

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кубанский государственный университет»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
и инновациям

\_\_\_\_\_ М.В. Шарафан

*(Handwritten signature)*

\_\_\_\_\_ 2021 г

**Рабочая программа дисциплины**

**Б1.В.ОД.2 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ**

Направление подготовки  
**03.06.01 Физика и астрономия**


Профиль программы  
**01.04.05 Оптика**

Квалификация выпускника: **Исследователь. Преподаватель-Исследователь**

Форма обучения  
**очная, заочная**

Краснодар 2021


Рабочая программа «Научно-исследовательская деятельность» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, профиль программы 01.04.05 Оптика

Составитель:  Е.В. Строганова, доктор физико-математических наук, профессор

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники, 07 апреля 2021 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой  Н.А. Яковенко, доктор технических наук, профессор

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета 16 апреля 2021, протокол № 13

Председатель УМК ФТФ  Н.М. Богатов, доктор физико-технических наук, профессор, зав. кафедрой физики и информационных систем КубГУ

Зав.отделом аспирантуры  Н.Ю. Звягинцева

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Цель** преподавания дисциплины «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом» состоит в обеспечении подготовки аспирантов в области оптических свойств лазерных материалов, моделирования процессов эффективного переноса энергии электронного возбуждения между оптическими центрами.

**Основной задачей дисциплины** является изучение физических основ пассивных и активных оптических материалов, их использование и применение при разработке устройств, используемых в оптических системах связи. К их числу относятся квантовые генераторы и усилители, нелинейные оптические преобразователи частоты.

**Задачами** курса являются:

– ознакомление с физическими процессами, лежащими в основе оптических свойств материалов, с принципами работы и техническими особенностями основных фотонных устройств;

– установление области применимости физико-математических моделей в оптическом материаловедении для моделирования и проектирования новых элементов и устройств;

- моделирование процессов безызлучательного переноса энергии между оптическими центрами с целью получения оптимальных параметров и концентраций доноров и акцепторов для высокоэффективных лазерных сред.

В результате изучения настоящей дисциплины аспиранты получают знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и являющиеся фундаментом для изучения ряда последующих специальных дисциплин и практической научно-исследовательской работы аспирантов по профилю Оптика.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом» относится к специальным дисциплинам отрасли науки и научной специальности, включенным в группу дисциплин по выбору аспиранта образовательного цикла основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05 Оптика. На изучение дисциплины отводится 72 часов (36 часов аудиторной работы и 36 часов самостоятельной работы). В соответствии с учебным планом, занятия проводятся на первом году обучения.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате изучения данной дисциплины аспиранты должны приобрести следующие знания, умения и навыки:

- способность предлагать пути решения, выбирать методику и средства проведения научных исследований в области оптического материаловедения;
- способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере;
- способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования;
- способность разрабатывать элементы и устройства фотоники и лазерной техники.

**Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций (согласно ФГОС и ООП):**

<b>Наименование компетенции</b>	<b>Код компетенции</b>
– способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	УК – 5
– способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	ОПК – 1
– способность использовать теорию, концепцию и принципы в предметной области исследования природы света и его распространения и взаимодействия с веществом, а также основы технологий передачи информации и энергии, диагностики объектов различной природы	ПК – 1

**В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты образования:**

*Знать:*

-современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности (**Шифр: З (ОПК-1) – 1**);

- теорию и концепцию распространения света и его взаимодействие с веществом (**Шифр: З (ПК-1)-1**).

*Уметь:*

- осуществлять личный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом (**Шифр: У (УК-5) – 2**);

- выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (**Шифр: У (ОПК-1) -1**);

- применять принципы и методы исследования взаимодействия света с веществом (**Шифр: У (ПК-1) -1**).

*Владеть:*

- приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач (**Шифр: В (УК-5) – 1**);

- навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов (**Шифр: В (ОПК-1) -2**).

