



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Оптические свойства полупроводников**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Образовательная программа

**03.03.02 – Физика**

Профиль подготовки

**Фундаментальная физика**

Уровень высшего образования:

**Бакалавриат**

Форма обучения:

**Очная**

Статус дисциплины:


**Вариативная, по выбору**

**Махачкала 2020**

Рабочая программа дисциплины «Оптические свойства полупроводников» составлена в 2020 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 – Физика, профиль подготовки «Фундаментальная физика» (уровень: бакалавриат) от «07» августа 2014 г. №937.

Разработчики: кафедра физики конденсированного состояния и наносистем.

Хамидов М.М., д.ф.-м.н., профессор



Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры физики конденсированного состояния и наносистем от «22» 02 2020г., протокол № 6

Зав.кафедрой



Рабаданов М.Х.

на заседании методической комиссии физического факультета от «28» 02 2020 г., протокол № 6.

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласовано с учебно-методическим управлением «23» 03 2020 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина Оптические свойства полупроводников входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 – физика.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с получением знаний по оптике полупроводников, необходимые для понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках при взаимодействии с электромагнитным излучением. Рассматриваются такие явления как поглощение, люминесценция, фотопроводимость, оптическая перезарядка уровней и фоторазогрев носителей заряда.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общекультурных – ОК-7, общепрофессиональных – ОПК-2, профессиональных – ПК-1, ПК-2, ПК-5. Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Объем дисциплины 72 часа, 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Сем естр	Учебные занятия						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, эк- замен
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Всего	из них						
Лекции		Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации			
6	72	18	-	34	-		20	(зачет)

#### 1. Цели освоения дисциплины.

**Цель освоения дисциплины** «Оптические свойства полупроводников» - дать базовые знания по оптическим свойствам полупроводников, необходимые для понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках при взаимодействии с электромагнитным излучением, принципов работы приборов оптоэлектроники различного назначения, а также ознакомить с оптическими методами исследования полупроводниковых материалов.

**Задачи дисциплины.** Задачами курса является изучение основных принципов и законов оптики полупроводников и полупроводниковых структур, рассмотрение оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках: поглощение, внутренний фотоэффект, фотопроводимость, люминесценция; виды люминесценции; излучение в неоднородных изотропных и анизотропных средах; эффект Дембера, фотоэлектромагнитный эффект; фотовольтаический эффект в p-n переходах.

#### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Оптические свойства полупроводников» входит в блок Б1.В.ДВ.9.2 образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 – физика.

Для успешного освоения дисциплины необходимо знание всех курсов общей физики, электродинамику, физику полупроводников (основы зонной теории, основы статистики электронов и дырок), статистическую физику; основы квантовой теории. Кроме того для освоения данного курса полезны такие дисциплины как «Введение в физику полупроводников», «Метрология и стандартизация».

**3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).**

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ОК-7	Способность к самоорганизации и самообразованию	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• способы реализации самоорганизации и самообразования в образовательном процессе;</li> <li>• способы организации самостоятельной работы для изучения дисциплины</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ставить перед собой цели и формулировать задачи, определять и привлекать необходимые ресурсы для их достижения.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами организации и планирования самостоятельной деятельности и рационального использования времени, необходимых для достижения поставленных целей и задач;</li> <li>• способами самоконтроля, самоанализа, демонстрировать стремление к самосовершенствованию.</li> </ul>
ОПК-2	Способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей;	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• фундаментальные разделы математики: основы математического анализа, способы решения дифференциальных уравнений и др.;</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать базовые знания фундаментальных разделов математики для расшифровки теоретических положений физики конденсированных сред;</li> <li>• проводить теоретические оценки (расчеты) температурных зависимостей спектральных и кинетических параметров равновесных свойств;</li> <li>• определять пределы возможности принятых теоретических моделей при интерпретации свойств конденсированных сред обусловленных оптическим поглощением</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами работы с пакетом современных компьютерных программ;</li> <li>• математическими методами обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для интерпретации</li> </ul>

