



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
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, 2017 год**

Рабочая программа дисциплины «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур и квантово-размерных частиц» составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС+ ВО по направлению подготовки 03.04.02 – Физика (уровень: магистратура), профиль подготовки: Физика наносистем.

Разработчик(и): кафедра физики конденсированного состояния и наносистем, Хамидов М.М., д.ф.-м.н., профессор.

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физика конденсированного состояния и наносистем от «25» марта 2017г., протокол №7.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Рабаданов М.Х.

На заседании Методической комиссии физического факультета от «30» марта 2017г, протокол №7.

Председатель \_\_\_\_\_ Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 03.04 \_\_\_\_\_ 2017г. \_\_\_\_\_ Гасангаджиева А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктуры 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:

*общепрофессиональных:* ОПК–6;

*профессиональных:* ПК–2, ПК–3.

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

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

**Объем дисциплины 2 зачетных единиц, в том числе 72 в академических часах по видам учебных занятий**

Семестр	Учебные занятия						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем					консультации		
Всего	из них		Практические занятия	КСР	Лекции			
	Лабораторные занятия							
<b>В</b>	<b>144</b>	<b>50</b>			<b>94</b>		<b>94</b>	<b>зачет</b>

**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 обладать знаниями механизма 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 ООП магистратуры**

Дисциплина «Элементы зонной теории, оптические свойства наноструктур и квантово-размерных частиц» относится к дисциплинам по выбору части профессионального цикла ООП. Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные способностью использовать теоретические знания в области физики твердого тела, полупроводников, квантовой механики, теоретической физики, атомной физики, статистической физики для решения конкретных практических задач на примере физики наноразмерных структур.

Магистры, изучающие данную дисциплину, должны иметь сведения и базовые знания о зонной структуре твердых тел и систем с пониженной размерностью, законах поглощения, излучения, в различных конденсированных средах. Должны знать особенности законов сохранения энергии, импульса и момента количества движения, Должны иметь знания о методах квантового описания частиц на основе концепции волновых функций, строении атомов и молекул в объеме знаний курса атомной физики, квантовой механики, статистических законах распределения.

Данная дисциплина является базовой для дальнейшего изучения основ физики низкоразмерных структур, спектроскопии, основ физики приборов на базе кластерных образований и наночастиц, физических основ их технологий.

### **1.3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля):**

*1)общепрофессиональными:*

*способностью* использовать знания современных проблем физики и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе (ОПК-6)

*2)профессиональными*

Способностью свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);

способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности(ПК-3)

**В результате изучения дисциплины специалист должен:**

- **получить представление** о зонной структуре твердых тел и механизмах оптического поглощения и излучения, экспериментальных методах измерения сечений захвата и рекомбинации носителей заряда центрами прилипания и излучения, об основных направлениях практического использования оптических свойств твердых тел и низкоразмерных структур;
- **знать** основы физики и кинетики протекания процессов, происходящих при поглощении квантов света, принцип действия различных приборов, работающих в режиме поглощения и излучения, их устройства и технические характеристики, методы определения рабочих параметров и их зависимость от внешних факторов, особенности рекомбинации заряженных частиц, физическую природу взаимодействия примесей и дефектов, физику фото процессов, и их особенности проявления в наноразмерных структурах.
- **уметь** составлять кинетические уравнения процессов захвата и рекомбинации для простых энергетических схем с учетом влияния мелких ловушек, оценивать характерные времена релаксации концентрации частиц в зонах в результате процессов ионизации и рекомбинации;

- **приобрести навыки** расчета сечений захвата, энергии ионизации примесно-дефектных центров по экспериментальным результатам. Приобрести навыки работы с твердотельными структурами работающими при взаимодействии со светом и устройствами регистрации токов и напряжений и потоков фотонов.

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

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
<b>ОПК-6</b>	<i>способностью</i> использовать знания современных проблем физики и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современные представления о взаимодействии света с веществом в конденсированном состоянии</li> <li>• механизмы поглощения и излучения</li> <li>• разнообразные практические приложения.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики оптических переходов;</li> <li>• применять полученные знания при решении задач на выступлениях, на семинарских занятиях;</li> <li>• применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач по физике оптических явлений в твердых телах и низкоразмерных структурах;</li> <li>• проводить научные исследования в области оптического поглощения и излучения полупроводников и наноструктур с помощью современной приборной (в том числе сложного физического оборудования) базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами исследования полупроводников и наносистем оптическими методами</li> <li>• навыками решения задач по интерпретации свойств на основе зонной структурой</li> </ul>

