

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**«Институт автоматики и процессов управления  
Дальневосточного отделения Российской академии наук»  
(ИАПУ ДВО РАН)**

**«СОГЛАСОВАНО»**

Руководитель направления  
подготовки аспирантов 03.06.01  
«Физика и астрономия», д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

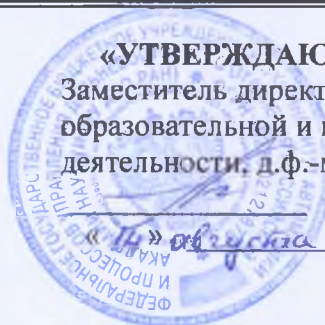
«14» августа 2014 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель директора по научно-  
образовательной и инновационной  
деятельности, д.ф.-м.н.

Н.Г. Галкин

«14» августа 2014 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

**Материалы и элементы квантовой и оптической электроники**

**Направление подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия»,  
профиль «Лазерная физика»  
Образовательная программа «Лазерная физика»**

**Форма подготовки (очная)**

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК)

курс 2 семестр 4  
лекции 36 час. / 1 з.е.  
практические занятия – 18 час. / 0.5 з.е.  
лабораторные работы – нет  
всего часов аудиторной нагрузки 54 (час.) / 1,5 з.е.  
самостоятельная работа 35 (час.) / 1 з.е.  
контрольные работы нет  
курсовая работа / курсовой проект нет  
зачет \_\_\_\_\_ семестр  
экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 867.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН,  
протокол № 1 от «14» августа 2014 г.

Заведующий (ая) кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин  
Составитель (ли): д.ф.-м.н. Р.В. Ромашко



## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Лазерная физика» и входит в вариативную часть учебного плана. При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», учебный план подготовки аспирантов по профилю «Лазерная физика»

### **1. Цели и задачи курса**

Цель курса «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» - изучение закономерностей изменения физических свойств оптических материалов при явлениях фотоупругости, фотоакустики, фоторефракции, термооптики.

- изучение принципов и методов воздействия лазерного излучения на твердотельные и жидкокристаллические среды.

- ознакомление с новейшими разработками фуллеренсодержащих сред и их оптическими свойствами (на примере эффекта оптического ограничения и записи голограмм).

- формирование навыков расчетной оценки оптических материалов при внешнем (электрическом, механическом, световом) воздействии и экспериментального исследования основных характеристик оптических материалов и модуляторов света на их основе.

Для решения поставленных задач курс «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники» предусматривает соответствующие виды учебной работы: лекции, практические занятия, самостоятельную работу аспирантов.

## **2. Начальные требования к освоению дисциплины**

Начальным требованием является знание основ общей физики, физической оптики, квантовой и оптической электроники.

## **3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

В результате изучения дисциплины аспиранты должны:

- знать физические механизмы изменения параметров оптических материалов под воздействием световых потоков, электрических и акустических полей; иметь представление о возможности управления характеристиками оптических материалов целенаправленным использованием явлений фотоупругости, фотоакустики, фоторефракции, термооптики;

- уметь проводить численные оценки параметров материалов и экспериментально исследовать закономерности взаимодействия света с веществом;

- иметь представление о тенденциях применения светового воздействия на материалы в технологических процессах, приборах и устройствах квантовой и оптической электроники.

Рабочей программой предусмотрено формирование у аспирантов следующих **компетенций**:

Универсальные компетенции:

- УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях,

Общепрофессиональные компетенции:

- ОПК-1. Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области лазерной физики с использованием

современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Способность самостоятельно ставить и решать задачи в области электродинамики и лазерной физики с применением актуальных аналитических методов и численного моделирования на базе современной компьютерной техники и специализированного программного обеспечения;
- ПК-2 Владение основными методами постановки и проведения экспериментов в области лазерной физики, фотоники и оптоэлектроники;
- ПК-3 Владение навыками разработки и создания функциональных элементов и устройств лазерной физики, фотоники и оптоэлектроники;

## **СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часов)**

### **Тема 1. Определение основных понятий и терминов при описании материалов и элементов квантовой и оптической электроники. (4 часа)**

Структура дисциплины и ее связь с другими дисциплинами учебного плана. Задачи дисциплины. Свет как инструмент воздействия на материалы. Исторические справки об ученых, занимавшихся данной проблемой. Перспективы использования достижений в области разработки современных оптических материалов в научных исследованиях, приборостроении, технике. Возможности расширения областей использования лазерного излучения УФ, видимого, ИК диапазонов спектра при его взаимодействии с конденсированными средами.

