



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

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур
и квантово-размерных частиц**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Образовательная программа
03.04.02 – Физика

Профиль подготовки:
Физика наносистем

Уровень высшего образования:
Магистратура

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
вариативная

Махачкала 2020

Рабочая программа дисциплины «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур и квантово-размерных частиц» составлена в 2020 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 – Физика, профиль подготовки «Физика наносистем» (уровень: магистратура) от «28» августа 2015 г. №913.

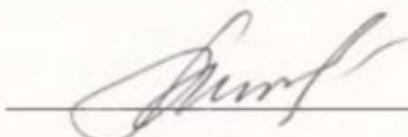
Разработчики: кафедра физики конденсированного состояния и наносистем.

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

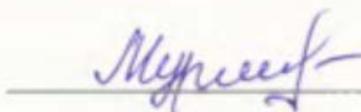
/ Зав.кафедрой



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 «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур и квантово-размерных частиц» входит в профессиональную часть образовательной программы *магистратуры* по направлению **03.04.02. -Физика**.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем. Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами зонной теории и оптики твердых тел, проявляющих свойства полупроводников, диэлектриков и металлов. Рассмотрены основные модели и экспериментальные сведения по светоизлучающим и фотоэлектрическим свойствам объемных фаз полупроводников и полупроводниковых систем пониженной размерности, таких как поверхности, границы раздела, пористые материалы. Излагаются данные по влиянию различных воздействий, таких как нагрев, деформация, а также электрических и магнитных полей, на оптические свойства твердых тел. Рассмотрены закономерности рассеяния света в твердых телах и пористых наноматериалах.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

обще профессиональных: ОПК–6;

профессиональных: ПК–2, ПК–3.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – контрольная работа и промежуточный контроль в форме зачета,

Объем дисциплины 4 зачетные единицы, в том числе 144 в академических часах по видам учебных занятий

Се- мест р	Учебные занятия						Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							СРС, в том числе экзамен
	Все- го	из них						
Лек- ции		Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	кон- суль- тации			
В	144	50			94	94	зачет	

1. Цели освоения дисциплины Спецкурс «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур и квантово-размерных частиц» вводится для магистров, специализирующихся по образовательной магистерской программе «Физика наносистем». Целью дисциплины является изучение физических основ ряда оптических и фотоэлектрических явлений на основе раскрытия зонной модели твердых тел и структуры реальных кристаллов, в том числе наноструктур. К завершению спецкурса магистр должен: знать механизмы поглощения света; четко различать виды поглощения; знать связь между поглощением, люминесценцией и фотопроводимостью; уметь экспериментально исследовать спектральную зависимость поглощения, излучения и фотопроводимости; на основе анализа полученных результатов уметь сделать соответствующие физические выводы.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур и квантово-размерных частиц» входит в блок **Б1.В.ОД.6** и относится к дисциплинам по выбору части дисциплин образовательной программы (ФГОС ВО) магистратуры по направлению 03.04.02 – физика наносистем.

Изучающие данную дисциплину магистры должны иметь следующие базовые знания по: зонной структуре твердых тел и систем с пониженной размерностью; законам поглощения и излучения в различных конденсированных средах; законам сохранения энергии, импульса и момента количества движения; методам квантового описания частиц на основе концепции волновых функций, строению атомов и молекул (в объеме знаний курса атомной физики), квантовой механике; статистическим законам распределения.

Данная дисциплина является базовой для изучения дисциплин: «Рентгеноструктурный анализ наносистем», «Механические, кинетические и магнитные свойства наносистем», «Оптическая спектроскопия систем пониженной размерности», «Диэлектрические и теплофизические свойства наноструктурированных материалов», а так же научно – исследовательской, научно – педагогической и научно – производственной практик.