ПК-2	Способностью свободно владеет фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики;</li> <li>• базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</li> <li>• методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики оптических процессов в твердых телах и низкоразмерных структурах</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики оптических свойств материалов;</li> <li>• использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по связанным с поглощением и излучением в конденсированных ;</li> <li>• пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями процессов протекающих при взаимодействии света с веществом.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики твердого тела;</li> <li>• методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики и низкоразмерных материалов.</li> <li>• владеть разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</li> </ul>
ПК-3	Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• как строить и использовать простейшие модели при интерпретации оптических свойств твердотельных структур;</li> <li>• инновационные методы исследований структуры и оптических свойств материалов и как решаются задачи по интерпретации связи свойств с энергетической структурой.</li> <li>• что востребовано практикой на те-</li> </ul>

		<p>кущий момент и как решать научно – инновационные задачи и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>самостоятельно формулировать конкретные задачи научных исследований в области оптических свойств наносистем и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</li> <li>генерировать идеи по улучшению и изменению технологий синтеза и легирования твердотельных структур, а так же и их оптимизации,</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>техникой экспериментальных исследований оптических свойств материалов,</li> <li>методами расчетов параметров центров ответственных за поглощение и излучение твердотельных структур,</li> <li>Экспресс анализом, полученных результатов</li> <li>владеть знаниями, необходимыми для решения научно-инновационных задач оптики твердых тел и наносистем</li> </ul>
--	--	--

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

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

№ 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.		
<b>Модуль 1.</b>									
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	
	<b>Итого по модулю 1</b>			<b>12</b>			<b>24</b>	
<b>Модуль 2</b>								
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
	<b>Итого по модулю 2</b>			<b>12</b>			<b>24</b>	
<b>Модуль 3</b>								
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	
	<b>Итого по модулю 3</b>			<b>12</b>			<b>24</b>	
<b>Модуль 4.</b>								
1	Элементы нелинейной оптики наноструктур и нанокомпозитов.		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	
	<b>Итого по модулю 4:</b>			<b>14</b>			<b>22</b>	
	<b>ИТОГО:</b>			<b>50</b>			<b>94</b>	<b>Зачет</b>



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

#### Модуль 1.

Тема 1. 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 наноконструктивов.

Тема 5. Оптические явления в неоднородных твердотельных системах

#### Модуль 4.

Тема 1. Элементы нелинейной оптики наноструктур и наноконструктивов.

Тема 2. Динамика экситонов в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов

Тема 3. Нелинейные оптические явления в твердотельных системах

Тема 4. Оптические свойства и применения полупроводниковых наноструктур

#### Спецпрактикум по физике наносистем

В учебном плане магистратуры по направлению 03.04.02 – Физика предусмотрен специальный физический практикум, в котором выполняются лабораторные работы, в том числе и по оптике твердого тела и низкоразмерных структур.

Кафедра располагает необходимыми установками, технологическим оборудованием, приборами, не только для выполнения спецпрактикума, но и выполнения соответствующих курсовых и диссертационных работ. На кафедра имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копии периодических изданий, и т. д. необходимой для информационного обеспечения самостоятельной работы студентов по освоению как теоретических так и практических вопросов по дисциплине

Спецпрактикум магистрами выполняется в специальных учебных лабораториях и на научных установках НОЦ «Нанотехнологии».

К работам имеются пособия и методические указания.

Ниже дан список типовых работ, выполняемых магистрами.

№№ и названия разделов и тем	Цель и содержание лабораторной работы	Результаты лабораторной работы
------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

<b>Модуль 1</b>
Лабораторная работа № 1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника
Лабораторная работа № 2. Исследование спектров поглощения полупроводников в зависимости от природы примесей.
Лабораторная работа № 3. Исследование зависимости ширины запрещенной зоны наноструктур в зависимости от их размеров
Лабораторная работа № 4. Люминесценция полупроводников
Лабораторная работа № 5. Люминесценция наноструктур.
Лабораторная работа № 6. Исследование спектров рассеяния и отражения наноструктур.

### 5. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВПО 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, проблемная 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. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

**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.

**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 непрямым переходах?
8. Где сильнее выражена температурная зависимость коэффициента поглощения для прямых или для непрямо 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 стоковского 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 гармоника в нанокompозитах от размеров наночастиц.