### **Тема 2. Фотоупругость. (8 часов)**

Метод фотоупругости. Упругие деформации как результат воздействия механических напряжений (сжатие и/или растяжение). Нормальные и

касательные напряжения при чистом растяжении. Деформации, связанные с чистым однородным растяжением. Связь между напряжениями и деформациями. Деформация эллипсоида показателя преломления. Пьезооптические коэффициенты, фотоупругие постоянные. Естественное и искусственное двулучепреломление. Закон Брюстера. Поляризация при отражении и преломлении. Поляризационно-оптические методы и устройства. Закон Малюса. Призма Глана-Томсона, призма Николя. Оптическая разность хода и фаз. Фотоупругость жидких кристаллов (ЖК). Типы ЖК. Директор ЖК. Нематические ЖК. Аппроксимация Рапини для энергии связи ЖК с поверхностью подложки. Формула Франка для объемной упругой энергии ЖК. Численные оценки модулей упругости ЖК. Примеры применения явления упругости нематической ЖК мезофазы. Расчет фазовой задержки реальной нематической ЖК-ячейки по экспериментально полученным данным.

### **Тема 3. Акустооптика. (6 часов)**

Предмет акустооптики. Частоты акустооптики. Основные достижения акустооптики. Ультразвук. Методы генерации ультразвука. Влияние акустического поля в конденсированной среде на распространение света. Дифракция монохроматического света на периодическом распределении показателя преломления, создаваемом бегущей или стоячей акустической волной. Дифракция Рамана-Ната и дифракция Брэгга на ультразвуке. Связь эффективности дифракции в  $m$ -ом порядке с изменением одного или нескольких из следующих параметров: угла падения света, длины волны света, длины волны звука, амплитуды и ширины пучка ультразвука. Акустооптические модуляторы. Способы повышения быстродействия акустооптических модуляторов. Дефлекторы, их назначение и характеристики. Акустолюминесценция – новое явление акустооптики. Виды люминесценции

кристаллов. Собственно-дефектная акустолуминесценция и ее основные характеристики. Практическое использование акустолуминесценции.

#### **Тема 4. Термооптика. (6 часов)**

Воздействие изменений температуры на элементы оптических приборов. Термомеханическая прочность. Температурные изменения оптической длины пути. Температурный коэффициент показателя преломления. Оптический резонатор с термдеформированным элементом. Термооптические характеристики материалов, их физический смысл, значения. Стекла. Техническая классификация стекол. Теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность оптических стекол. Оптическая плотность стекла. Явление двойного лучепреломления в стеклах. Стекла ИК-диапазона спектра.

#### **Тема 5. Фоторефракция. (9 часов)**

Общие представления об электрооптических эффектах в конденсированных средах. Эффект Поккельса. Эффект Керра. Фотогенерация носителей электрического заряда. Формирование полей фотозарядов. Дрейфовый и дифракционный механизмы записи изображения. Считывание изображения. Пространственно-временные модуляторы света (ПВМС) на фоторефрактивных материалах. Жидкокристаллические ПВМС с электрическим и оптическим управлением. Конструкция и режимы работы ЖК ПВМС на просвет и отражение. Влияние природы и параметров фотослоя ЖК ПВМС на основные характеристики модулятора: разрешение, быстродействие, чувствительность. Способы оптимизации динамических характеристик ЖК ПВМС. Расчет временных параметров ЖК устройств. Применение ЖК ПВМС для задач лазерной физики. Коррекция фазовых aberrаций с помощью ЖК ПВМС.

