В 2-ух томах.
4. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Под ред. проф. Ф.Ф. Литвина. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 263 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=352873>
5. Каминский А.А. Лазерные кристаллы // М.:Наука, 1975



6. А.К. Пржеvusкий, Н.В. Никоноров. "Конденсированные лазерные среды". Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009 г. - 147 стр.
7. Матвеев А.Н. Атомная физика // М.: Высшая школа, 1989.
8. Каминский А.А., Антипенко Б.М. Многоуровневые функциональные схемы кристаллических лазеров // М.: Наука, 1989.
9. Осико В.В. Лазерные материалы // М.:Наука, 2002. - 496 с.
10. Емолаев В.Л., Бодунов Е.Н., Свешникова Е.Б., Шахвердов Т.Л. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения //М.:Наука, 1977. - 311 с.
11. Басиев Т.Т., Малышев В.А., Пржеvusкий А.К. Спектральная миграция возбуждений в активированных стёклах // М.: Наука, Сборник "Кинетическая лазернофлуоресцентная спектроскопия лазерных кристаллов", Т 46, с.86-136.
12. Алексеев Н.Е., Гапонцев В.П., Жаботинский М.Е., Кравченко В.Б., Рудницкий Ю.П. Фосфатные лазерные стёкла // М.:Наука, 1980.
13. Агранович В.М., Галанин М.Д. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах // М.:Наука, 1978. - 383 с.
14. Ф.Качмарек. Введение в физику лазеров // М.: Мир, 1981. - 541 с.
15. Физика и спектроскопия лазерных кристаллов / А.А.Каминский [и др.] - М.: Наука, 1986. - 272 с.
16. Гурзядян, Г.Г. Нелинейно-оптические кристаллы / Г.Г.Гурзядян, В.Г.Дмитриев, Д.Н.Никогосян. - М.: Радио и связь, 1991. - 160 с.
17. Г.С.Лансберг. Оптика // М.:Наука. 1976. - 928 с.
18. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов. Прикладная нелинейная оптика // М.: Физматлит, 2004. 512 с.
19. Никоноров Н.В., Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: специальные оптические волокна. Учебно-методическое пособие // СПбГУ ИТМО, 2009. - 100 с.
20. Басиев Т.Т. Новые кристаллы для лазеров на вынужденном комбинационном рассеянии. // Физика твердого тела, 2005, том 47, вып. 8, с.1354-1358
21. Т.Т.Басиев, М.Е.Дорошенко, Л.И.Ивлева, В.В.Осико, М.Б.Космына, В. К.Комарь, Я.Шульц, Х.Елинкова. Генерационные свойства ВКР-активных кристаллов молибдатов и вольфраматов, активированных ионами Nd при селективной оптической накачке // Квантовая электроника, 2006, т.36, №8, с.720-726.
22. Семашко, В.В. Проблемы поиска новых твердотельных активных сред ультрафиолетового и вакуумно-ультрафиолетового диапазонов спектра: роль фотодинамических процессов / В.В.Семашко // ФТТ. - 2005. - Т.47, №5. - С.1450-1454.
23. Ивченко, Е.Л. Резонансные трехмерные фотонные кристаллы /Е.Л. Ивченко, А.Н. Поддубный.-Физика твердого тела, 2006. -Т.48, вып. 3. - С.540 -547.
24. Кособукин, В.А. Фотонные кристаллы /В.А. Кособукин //Окно в Микромир.-2002.-№4.
25. Белотелов, В.И. Фотонные кристаллы и другие метаматериалы / В.И. Белотелов, А.К. Звездин.-М.: Бюро Квантум, 2006.- Вып. 94.- 145 с.
26. Гудилин, Е.А. Микроструктуры новых функциональных материалов /Е.А. Гудилин // Наноструктурированные материалы. -2007. -Вып. 1.
27. Барышев А.В. Оптическая характеристика синтетических опалов /А.В. Барышев, А.В. Анкудинов, А.А. Каплянский //Физика твёрдого тела. - 2002. - Т.44, вып.9.
28. Микаэлян А.Л., Тер-Микаэлян М.Л., Турков Ю.Г. Оптические квантовые генераторы на твердом теле. -М.: Сов. радио, 1967.
29. Крюков, П.Г. Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики - М.: Физматлит, 2008. - 208с.
30. Методы расчета оптических квантовых генераторов / под ред. Б.И.Степанова: Т.1 - Минск: Наука и техника, 1966 г. -484 с.; Т.2 - Минск: Наука и техника, 1966 г. - 656 с.
31. Демтредер В. Лазерная спектроскопия. - М.: Наука, 1985.
32. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. - М.: Мир, 1986.
33. Левшин А.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерение: Молекулярная люминесценция. - М.: изд-во МГУ, 1989.

- 34 Рабек Я. Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике. - М.: Мир, 1985. В 2-х томах.
- 35 Феофилов П.П. Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. - М.: Физматгиз, 1963.
- 36 Свиридов Д.Т., Свиридова Р.К., Смирнов Ю.Ф. Оптическая спектроскопия переходных металлов в кристаллах. - М.: Наука, 1976.
- 37 Физика и спектроскопия лазерных кристаллов. - М.: Наука, 1986
- 38 Ельяшевич М.А. Спектры редких земель. - М.: ГИТТЛ, 1953.
- 39 Н.В.Карлов, Лекции по квантовой электронике. М.: "Наука", 1988.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

книги по квантовой электронике, физике лазеров и спектроскопии - <http://www.umup.narod.ru/cat20.html>

книги по квантовой электронике, физике лазеров и спектроскопии - [http://portal.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8224](http://portal.kpfu.ru/main_page?p_sub=8224)

книги по квантовой электронике, физике лазеров и спектроскопии - [http://www.ph4s.ru/book\\_ph\\_spektroskop.html](http://www.ph4s.ru/book_ph_spektroskop.html)

книги по квантовой электронике, физике лазеров и спектроскопии - <http://lib.myilibrary.com/Home.aspx>

книги по квантовой электронике, физике лазеров и спектроскопии - <http://www.natahaus.ru/>

книги по квантовой электронике, физике лазеров и спектроскопии - <http://www.knigafund.ru/>

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

Освоение дисциплины "Спектроскопия лазерных кристаллов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Используется демонстрационное оборудование кафедры

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Квантовая радиофизика и квантовая электроника .

Автор(ы):

Марисов М.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Мухамедшин И.Р. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.