#### 4 СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа).

Таблица 1

##### Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Год обучения	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям) Формы промежуточной аттестации (по итогам освоения дисциплины)
			Лекции	Лабораторная работа	Практическая занятость	Самостоятельная работа	
1	2	3	5	6	7	9	10
1.	Кристаллическая структура твердых тел и ее влияние на оптические свойства кристаллов	1	2		2	6	Устный опрос Презентация
2.	Влияние кристаллического поля и симметрии локального центра на оптические свойства кристаллов.	1		4	2	6	Устный опрос Разработка расчетного комплекса
3.	Безызлучательное взаимодействие между оптическими центрами. Условие прыжкового и диффузионного механизмов.	1	2	4	2	6	Устный опрос Разработка расчетного комплекса
4.	Примеры оптических материалов для 1,5 мкм генерации.	1	2	6		6	Устный отчет Доклад на конференцию и/или круглый стол
5.	Волокна как активная среда для усилителей, лазеров и мультиплексоров	1		4	2	6	Устный опрос Реферат, выступление на круглом столе
6.	Фотоннокристаллические	1	2		2	6	Устный опрос

	волокна и кристаллы						Реферат, выступление на круглом столе
	<b>Всего</b>		<b>8</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>36</b>	

## **Содержание курса «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом»**

### **1). Кристаллическая структура твердых тел и ее влияние на оптические свойства кристаллов.**

Кристаллография и структура кристаллов. Химические связи и энергия решетки. Дефекты в кристаллах. Диэлектрики.

### **2). Влияние кристаллического поля и симметрии локального центра на оптические свойства кристаллов.**

Понятие примесного центра (оптического центра), особенности редкоземельных элементов и переходных металлов. Влияние кристаллического поля и симметрии локального центра на оптические свойства кристаллов. Параметры Рака. Диаграммы Танабе-Сугано. Электрон-фононные взаимодействия. Внутрицентровые взаимодействия.

### **3). Безызлучательное взаимодействие между оптическими центрами. Условие прыжкового и диффузионного механизмов.**

Теория Ферстера-Декстера и Галанина безызлучательного взаимодействия между оптическими центрами. Условия реализации прыжкового и диффузионного механизмов взаимодействия. Макро – и микропараметры переноса энергии электронного возбуждения.

### **4). Примеры оптических материалов для 1,5 мкм генерации.**

Стекланные матрицы с примесью ионов эрбия. Оксидные матрицы с примесными ионами иттербия и эрбия. Наноструктурированные стекланные матрицы с ионами Er (на примере фторидных соединений). Полупроводниковые лазерные диоды, с длиной волны генерации в области 1,5 мкм.

### **5). Волокна как активная среда для усилителей, лазеров и мультиплексов.**

Волоконные усилители, их преимущества и недостатки по сравнению с полупроводниковыми усилителями. Зависимость спектральной полосы усиления от состава матрицы. Способы увеличения эффективности усилителей (расширение спектрального диапазона, повышение коэффициента усиления и температурная стабилизация при высоких мощностях накачки и т.д.).

### **6). Фотоннокристаллические волокна и кристаллы.**

Понятие фотонного кристалла. Брэгговский резонанс. Запрещенная зона. Зависимость ширины запрещенной зоны от диэлектрического контраста. 1-я зона Бриллюэна. Дисперсионная диаграмма одномерного фотонного кристалла. Зависимость положения запрещенных зон от угла падения света. Зависимость коэффициентов отражения и пропускания фотонного кристалла от длины волны для двух случаев: а) фотонный кристалл не содержит дефектов, б) фотонный кристалл содержит дефект в виде слоя удвоенной толщины. Явление замедления света в фотонных кристаллах. Применения фотонных кри-

сталлов.

## Структура дисциплины

Таблица 2

Вид работы	Трудоемкость, часов	
	2 семестр	Всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Аудиторная работа:</b>		
<i>Лекции (Л)</i>	8	8
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	10	10
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	18	18
<i>Контролируемая самостоятельная работа</i>		
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)		
Расчетно-графическое задание (РГЗ)		
Реферат (Р)		
Эссе (Э)		
Самостоятельное изучение разделов		
Контрольная работа		
Самоподготовка		
Подготовка и сдача экзамена		
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>зачет</b>	<b>зачет</b>

### Организация самостоятельной работы аспирантов

На самостоятельную работу аспирантов по курсу «Лазерные и нелинейные оптические среды» отводится 50% времени от общей трудоемкости курса. Сопровождение самостоятельной работы аспирантов может быть организовано в следующих формах:

– составление индивидуальных планов самостоятельной работы аспиранта с указанием темы и видов заданий, форм и сроков представления результатов, критерием оценки самостоятельной работы;

– консультации (индивидуальные и групповые), в том числе с применением дистанционных форм обучения;

– промежуточный контроль хода выполнения заданий строится на основе различных способов взаимодействия в открытой информационной среде и отражается в процессе формирования электронного портфеля аспиранта в виде подготовленных и защищенных исследовательских заданий.