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

Код компетенции из ФГОС ВО	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОПК-6	<i>способность</i> использовать знания современных проблем физики и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • современные представления о взаимодействии света с веществом в конденсированном состоянии • механизмы поглощения и излучения • разнообразные практические приложения. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики оптических переходов; • применять полученные знания при решении задач на выступлениях, на семинарских занятиях; • применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач по физике оптических явлений в твердых телах и низкоразмерных структурах; • проводить научные исследования в области оптического поглощения и излучения полупроводников и нано-

		<p>структурс помощью современной приборной (в том числе сложного физического оборудования) базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами исследования полупроводников и наносистемоптическими методами • навыками решения задач по интерпретации свойств на основе зонной структурой
ПК-2	Способность свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; • базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики; • методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики оптических процессов в твердых телах и низкоразмерных структурах <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики оптических свойств материалов; • использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по связанным с поглощением и излучением в конденсированных ; • пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями процессов протекающих при взаимодействии света с веществом. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики твердого тела; • методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики и низко-

		<p>размерных материалов.</p> <ul style="list-style-type: none"> • владеть разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности
ПК-3	Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности.	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • как строить и использовать простейшие модели при интерпретации оптических свойств твердотельных структур; • инновационные методы исследований структуры и оптических свойств материалов и как решаются задачи по интерпретации связи свойств с энергетической структурой. • что востребовано практикой на текущий момент и как решать научно – инновационные задачи и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • самостоятельно формулировать конкретные задачи научных исследований в области оптических свойств наносистем решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта • генерировать идеи по улучшению и изменению технологий синтеза и легирования твердотельных структур, а так же и их оптимизации, <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • техникой экспериментальных исследований оптических свойств материалов, • методами расчетов параметров центров ответственных за поглощение и излучение твердотельных структур, • Экспресс анализом, полученных результатов • владеть знаниями, необходимыми для решения научно-инновационных задач оптики твердых тел и наносистем

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет **4** зачетные единицы, **144** академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1.									
1	Основы зонной теории твердого тела.	3	1	4				8	Устный опрос
2	Классификация твердых тел по зонной теории.		2	2				4	
3	Взаимодействие света с металлами и диэлектриками		3	2				4	Устный опрос Контрольная работа
4	Поглощение света в полупроводниках.		3	2				4	
5	Механизмы поглощения		4	2				4	
	Итого по модулю 1: 36 час			12				24	
Модуль 2									
6	Экситонное и примесное поглощение света. Эмиссия излучения из твердых тел.	3	5	4				8	Устный опрос
7	Фотонные кристаллы. Фотонные запрещенные зоны.		6-7	6				12	Устный опрос
8	Основы теории фотонных кристаллов		8	2				4	Контрольная работа
	Итого по модулю 2: 36 час			12				24	
Модуль 3									
9	Влияние размеров тел на их оптические свойства (I) и (II)	3	9	4				8	Устный опрос
10	Экситоны в полупроводниковых наноструктурах		10	2				4	
11	Оптические свойства твердотельных нанокомпозитов.		11	4				8	Устный опрос Контрольная работа
12	Оптические явления в неоднородных твердотельных системах		12	2				4	

	Итого по модулю 3: 36 час			12				24	
Модуль4.									
1	Элементы нелинейной оптики наноструктур и нанокompозитов.		13	4				6	Устный опрос
2	Динамика экситонов в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов		14	2				4	
1	Нелинейные оптические явления в твердотельных системах		15	4				6	Устный опрос Контрольная работа
2	Оптические свойства и применения полупроводниковых наноструктур		16-17	4				6	
	Итого по модулю4 : 36 час			14				22	
	ИТОГО: 144 час			50				94	Зачет

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

Модуль 1.

Тема1.Основы зонной теории твердого тела. Уравнение Шредингера. Приближенное решение уравнения Шредингера;

Тема 2.Классификация твердых тел по зонной теории. Проводники, диэлектрики, полупроводники.

Тема 3.Взаимодействие света с металлами и диэлектриками

Тема 4. Поглощение света в полупроводниках. Уравнение Бугера-Ламберта. Коэффициент поглощения . Спектры.

Тема 5.Механизмы поглощения.

Модуль 2

Тема 1.Экситонное и примесное поглощение света.

Тема 2. Эмиссия излучения из твердых тел. Спонтанное и вынужденное излучение.

Тема 3.Фотонные кристаллы. Фотонные запрещенные зоны.