		<p>виде;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методом корреляционного анализа связи кинетических и равновесных свойств.</li> </ul>
ПК-1	Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Знать закон Бугера-Ламберта, суть явления поглощения и излучения в твердых телах;</li> <li>• Зонную модель твердого тела, классификация твердых тел по зонной модели</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• критически анализировать и излагать получаемую информацию, пользоваться учебной литературой, Internet – ресурсами</li> <li>• применять полученные знания в области физики конденсированного состояния при решении задач связанных с интерпретацией оптических и фотоэлектрических свойств.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками проведения научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований</li> <li>• навыками реализации информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</li> </ul>
ПК-2	Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	<p><b>Знает:</b></p> <p>методики исследования кинетических свойств и принцип работы современных установок, в том числе, автоматизированная установка для одновременных исследований оптических и фотоэлектрических свойств.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики явлений, обусловленных взаимодействием света с конденсированной средой;</li> <li>• использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для интерпретации спектральных и кинетических характеристик и параметров оптического поглощения, излучения и фотопроводимости</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности;</li> <li>• методикой и теоретическими основами</li> </ul>

		<p>анализа экспериментальной и теоретической информации, позволяющей учитывать влияния температуры и примесей в оптических явлениях;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками по составлению аналитических обзоров по кинетическим и спектральным свойствам новых функциональных материалов с целью выявления природы их формирования.</li> </ul>
ПК-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современные методы обработки, анализа и синтеза информации, полученной в эксперименте;</li> <li>• различные модели и методы теоретических расчетов энергетических и кинетических параметров.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования кинетических свойств твердых тел;</li> <li>• применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях оптических свойств твердых тел с учетом отечественного и зарубежного опыта;</li> <li>• применять полученные знания при решении задач на семинарских занятиях и при выступлении на студенческих научных форумах.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками решения задач для описания поведения оптических свойств полупроводников в зависимости от структуры и типа межатомной связи;</li> <li>• современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред;</li> <li>• навыком прогнозирования оптических свойств при создании новых материалов.</li> </ul>

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, **72** академических часа.

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единиц, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ пп	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации
				лекц	пр.	лаб	сам.	
<i>Модуль 1</i>								
1	Введение. Зонная теория. Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения	6	1-4	4	8		4	Проверка рефератов, устный опрос, экспресс-тестирование
2	Люминесценция. Типы люминесценции	6	5-7	2	4		2	
3	Фотопроводимость полупроводников. Релаксация.	6	8-9	2	4		2	
<i>Модуль 2</i>								
4	Собственная фотопроводимость. Примесная фотопроводимость.	6	10-11	2	4		2	Устный опрос, экспресс-тестирование
5	Влияние ловушек на кинетические параметры	6	12-13	2	4		2	
6	Эффект Дембера Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах		14-15	4	4		4	
7	Светодиоды. Инжекционные лазеры	6	16-17	2	6		4	
8	Зачет	6						7
	Итого: 72			18	34		20	Зачет - тестирование

**Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).**

***Модуль 1. Основы зонной теории***

**Лекции**

**Тема 1. Зонная теория. Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения**

Уравнение Шредингера. Классификация тел по зонной модели. Виды взаимодействия света с твердым телом; оптические константы. Спектр поглощения и спектр отражения оптического излучения. Энергетические состояния в полупроводниковых кристаллах. Собственное поглощение света, прямые и непрямые переходы. Экситонное поглощение, поглощение свободными носителями заряда, примесное и решеточное поглощение. Поглощение сильно легированных и аморфных полупроводников.

**Тема 2. Люминесценция полупроводников. Типы люминесценции.**

Определение Вавилова. Типы люминесценции. Рекомбинационное излучение в полупроводниках. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные центры. Экситонная рекомбинация. Релаксация люминесценции в полупро-

водниках. Тушение люминесценции.

### **Тема 3. Фотопроводимость полупроводников. Релаксация.**

Фотопроводимость полупроводников, ее классификация: примесная, собственная, прыжковая фотопроводимости. Условия их наблюдения и различия. Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости.

## **Модуль 2. Механизмы фотоэффектов, светодиоды, лазеры.**

### **Тема 4. Собственная фотопроводимость. Примесная фотопроводимость.**

Времена жизни носителей и времена релаксации фотопроводимости. Спектральная зависимость фотопроводимости. Основные механизмы рекомбинации носителей заряда и температурная зависимость примесной фотопроводимости.