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечены доступом к базам данных и библиотечным фондам и доступом к сети Интернет.

В рамках выполнения самостоятельной работы аспиранты разрабатывают расчетные комплексы на основе экспериментальных данных, полученных на лабораторных работах. Предлагается выполнение следующих расчетных заданий:

1. На основании экспериментальных исследований (спектры поглощения и спектры излучения) оптических центров переходных металлов (на примере  $\text{Cr}^{3+}$ ) разработать комплекс по определению структуры сложного спектра поглощения 4A2-4T1 и 4A2-4T2 для кристалла с постоянной концентрацией оптической примеси, а также для кристаллов с концентрационным профилем оптической примеси.

2. Разработать расчетный комплекс, используя данные задания 1 по изменению дефектной структуры в градиентно активированных кристаллах.

3. Разработать на основании экспериментальных данных кинетических исследований активированных кристаллов модель прыжкового механизма безызлучательного взаимодействия оптических центров с определением макропараметров CDD и CDA. Рассчитать эффективность переноса энергии.

4. Разработать макет расчета параметров переноса энергии и эффективности безызлучательного взаимодействия между оптическими центрами для кристаллов с постоянной концентрацией и изменяющимися по концентрационным профилям вдоль кристалла.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации учебной работы по освоению курса «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом» используются современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проектные методы обучения;
- исследовательские методы в обучении;
- проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: метод проектов, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

## 6. ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Таблица 3

Вид работ	Образовательные технологии
Лекции	Интерактивная лекция с мультимедийной системой с активным вовлечением вовлечение аспирантов в учебный



	процесс и обратной связью. Обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем.
Лабораторные занятия	Индивидуальное научное исследование на лабораторном оборудовании с сопоставлением и анализом полученных результатов с известными физико-математическими моделями
Самостоятельная работа	Технологии смешанного обучения: дистанционные исследовательские задания, написание аналитического обзора.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

<b>Оценки достижения компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
Достижение компетенции достигается в процессе выбора в области лазерных и нелинейных эффектов технологий и приемов для целереализации и оценки деятельности проводимых исследований	<b>УК-5</b> - способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития <b>Шифры (У (УК-5)-2; В (УК-5) – 1).</b>
Освоение компетенций достигается в процессе выбора и применения в области лазерных и нелинейных эффектов экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования; поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.	<b>ОПК-1</b> - способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий <b>Шифры (У (ОПК – 1)-1; В (ОПК - 1)-1).</b>
Освоение компетенций достигается в процессе познания теорию и концепцию распространения света и его взаимодействие с веществом, а также в умении применять принципы исследований взаимодействия света с веществом.	<b>ПК-1</b> - способность использовать теорию, концепцию и принципы в предметной области исследования природы света и его распространения и взаимодействия с веществом, а также основы технологий передачи информации и энергии, диагностики объектов различной природы. <b>Шифры (З(ПК-1)-1; У(ПК-1)-1).</b>

Оперативный контроль осуществляется путем подготовки исследовательских работ по разделам дисциплины по окончании изучения тем. При

проведении оперативного контроля могут использоваться контрольные вопросы:

1. Кристаллическая решетка, параметры кристаллической решетки, группы симметрии.
2. Кристаллографические позиции оптических центров. Дефекты.
3. Кристаллическое поле. Локальная симметрия. Представление энергетических состояний в различной локальной симметрии на примере оптического центра  $\text{Cr}^{3+}$  в оксидных матрицах.
4. Теория переноса энергии электронного возбуждения.
5. Прыжковый механизм переноса энергии электронного возбуждения.
6. Диффузионный механизм переноса энергии электронного возбуждения.
7. Макро- и микро параметры переноса энергии электронного возбуждения.
8. Эффективность безызлучательного переноса энергии электронного возбуждения.
9. Структура и строение эрбиевых усилителей на примере EDFA.
10. Полупроводниковые усилители в области 1,5 мкм. Принцип действия и строение.
11. Бреговские решетки. Технология создания и принцип действия.
12. Волоконные эрбиевые лазеры с распределенной обратной связью.
13. Примеры микроструктурированных волокон. Классификация и область применения.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература:**