Тема 4. Основы теории фотонных кристаллов

Модуль 3.

Тема 1.Влияние размеров тел на их оптические свойства (I).

Тема 2.Влияние размеров тел на их оптические свойства (II).

Тема 3.Экситоны в полупроводниковых наноструктурах.

Тема 4.Оптические свойства твердотельных нанокompозитов.

Тема 5.Оптические явления в неоднородных твердотельных системах

Модуль 4.

Тема 1.Элементы нелинейной оптики наноструктур и нанокompозитов.

Тема 2.Динамика экситонов в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов

Тема 3.Нелинейные оптические явления в твердотельных системах

Тема 4.Оптические свойства и применения полупроводниковых наноструктур

5. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки реализация компетентностного подхода дисциплина предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций, лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, про-

блемная лекция, лекция-визуализация) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. В рамках учебных курсов предусмотрены лекции в сочетании с научными экспериментами на установках кафедры.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью программы, особенностью контингента обучающихся, и в целом в учебном процессе по данной дисциплине они должны составлять не менее 30 часов аудиторных занятий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

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 и дискуссии на семинарских занятиях, проверка письменных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- повторения пройденного материала;
- подготовки к контрольным работам;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;
- работы с периодическими изданиями – научными статьями и обзорами по теме;
- составление обзора по механическим, кинетическим и магнитным свойствам перспективных наноматериалов на основе публикаций из рейтинговых отечественных и зарубежных журналов.

Итоговый контроль. Зачет, включающий проверку теоретических знаний по всему пройденному материалу.

Примерные темы для самостоятельной работы.

1. Методы получения наноразмерных структур
2. Зонные структуры наноструктур.
3. Особенности рассеяние света в низкоразмерных структурах и композитах.
4. Экситоны и их комплексы
5. Экспериментальные методы исследования наноструктур

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 достижения компетенции	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-6 Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	Способен использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	Знает: <ul style="list-style-type: none"> • современные достижения в разработке аппаратуры и методик оптических исследований веществ; • возможности оптических методов для исследования наносистем; возможности современных 	Устный опрос, письменный опрос

		<p>программных средств при оптических исследованиях</p> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области оптических методов исследования материалов; • применять полученные знания при решении задач на выступлениях, на семинарских занятиях; • применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач по изучению структуры полупроводников; • проводить научные исследования с помощью современной приборной (в том числе сложного физического оборудования) и технологической базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • практическими навыками работы на исследовательском оптическом оборудовании; • представлением об основных принципах работы исследовательского оптического оборудования. 	
<p>ПК-2</p> <p>Способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.</p>	<p>Свободно владеет разделами физики наносистем, необходимыми для решения научно – инновационных задач; способность к применению результатов научных исследований при выполнении магистерской диссертации и в инновационной деятельности.</p>	<p><u>Знает:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; • базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики; • методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области спектрального анализа материалов; • физические основы методов 	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

		<p>анализа;</p> <p><u>Умеет:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области взаимодействия излучения с веществом; • использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по анализу веществ; • пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями при расшифровке структур материалов. <p><u>Владеет:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области структурного анализа материалов; • техническими и физическими основами проведения: качественного спектрального анализа; определения размера частиц порошка по данным оптических спектров; • разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности. 	
<p>ПК-3</p> <p>Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности.</p>	<p>Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности.</p>	<p><u>Знает:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • принцип работы и конструкции различных источников и приёмников оптического излучения; • теоретические основы работы различных спектральных приборов. • что востребовано практикой на текущий момент и как решать научно – инновационные задачи и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности <p><u>Умеет:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • самостоятельно формулиро- 	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

		<p>вать конкретные задачи научных исследований в области физики наносистем и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <ul style="list-style-type: none"> • максимально эффективно использовать возможности имеющегося оптического оборудования • генерировать идеи по разработке оборудования и программного обеспечения для спектрального анализа. <p><u>Владеет:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • техникой экспериментальных исследований структуры материалов, • методикой определения толщины слоев тонкопленочных многослойных наноструктур методом оптической спектроскопии • владеть знаниями, необходимыми для решения научно-инновационных задач физики наносистем 	
--	--	---	--

7.2. Типовые контрольные задания

1. Текущий и промежуточный контроль качества усвоения материала

Проверка качества усвоения знаний осуществляется в течении всего семестра, как в устной (отчеты по индивидуальным заданиям, работа на практических и семинарских занятиях, коллоквиумы по теории, проверка подготовленности к выполнению лабораторных работ, беседы по итогам их выполнения и т.д.), так и в письменной форме (групповая контрольная работа, тестирование).