### **Тема 5. Влияние ловушек на кинетические параметры.**

Оптическая перезарядка локальных уровней в запрещенной зоне при собственном и примесном возбуждении неравновесных носителей заряда. Влияние оптической перезарядки на подвижность носителей заряда и на времена их жизни, на спектральные зависимости поглощения и фотопроводимости. Фотоэлектрические эффекты, обусловленные оптической перезарядкой уровней.

### **Тема 6. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах**

Эффект Дембера в однородных и неоднородных полупроводниках. Фотоэлектромагнитный эффект, условия его наблюдения. Фотовольтаический эффект в р-п переходах, условия его наблюдения. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников.

### **Тема 7. Светодиоды. Инжекционные лазеры.**

Условие возникновения излучения в р-п переходе. Спонтанное и вынужденное излучение. Вырожденный полупроводник. Создание инверсной заселенности уровней зон в р-п переходах с использованием вырожденных полупроводников.

## **Темы практических и семинарских занятий**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Основы зонной теории. Поглощение света полупроводниками.	Зонная модель полупроводников. Зона проводимости и валентная зона. Распространение света в полупроводниках. Соотношение Крамерса-Кронига. Уравнение поглощения. Виды поглощения. Форма края основного поглощения в прямозонном и непрямозонном полупроводнике. Влияние внешних факторов на край основного оптического поглощения. Примесное поглощение. Решеточное поглощение, однофононный резонанс.
2	Люминесценция полупроводников. Виды люминесценции	Виды излучательных процессов. Межзонная рекомбинация. Зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда от положения уровня Ферми, температуры и уровня возбуждения. Примесное излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.



3	Фотопроводимость полупроводников. Релаксация.	Фоторезистивный эффект. Собственная и примесная фотопроводимости. Биполярная и монополярная фотопроводимости. Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости.
4	Собственная фотопроводимость. Примесная проводимость и ее особенности. Спектральные распределения.	Спектральная зависимость собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации. Температурная зависимость собственной фотопроводимости. Особенности примесной фотопроводимости. Примесная фотопроводимость, связанная с одним типом уровней. Основные механизмы рекомбинации.
5	Влияние ловушек на кинетические параметры	Влияние уровней прилипания на стационарную фотопроводимость и стационарные времена жизни электронов и дырок. Температурное и ИК гашение фотопроводимости и люминесценции. Оптическая перезарядка примесных центров и кинетика примесной фотопроводимости. Влияние перезарядки на кинетику примесной фотопроводимости.
6	Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фото-вольтаический эффект в р-п переходах	Эффект Дембера в полупроводниках. Физическое описание фотоэлектромагнитного эффекта. Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников. Особенности фотовольтаических эффектов в р-п переходах. Ток короткого замыкания и ЭДС холостого хода.
7	Светодиоды. Инжекционные лазеры.	Физический принцип работы светодиодов. Механизмы рекомбинационных процессов. Условие возникновения вынужденного излучения в полупроводниковых переходах.

### Самостоятельная работа бакалавров

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Труд. емк.
1	Основы зонной теории. Поглощение света полупроводниками.	Энергетические структуры основных полупроводников. Взаимодействие электромагнитного излучения с твердым телом. Механизмы поглощения света в твердых телах.	4

2	Люминесценция полупроводников. Виды люминесценции	Виды люминесценции. Механизмы излучательной рекомбинации. Спектральное распределение рекомбинационного излучения.	2
3	Фотопроводимость полупроводников. Релаксация.	Центры рекомбинации и центры прилипания. Влияние центров прилипания на релаксацию неравновесной проводимости. Кривые релаксации.	2
4	Собственная фотопроводимость. Примесная проводимость и ее особенности. Спектральные распределения.	Спектральная зависимость собственной фотопроводимости. Температурная зависимость собственной фотопроводимости. Особенности примесной проводимости. Индуцированная примесная фотопроводимость.	2
5	Влияние ловушек на кинетические параметры	Термостимулированная проводимость. Отрицательная фотопроводимость.	2
6	Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаический эффект в р-п переходах	Полупроводниковые преобразователи солнечной энергии	4
7	Светодиоды. Инжекционные лазеры.	Инжекционные лазеры и светодиоды на основе гетеропереходов	4
	Итого		20

## 5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «Оптические свойства полупроводников» применяются следующие образовательные технологии:

- Интерактивное обучение (моделирующие компьютерные программы, виртуальные учебные комплексы), мультимедийное обучение (презентации, моделирование и симуляция процессов и объектов).