## **Тема 6. Воздействие лазерного излучения на материалы. (15 часов)**

Проблема взаимодействия лазерного излучения с веществом. Лазерное возбуждение. Испарение и разрушение материалов. Характер дефектов при пробое. Примесные центры в твердом теле и их влияние на порог пробоя. Полупроводники. Зонная структура, прямые и непрямые переходы. Явления переноса. Гетероструктуры, сверхрешетки. Фоторезистор, фотодиод, светодиод, солнечные элементы, полупроводниковые лазеры. Нелинейные эффекты. Нелинейные восприимчивости. Самофокусировка лазерного излучения. Многофотонное поглощение. Новые нелинейные среды. Фуллерены. Методы получения фуллеренов. Растворимость фуллеренов, их спектральные, фотопроводящие и теплофизические свойства. Оптические свойства фуллеренов. Сечение поглощения переходов с основного и возбужденного состояний молекулы фуллерена. Сенсibilизация органических материалов фуллеренами. Влияние комплексообразования на нелинейное поглощение фуллеренсодержащих сред. Проявление эффекта оптического ограничения лазерного излучения в фуллеренсодержащих материалах. Спектральный, энергетический и временной диапазоны взаимодействия лазерного излучения с фуллеренсодержащими средами. Запись тонких дифракционных решеток в фуллеренсодержащих средах. Светоиндуцированное изменение показателя преломления. Светоиндуцированное рассеяние. Фуллеренсодержащие материалы для модуляции, пассивной записи информации и преобразования по частоте лазерного излучения. Особенности использования фуллеренсодержащих структур в ИК-диапазоне спектра. Применение фуллеренсодержащих сред в лазерной физике и медицине.



## **СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (18 часов)**

### **ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

**Задание 1. Анализ механических напряжений в поляризованном свете на примере деформации стержня (2 час.).**

**Задание 2. Расчет акустооптического deflectора (2 час.).**

**Задание 3. Расчет тепловой линзы в лазерном стекле (2 час.).**

**Задание 4. Расчет апохроматического объектива (2 час.).**

**Задание 5. Модуляция света на основе электрооптических эффектов (2 час.).**

**Задание 6. Методы модуляции добротности в лазерах (2 час.).**

**Задание 7. Преобразование энергии в полупроводниковых оптоэлектронных элементах (2 час.).**

**Задание 8. Самофокусировка световых пучков в нелинейных оптических средах. Формирование солитонов. (2 час.).**

## **САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (35 ЧАСОВ)**

1. Знакомство с научными периодическими изданиями, посвященными фотоупругости и фоторефракции.
2. Овладение методиками применения оптических измерительных приборов для контроля параметров волоконно-оптических систем.
3. Изучение принципа работы и практических применений сверхрешеток.
4. Изучение методов исследования свойств фуллеренов.

## КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

### Контрольные вопросы к Теме 1.

1. Какова кристаллическая структура стекла?
2. Каковы физические свойства оптического стекла?
3. Охарактеризуйте две группы бесцветных оптических стекло – кроны и флинты?
4. Что такое вторичный спектр и за счет чего его можно устранить?
5. Каковы отличительные особенности кварцевого стекла?
6. Какие требования предъявляются к лазерным стеклам?
7. Каковы достоинства и недостатки полупроводниковых лазерных материалов?

### Контрольные вопросы к Теме 2.

1. Перечислите и охарактеризуйте типы оптических покрытий по их назначению.
2. За счет чего достигается снижение коэффициента отражения оптических элементов с нанесенным просветляющим покрытием?
3. В чем отличие интерференционных светоделителей от металлических?
4. Какие требования предъявляются к металлу, формирующему зеркало?
5. Перечислите и охарактеризуйте (на графике) основные параметры полосового и отрезающего оптических фильтров.

### Контрольные вопросы к Теме 3.

1. Какой свет называется поляризованным? Перечислите и дайте определения типам поляризации света.
2. В чем суть явления дихроизма? Охарактеризуйте линейный и эллиптический дихроизм.