Примерные тесты для текущего и промежуточного контроля

1. Поглощение. Уравнение Бугера-Ламберта.

Поглощение электромагнитных волн определяется следующим уравнением

$$1) J = J_0 e^{kx} \quad 2) J = J_0 e^{-kx} \quad 3) J = J_0 kx$$

$$4) J = -J_0 kx, \text{ где } k \text{ – коэффициент поглощения.}$$

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 β - квантовый выход, k - коэффициент поглощения, J - интенсивность света, t - время освещения.
 2. $\Delta n = \beta k J \tau_n$, где τ_n - время жизни электронов.
 3. или $\Delta n = e \mu_n \beta k J \tau_n$, где τ_n и μ_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:
1. $\tau_n = \frac{1}{q_n \nu_n p}$, где q_n, ν_n, p - соответственно сечение захвата, относительная скорость движения электрона и дырок, концентрация дырок.
 2. $\tau_n = q_n \nu_n p$; 3. $\tau_n = e^{q_n \nu_n p}$; 4. $\tau_n = \frac{P}{q_n \nu_n}$
8. Релаксация фотопроводимости определяется:
1. Временем жизни носителей τ (τ_n и τ_p);
 2. Наличием ловушек (малой и высокой концентрации)
 3. Шириной зоны проводимости
 4. Энергией ионизации.
9. На монополярную фотопроводимость влияют:
1. α -центры прилипания
 2. Демакационные центры прилипания

3. Только β -центры прилипания
 4. Центры рекомбинации.
10. Какую роль играет постоянная подсветка на релаксацию фотопроводимости при наличии α -прилипания:
1. Увеличение постоянной подсветки приводит к увеличению роли α прилипания, т.е. к уменьшению β и τ ;
 2. Увеличение постоянной подсветки приводит к уменьшению α , что увеличивает β и τ ;
 3. Не оказывает никакого влияния
 4. Увеличение подсветки приводит к приближению наклона второго участка к первому.
11. Каковы особенности при монополярной фотопроводимости:
1. Монополярная фотопроводимость бывает только электронной;
 2. Монополярная фотопроводимость бывает только дырочной;
 3. Монополярная фотопроводимость бывает только примесной;
 4. Монополярная фотопроводимость бывает и электронной и дырочной одновременно.
12. При излучательной рекомбинации свободных электронов и дырок:
1. $\tau_n = \tau_p$
 2. $\tau_n > \tau_p$
 3. $\tau_n < \tau_p$
 - 4) $\tau_n \gg \tau_p$
13. Критерий монополярности примесной фотопроводимости. Условием монополярности является:
1. $\frac{\Delta n}{\Delta p} \gg 1 \quad \text{и} \quad \frac{\Delta p}{\Delta n} \gg 1$
 - 2) $\frac{\Delta n}{\Delta p} = 1$
 2. $\Delta n + \Delta m = \Delta p$
 - 4) $\frac{m_0^2}{\mu P_{g_\mu}} \gg 1$
14. Индуцированная примесная фотопроводимость
1. обусловлена только наличием уровней прилипания
 2. перебросом электронов из валентной зоны в зону проводимости светом, а последующим их захватом примесными уровнями
 3. захватом электронов из зоны проводимости
 4. уменьшением рекомбинации электронов и дырок.
15. Длина экранирования Дебая (дебаевский радиус экранирования) $\ell_D = \sqrt{\frac{\epsilon k T}{8 \pi e^2 n_0}}$ называется на эффективную длину, при которой:
1. концентрация неравновесных носителей возрастает пропорционально этой длине;
 2. Спадает обратно пропорционально ей
 3. Спадает экспоненциально по мере удаления границы света
 4. Растет квадратично по мере возрастания эффективной длины.
16. ЭДС Дембера возникает в результате:
1. Однородного возбуждения однородного полупроводника;
 2. Неоднородного возбуждения однородного полупроводника;
 3. Однородного возбуждения однородно легированного полупроводника
 4. Однородного собственного возбуждения полупроводника.
17. Фотомангнетический 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