- Внеаудиторная самостоятельная работа студентов.
- Промежуточная аттестация знаний студентов.

Для освоения дисциплины используются электронные базы учебно-методических ресурсов, электронные библиотеки.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, с использованием современных информационных технологий обучения и демонстрации в учебном процессе составляет не менее 70% лекционных занятий.

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

1. Информационные технологии.
2. Проблемное обучение.
3. Индивидуальное обучение.
4. Междисциплинарное обучение.
5. Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций при изучении дисциплины «Оптические

свойства полупроводников» используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, семинар, лабораторные работы, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Промежуточный контроль.**

Самостоятельная работа студентов, предусмотрена учебным планом в объеме не менее 50%, в том числе подготовка к экзаменам и зачетам, от общего количества часов. Она необходима для более глубокого усвоения изучаемого курса, формирования навыков исследовательской работы и умение применять теоретические знания на практике. Самостоятельная работа должна носить систематический характер. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- повторения пройденного материала;
- подготовки к лабораторно-практическим работам;
- оформления лабораторно-практических работ (заполнение таблиц, решение задач, написание выводов);
- подготовки к контрольным работам;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины.

**7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

**7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.**

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОК-7	Способность к самоорганизации и самообразованию	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• способы реализации самоорганизации и самообразования в образовательном процессе;</li> <li>• способы организации самостоятельной работы для изучения дисциплины</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ставить перед собой цели и формулировать задачи, определять и привлекать необходимые ресурсы для их достижения.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами организации и планирования самостоятельной деятельности и рационального</li> </ul>	Устный опрос, письменный опрос

		<p>использования времени, необходимых для достижения поставленных целей и задач;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• способами самоконтроля, самоанализа, демонстрировать стремление к самосовершенствованию.</li> </ul>	
ОПК-2	<p>Способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей;</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• фундаментальные разделы математики: основы математического анализа, способы решения дифференциальных уравнений и др.;</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать базовые знания фундаментальных разделов математики для расшифровки теоретических положений физики конденсированных сред;</li> <li>• проводить теоретические оценки (расчеты) температурных зависимостей спектральных и кинетических параметров равновесных свойств;</li> <li>• определять пределы возможности принятых теоретических моделей при интерпретации свойств конденсированных сред, обусловленных оптическим поглощением.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами работы с пакетом современных компьютерных программ;</li> <li>• математическими методами обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для интерпретации виде;</li> <li>• методом корреляционного анализа связи кинетических и равновесных свойств.</li> </ul>	Письменный опрос
ПК-1	<p>Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физи-</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные положения зонной теории и модели твердых тел и квалификацию твердых тел по зонной модели.</li> <li>• основные модели и механизмы</li> </ul>	Устный опрос

	<p>ческих дисциплин</p>	<p>электронно-дырочных переходов в полупроводниках в неравновесных условиях;</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>критически анализировать и излагать получаемую информацию, пользоваться учебной литературой, Internet – ресурсами</li> <li>применять полученные знания в области физики конденсированного состояния при решении задач связанных с интерпретацией оптических свойств с учетом зонной модели.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>навыками проведения научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований</li> <li>навыками реализации информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</li> </ul>	
<p>ПК-2</p>	<p>Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p>	<p><b>Знает:</b></p> <p>методики исследования оптических свойств и принцип работы современных установок, в том числе, автоматизированная установка для одновременных исследований оптических и фотоэлектрических свойств.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики явлений, обусловленных взаимодействием света с конденсированной средой;</li> <li>использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для интерпретации спектральных и кинетических характеристик и параметров оптического поглощения, излучения и фотопроводимости</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p>	<p>Мини-конференция</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности;</li> <li>• методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации, позволяющей учитывать влияния температуры и примесей в оптических явлениях;</li> <li>• навыками по составлению аналитических обзоров по кинетическим и спектральным свойствам новых функциональных материалов с целью выявления природы их формирования.</li> </ul>	
ПК-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современные методы обработки, анализа и синтеза информации, полученной в эксперименте;</li> <li>• различные модели и методы теоретических расчетов энергетических и кинетических параметров примесных центров.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования оптических свойств твердых тел;</li> <li>• применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях оптических свойств твердых тел с учетом отечественного и зарубежного опыта;</li> <li>• применять полученные знания при решении задач на семинарских занятиях и при выступлении на студенческих научных форумах.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками решения задач для описания поведения оптических свойств полупроводников в зависимости от структуры и типа</li> </ul>	Устный опрос, круглый стол