3. Опишите принцип работы дихроичного поляризатора.
4. Как получить поляризованный свет при отражении от диэлектрической поверхности? При преломлении на границе раздела двух сред?
5. Опишите устройство и принцип работы стопы Столетова.
6. Опишите устройство и принцип работы отражательного поляризатора.
7. Что такое окно Брюстера? Где оно применяется?
8. Опишите устройство и принцип работы поляризационных ромбов Френеля и Муни. В чем заключается преимущество поляризационных ромбов по сравнению с другими поляризаторами (дихроичными, отражательными)?
9. В чем суть двулучепреломления в анизотропных кристаллах? Что такое обыкновенный и необыкновенный луч?
10. Опишите устройство и принцип работы призмы Николя. Какие другие разновидности призмных поляризаторов Вы знаете? Охарактеризуйте их.
11. Что такое фазовые пластинки? Каков их принцип работы?
12. Опишите устройство и принцип работы компенсатора Бабиня.
13. В чем суть пьезооптического эффекта? В каких областях он находит применение?
14. Опишите электрооптические эффекты и укажите области их применения?

#### **Контрольные вопросы к Теме 4.**

1. Что такое жидкие кристаллы? Каковы его отличительные кристаллофизические свойства?
2. За счет чего возникает анизотропия в жидких кристаллах?
3. Что такое термотропные и лиотропные ЖК?

4. Охарактеризуйте особенности нематических, холестерических и смектических ЖК.
5. Что такое вектор-директор?
6. Охарактеризуйте гомеотропную и планарную ориентацию ЖК.
7. Перечислите и охарактеризуйте виды деформаций жидких кристаллов.
8. Запишите и поясните выражение для упругой энергии деформированного слоя нематического ЖК.
9. В чем заключается эффект поляризации жидких кристаллов?
10. Что такое перехода Фредерикса?
11. Опишите устройство и принцип работы жидкокристаллического модулятора света.

#### **Контрольные вопросы к Теме 5.**

1. Что такое фуллерены? Каковы их структурные особенности?
2. Опишите процесс получения фуллеренов.
3. В чем уникальность свойств фуллеренов?
4. Перечислите области применения фуллеренов.
5. Что такое наночастицы и нанотрубки? В чем уникальности свойств таких объектов? Каковы перспективы их использования в науке и технике?

#### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Основная литература**

1. Шаскольская М.П. Кристаллография. Учеб. пос. - М.: Высшая школа, 1984.
2. И.М. Нагибина, В.А.Москалев, Н.А.Полушкина, В.Л.Рудин. Прикладная физическая оптика. - М.: Высшая школа, 2002.

3. Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света, - М.: Радио и связь, 1987.
4. Бережной А.А., Мезенов А.В., Степанов А.И. Фотофизика оптических материалов. Учеб. пос., ЛЭТИ, 1998.
5. Мезенов А.В., Сомс Л.Н., Степанов А.И. Термооптика твердотельных лазеров. - Л.: Машиностроение, ленинград. отдел, 1986.
6. Каманина Н. В. Новые оптические материалы — фуллерены. Свойства и области применения. Учеб. пос., СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2002.
7. Рябцев Н. Г. Материалы квантовой электроники. М., 1972.

#### Дополнительная литература

1. Борн М., Вольф Э.. Основы оптики. - М.: Наука, 1973.
2. Аракелян С.М., Чилингарян Ю.С.. Нелинейная оптика жидких кристаллов.- М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984.
3. Вукс М.Ф.. Электрические и оптические свойства молекул и конденсированных сред. Уч. пос.- Л.: Изд. ЛГУ, 1984.
4. Яковкин И.Б., Петров Д.В. Дифракция света на акустических поверхностных волнах. Новосибирск : Изд-во Наука. Сибир.отд., 1979.
5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах/ Пер. с англ. Под ред. д-ра физ-мат. наук Р.А. Суриса.- М.: Мир, 1984.
6. Ярив А., Юх. П. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987.
7. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. Кластер  $C_{60}$  – новая форма углерода // УФН, 1991. Т. 161, №7, -С.173-192. Фуллерены // УФН, 1993. Т. 163, №2 - С. 33-60. Фуллерены и структуры углерода // УФН, 1995.Т.165, №9. - С. 977-1009.