Примерный перечень вопросов к зачету по изучаемому курсу

1. Как классифицируются твердые тела по зонной теории.
2. Как связаны комплексный показатель преломления и диэлектрическая проницаемость?
3. Что такое угол Брюстера, и какова его зависимость от диэлектрической проницаемости вещества?
4. В чем состоят различия электронных спектров металлов, полупроводников и диэлектриков?
5. В чем состоят различия механизмов ориентационной, ионной и электронной поляризуемости?
6. В чем состоит различие между дипольно-разрешенными и запрещенными оптическими переходами?
7. Нужен ли учет виртуальных состояний при рассмотрении поглощения света при не-прямых переходах?
8. Где сильнее выражена температурная зависимость коэффициента поглощения для прямых или для непрямых оптических переходов?
9. Как влияют примеси на поглощение света в полупроводниках?
10. При каких условиях происходит переход от свободного электронного газа к электронно-дырочной жидкости?
11. Что такое электронно-дырочные капли?
12. Чем отличается тепловое излучение от люминесценции?
13. Чем различаются спектры люминесценции свободных экситонов, электронно-дырочной жидкости и электронно-дырочных капель?
14. В чем состоит электростатическое приближение?
15. Что такое фотонная запрещенная зона?
16. Как можно использовать фотонный кристалл в микрорезонаторе?
17. В чем состоит эффект замедления света в фотонных кристаллах?
18. Что такое квантовый размерный эффект?
19. В чем заключается приближение эффективной массы?
20. Что такое квантовая яма, квантовая нить и квантовая точка?
21. Где больше величина обменного взаимодействия для экситонов в нанокристаллах или в объемных полупроводниках?
22. От чего зависит величина стокового сдвига в полупроводниковом нанокристалле?
23. При какой пористости возможен квантовый размерный эффект в пористом кремнии?
24. Что описывает нелинейная поляризуемость среды?
25. Чем рамановский лазер отличается от обычного лазера (мазера)?
26. Каковы основные механизмы усиления оптических нелинейностей в твердотельных нанокompозитах?
27. Как можно использовать фотонные кристаллы для оптического переключения?
28. Как зависит эффективность генерации оптической гармоники в нанокompозитах от размеров наночастиц

Итоговая аттестация

Зачет в конце дисциплины. Практические навыки определяются при выполнении физического практикума (текущий контроль): работа с измерительными инструментами и приборами; обработка результатов лабораторных работ и их анализ; решение прикладных задач;

применение физических законов для объяснений природных процессов.

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%. Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля:

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 (р/з) - 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.**

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, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук 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.
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
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 Росаккредитования (<http://www.fepo.ru/>)

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 договор № 55_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг. (доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеки 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.
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 госуниверситета.
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.
15. Web of Science - 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.
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.

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.
18. American Chemical Society. Доступ продлен на основании сублицензионного договора №ACS/73 от 09.01.2017 г. pubs.acs.org Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г.
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.

11 . Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- презентации;
- тезисы лекций,
- ресурс электронных изданий по теме.

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.

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

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

1. Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным оборудованием (интернет, интерактивная доска).

Практические занятия проводятся в лабораториях НОЦ «Нанотехнологии», оснащенных современным технологическим и измерительным оборудованием: многоцелевые универсальные установки для исследования оптических, фотоэлектрических и люминесцентных свойств в твердых телах и наноструктурах на основе спектрофотометра ИКС-14А и МДР-41. Кафедра располагает необходимыми установками, технологическим оборудованием, приборами для выполнения соответствующих курсовых и квалификационных работ. Имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копии периодических изданий и т. д.