		межатомной связи; •современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред; •навыком прогнозирования оптических свойств при создании новых материалов.	
--	--	--	--

## 7.2. Типовые контрольные задания

### Контрольные вопросы

1. Различие металлов, полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории.
2. Что представляет собой энергетический спектр электронов в кристалле?
3. Понятие о собственных и примесных полупроводниках.
4. Функция распределения электронов.
5. В чем состоят явления генерации и рекомбинации носителей заряда?
6. Электропроводность полупроводников. Понятие о подвижности носителей.
7. Явление внутреннего фотоэффекта в полупроводниках.
8. Как образуются избыточные носители тока в полупроводниках под действием квантов света?
9. Что такое "темновая" электропроводность полупроводника?
10. Возможные типы переходов электронов при поглощении квантов света.
11. Характер зависимости фототока от светового потока, падающего на фотосопротивление (световая характеристика).
12. Метод исследования вольтамперных и световых характеристик фотосопротивлений в данной работе.
13. Каков физический смысл коэффициента поглощения?
14. Виды оптического поглощения в полупроводниках.
15. Понятие о прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
16. Прямые переходы. Диаграмма взаимодействия и законы сохранения для прямых переходов.
17. Непрямые переходы. Диаграмма взаимодействия и законы сохранения для не прямых переходов.
18. Форма края собственного поглощения при прямых переходах.
19. Форма края собственного поглощения при не прямых переходах.
20. Люминесценция полупроводников.
21. Укажите область энергий фотонов, в которой обнаруживаются не прямые переходы в непрямозонном полупроводнике.
22. Какую информацию можно получить из исследований спектров собственного поглощения?
23. Как определить тип оптических переходов в полупроводнике?
24. Что такое оптическая плотность?
25. Как из измерений пропускания рассчитать коэффициент поглощения?
26. Закон Бугера - Ламберта.
27. Что такое внешний фотоэффект
28. Внутренний фотоэффект.
29. Удельная фоточувствительность.
30. Что связывают соотношения Крамерса-Кронига.

31. Что такое коэффициент, пропускания, поглощения.
32. Как выглядит релаксация фотопроводимости при малом уровне возбуждения.
33. В чем отличие поперечной ЭДС в фотоэлектромагнитном эффекте от ЭДС Холла.
34. Почему спектр излучения более узкий, чем спектр поглощения.
35. Виды люминесценции.
36. Принцип работы светодиода.
37. Спонтанное и вынужденное излучение.
38. Принцип работы инжекционного лазера

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

**Лекции - Текущий контроль** включает:

- посещение занятий \_\_ 10 \_\_ бал.
- активное участие на лекциях \_\_ 15 \_\_ бал.
- устный опрос, тестирование, коллоквиум \_\_ 60 \_\_ бал.
- и др. (доклады, рефераты) \_\_ 15 \_\_ бал.

**Практика - Текущий контроль** включает:

(от 51 и выше - зачет)

- посещение занятий \_\_ 10 \_\_ бал.
- активное участие на практических занятиях \_\_ 15 \_\_ бал.
- выполнение домашних работ \_\_ 15 \_\_ бал.
- выполнение самостоятельных работ \_\_ 20 \_\_ бал.
- выполнение контрольных работ \_\_ 40 \_\_ бал.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

#### **Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:**

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно

«51 – 65» баллов – удовлетворительно

«66 - 85» баллов – хорошо

«86 - 100» баллов – отлично

«51 и выше» баллов – зачет учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