1. Вейко В.П. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
2. Звелто О. Принципы лазеров. – СПб.: Лань, 2008.
3. Ларкин А.И. Когерентная фотоника. – М.: БИНОМ, 2007.
4. Калитиевский Н.И. Волновая оптика. – СПб.: Лань, 2008.
5. Быков В.П. Лазерная электродинамика. Элементарные и когерентные процессы при взаимодействии лазерного излучения с веществом. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.

### **Дополнительная литература:**

1. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М: Высш. школа, 2001.
2. Быков В.П. Лазерные резонаторы.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы.: перевод с англ. – М.: МИР, 2005.
4. Ермаков О.Н. Прикладная оптоэлектроника. – М.: Техносфера, 2004.
5. Дмитриев В.Г. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта. – М.: Физматлит, 2003.

6. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электроники. – М.: Наука, 1988.
7. Галуцкий В.В., Строганова Е.В., Яковенко Н.А. Оптоэлектронные и квантовые приборы в телекоммуникационных системах. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014. – 136 с. ISBN 978-5-8209-1081-4.
8. Крюков П.Г. Лазеры ультракоротких импульсов и их применение: Учебное пособие. – Долгопрудный: Интеллект, 2012.

#### **Периодические издания:**

1. Журнал прикладной механики и технической физики
2. Журнал прикладной спектроскопии
3. Журнал технической физики
4. Журнал экспериментальной и теоретической физики
5. Известия ВУЗов Северо-Кавказского региона. Серия: Технические науки
6. Известия ВУЗов. Серия: Физика
7. Известия РАН (до 1993 г. Известия АН СССР). Серия: Неорганические материалы
8. Известия РАН (до 1993 г. Известия АН СССР). Серия: Физическая
9. Инфокоммуникационные технологии
10. Квантовая электроника
11. Нанотехника
12. Оптика и спектроскопия
13. Оптический журнал
14. Перспективные материалы
15. Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики
16. Успехи физических наук
17. Физика и химия стекла
18. Физика твердого тела
19. Фотоника
20. Фотон-экспресс
21. Электросвязь

#### **Интернет-ресурсы:**

1. Информационные ресурсы библиотеки ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет»  
<http://www.kubsu.ru/University/library/resources/>
  - 1.1. Электронная библиотечная система "Университетская библиотека ONLINE" [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
  - 1.2. Электронная библиотечная система издательства "Лань" <http://e.lanbook.com/>
  - 1.3. Электронная библиотечная система "ZNANIUM.COM" <http://znanium.com/>
  - 1.4. Коллекция журналов издательства Elsevier на портале ScienceDirect <http://www.sciencedirect.com/>

- 1.5. Scopus - мультидисциплинарная реферативная база данных  
<http://www.scopus.com/>
- 1.6. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/window>
3. Рубрикон – крупнейший энциклопедический ресурс Интернета  
<http://www.rubricon.com/>.

#### **Программное обеспечение:**

1. Операционная система MS Windows.
2. Интегрированное офисное приложение MS Office.
3. Программное обеспечение для организации управляемого коллективного и безопасного доступа в Интернет.

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Реализация Профиля предполагает наличие минимально необходимого для реализации программы подготовки аспирантов перечня материально-технического обеспечения:

- лекционные аудитории (оборудованные видеопроекторным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, и имеющие выход в Интернет),
- лабораторный комплекс, включающий источники оптической накачки, набор нелинейных сред, устройство термостабилизации, измерительный модуль
- компьютерный практикум: обработка экспериментальных данных на персональных компьютерах.

При использовании электронных изданий вуз должен обеспечить каждого обучающегося во время самостоятельной подготовки рабочим местом в компьютерном классе с выходом в Интернет в соответствии с объемом изучаемых дисциплин.