### **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **а) Основная литература:**

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
2. К. В. Шалимова. Физика полупроводников. М., Энергоатомиздат, 1985.
3. Н. Ашкрофт. Физика твёрдого тела : - М. : Мир, 1979.
4. А. С. Давыдов, Теория твердого тела : - М. : Наука, 1976. - 640 с.
5. Дж. Вайман, Принципы теории твёрдого тела - М. : Мир, 1974. - 472 с.
6. А. А. Кацнельсон, Введение в физику твёрдого тела : пособие для студ. физ. спец. ун-тов - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984. - 294 с
7. А. Г. Гуревич, Физика твёрдого тела : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов и техн. ун-тов] Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе РАН. - СПб. : Нев. диалект: БХВ-Петербург, 2004- 318с.

#### **Дополнительная литература:**

1. В. И. Зиненко, Основы физики твёрдого тела : учеб. пособие для вузов : Физматлит,



2001. - 336 с.

2. Ю.Питер. Основы физики полупроводников : Пер. с англ. под ред. П.Захарчени. - М. : Физматлит, 2002. - 560 с
3. В.Павлов, Физика твёрдого тела : учеб. для вузов по направлению "Физика" и др. М. : Высшая школа, 2000 - 493с.

#### **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

1. Международная база данных Scopus по разделу физика полупроводников <http://www.scopus.com/home.url>
2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier по тематике физика полупроводников <http://www.sciencedirect.com/>
3. Ресурсы Российской электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru), включая научные обзоры журнала Успехи физических наук [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru)
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. Ресурсы МГУ [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru).
7. Методы получения наноразмерных материалов/ курс лекций и руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург. 2007.
8. [http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp\\_sost\\_SS.pdf](http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp_sost_SS.pdf)
9. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>.
10. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
11. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредитации (<http://www.fepo.ru/>)
12. <http://www.nanometer.ru/lecture.html?id=165151&UP=156195&TP=USER>

#### **Интернет-ресурсы**

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки магистра по направлению 03.04.02 – физика:

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/> Лицензионный договор № 2693/17 от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Доступ открыт с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке (доступ будет продлен)
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) договор № 55\_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг. (доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеке на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение).
4. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания(доступ будет продлен).
5. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
7. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
8. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>

9. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
10. Федеральный центр образовательного законодательства <http://www.lexed.ru>
11. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
12. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.
13. Springer. Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ предоставлен на неограниченный срок
14. SCOPUS <https://www.scopus.com> Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору №Scopus/73 от 08 августа 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
15. Web of Science - [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com) Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Договор действует с момента подписания по 30.03.2017г. (*доступ будет продлен*)
16. «Pro Quest Dissertation Theses Global» (PQDT Global). - база данных зарубежных – диссертации. Доступ продлен согласно сублицензионному договору № ProQuest/73 от 01 апреля 2017 года <http://search.proquest.com/>. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
17. Sage - мультидисциплинарная полнотекстовая база данных. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № Sage/73 от 09.01.2017 <http://online.sagepub.com/> Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
18. American Chemical Society. Доступ продлен на основании сублицензионного договора №ACS/73 от 09.01.2017 г. [pubs.acs.org](http://pubs.acs.org) Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)
19. Science (академическому журналу The American Association for the Advancement of Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № 01.08.2017г. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (*доступ будет продлен*)

#### **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Перечень вопросов, включенных в рабочую программу дисциплины, может быть дополнен отдельными разделами из последних научных достижений в данной области, отраженных в современных обзорах, опубликованных в журналах «Успехи физических наук», «Физика и техника полупроводников», «Физика твердого тела», «Оптика и спектроскопия», «Неорганические материалы», Материалы Международных конференций по опто-, наноэлектронике, нанотехнологии и микросистемам и физической электронике и др.

#### **Тесты для текущего и промежуточного контроля**

#### **Поглощение. Уравнение Бугера-Ламберта.**

#### **1. Поглощение электромагнитных волн определяется следующим уравнением**

- 1)  $J = J_0 e^{kx}$
  - 2)  $J = J_0 e^{-kx}$
  - 3)  $J = J_0 kx$
  - 4)  $J = -J_0 kx$ ,
- где  $k$  – коэффициент поглощения.

## 2. Собственное поглощение:

1. В результате собственного поглощения электрон из валентной зоны переходит в зону проводимости только с сохранением волнового вектора.
2. В результате собственного поглощения электроны из валентной зоны переходят на примерный уровень.
3. Собственное поглощение осуществляется только для собственных полупроводников.
4. Собственное поглощение приводит к переходу электронов на более высокий энергетический уровень в валентной зоне.
5. Собственное поглощение приводит к переходу электронов на более высокий энергетический уровень в зоне проводимости.

## 3. Экситонное поглощение

1. При экситонном поглощении в зоне проводимости возникают электроны из акцепторных уровней.
2. При экситонном поглощении в зоне проводимости возникают электроны из донорных уровней.
3. При экситонном поглощении в зоне проводимости возникают электроны из валентной зоны.
4. При экситонном поглощении не возникают свободные электроны и дырки.
5. Экситонное поглощение и поглощение свободными носителями одно и то же.

## 4. Поглощение света свободными носителями заряда

1. Это поглощение света вследствие передачи энергии (и импульса) от фотонов к электронам, приводящее к ионизации соответствующих примесных центров.
2. При этом свободные электроны переходят на более высокие уровни в зоне проводимости и кристалл охлаждается.
3. При этом свободные электроны переходят на более высокие уровни в зоне проводимости и кристалл разогревается.
4. При этом поглощении возникает примесная фотопроводимость.

## 5. Поглощение света кристаллической решеткой:

1. Поглощение света кристаллической решеткой происходит в результате взаимодействия электромагнитного поля световой волны с движущимися зарядами узлов решетки.
2. Это поглощение наблюдается в том случае, когда энергия поглощаемого фотона затрачивается на переброс электрона из дна валентной зоны на дно зоны проводимости.
3. Когда в результате этого поглощения появляются носители заряда одного типа.
4. При этом поглощении спектр поглощения лежит в коротковолновой области.

## 6. Фотопроводимость

1. При собственной фотопроводимости и концентрации неравновесных носителей возрастают следующим образом:  $\Delta n = \Delta p = \beta k J t$ , где  $\beta$  - квантовый выход,  $k$  - коэффициент поглощения,  $J$  - интенсивность света,  $t$  - время освещения.
2.  $\Delta n = \beta k J \tau_n$ , где  $\tau_n$  - время жизни электронов.
3. или  $\Delta n = e \mu_n \beta k J \tau_n$ , где  $\tau_n$  и  $\mu_n$  - время жизни и подвижность электронов в полупроводнике.
4.  $\Delta n = N_c e^{\frac{F}{kT}}$ ,  $F$  - уровень Ферми,  $N_c$  - эффективная плотность электронов в зоне проводимости.

## 7. Время жизни неравновесных носителей определяется так:



3. Спадает экспоненциально по мере удаления границы света
4. Растет квадратично по мере возрастания эффективной длины.

**16. ЭДС Дембера возрастает в результате:**

1. Однородного возбуждения однородного полупроводника;
2. Неоднородного возбуждения однородного полупроводника;
3. Однородного возбуждения однородно легированного полупроводника
4. Однородного собственного возбуждения полупроводника.

**17. Фотомагнитоэлектрический эффект Кикоина-Носкова состоит:**

1. В возникновении поперечной разности потенциалов в постоянном магнитном поле при облучении полупроводника светом.
2. В возникновении продольной разности потенциалов в постоянном магнитном поле при облучении полупроводника светом.
3. В возникновении продольной разности потенциалов в постоянном магнитном поле при облучении однородного полупроводника светом из области собственного поглощения.

Правильные ответы

Вопросы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ответы	2	1	4	2	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	3	2	1

**11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

1. Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

**12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

1. Закрепление теоретического материала и приобретение практических навыков исследования свойств и обработки данных обеспечивается в последующем в лабораториях при проведении Специального физического практикума (Б1.В.ОД.16). При проведении занятий используются лаборатории, оснащенные современным технологическим и измерительным оборудованием.
2. При изложении теоретического материала используется лекционная аудитория, оснащенная проекционным оборудованием и интерактивной доской. Кафедра располагает необходимыми установками, технологическим оборудованием, приборами, не только для выполнения специального физического практикума, но и выполнения соответствующих курсовых и диссертационных работ. Имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копии периодических изданий и т. д.