#### 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

#### 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.

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
<b>ОПК-6</b>	<i>Способностью</i> использовать знания современных проблем физики и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• современные представления о взаимодействии света с веществом в конденсированном состоянии</li> <li>• механизмы поглощения и излучения</li> <li>• разнообразные практические приложения.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики оптических переходов;</li> <li>• применять полученные знания при решении задач на выступлениях, на</li> </ul>

		<p>семинарских занятиях;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач по физике оптических явлений в твердых телах и низкоразмерных структурах;</li> <li>• проводить научные исследования в области оптического поглощения и излучения полупроводников и наноструктур с помощью современной приборной (в том числе сложного физического оборудования) базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами исследования полупроводников и наносистем оптическими методами</li> <li>• навыками решения задач по интерпретации свойств на основе зонной структурой</li> </ul>
ПК-2	Способностью свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики;</li> <li>• базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</li> <li>• методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики оптических процессов в твердых телах и низкоразмерных структурах</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики оптических свойств материалов;</li> <li>• использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по связанным с поглощением и излучением в конденсированных ;</li> <li>• пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями процессов протекающих при взаимодействии света с веществом.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и</li> </ul>

		<p>теоретической информации в области физики твердого тела;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики и низкоразмерных материалов.</li> <li>• владеть разделами физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</li> </ul>
ПК-3	Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• как строить и использовать простейшие модели при интерпретации оптических свойств твердотельных структур;</li> <li>• инновационные методы исследований структуры и оптических свойств материалов и как решаются задачи по интерпретации связи свойств с энергетической структурой.</li> <li>• что востребовано практикой на текущий момент и как решать научно – инновационные задачи и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> <li>• генерировать идеи по улучшению и изменению технологий синтеза и легирования твердотельных структур, а так же и их оптимизации,</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• техникой экспериментальных исследований оптических свойств материалов,</li> <li>• методами расчетов параметров центров ответственных за поглощение и излучение твердотельных структур,</li> <li>• Экспресс анализом, полученных результатов</li> <li>• владеть знаниями, необходимыми для решения научно-инновационных задач оптики твердых тел и наносистем</li> </ul>

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

**ОПК-6** Схема оценки уровня формирования компетенции «умеет использовать знания современных проблем физики и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Оценочная шкала	хорошо	отлично
пороговый	Общие сведения о современных проблемах физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Ознакомлен с современными проблемами физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Демонстрирует знание современных проблем физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Показывает навыки успешного владения знаниями современных проблем физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности
базовый	Умение грамотно применять знания современных проблем физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Может описать особенности основных положений современных проблем физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Способен критически оценить современные проблемы физики, новейшие достижения в своей научно-исследовательской деятельности	Умеет успешно и критично анализировать современные проблемы физики, новейшие достижения в своей научно-исследовательской деятельности
продвинутый	Навыки рационального применения знаний о современных проблемах физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Знаком с современными проблемами физики, новейшими достижениями в своей научно-исследовательской деятельности	Демонстрирует умение применения знания о современных проблемах физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности	Показывает усовершенствованные подходы к анализу знаний о современных проблемах физики, новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности

**ПК-2.**Схема оценки уровня формирования компетенции «способен свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Оценочная шкала	хорошо	отлично

пороговый	Общие сведения о фундаментальных разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности»	Ознакомлен с фундаментальными разделами физики, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Демонстрирует знание фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Показывает навыки успешного владения перспективными фундаментальными разделами физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности
базовый	Умение грамотно применять положения фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Может описать особенности основных положений фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Способен оценить преимущества и недостатки современных положений фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Умеет успешно и эффективно применять положения фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности
продвинутый	Навыки рационального применения положений фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач	Знаком с положениями фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач	Демонстрирует умение применять положения фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач	Показывает усовершенствованные подходы к применению положений фундаментальных разделов физики твердого тела и наноструктур, необходимых для решения научно-инновационных задач

**ПК-3** Схема оценки уровня формирования компетенции «Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности.»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Оценочная шкала	хорошо	отлично
пороговый	Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности.	Ознакомлен с планированием и организацией физических исследований, семинаров и конференций	Демонстрирует умение планировать и организовывать физические исследования, семинары и конференции	Показывает навыки успешного планирования и организации физических исследований, семинаров и конференций

Базовый	Умение грамотно описать задачи по разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности	Может описать задачи по разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности и путях их решения с помощью современных методов аппаратуры	Способен оценить задачи научных исследований в области оптики твердого тела и наносистем и новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	Умеет критично анализировать задачи научных исследований в области оптики твердого тела и наносистем и решать их с помощью методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности
Продвинутый	Навыки рационального применения знаний о задачах по разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности	Знаком с задачами научных исследований в области оптики твердого тела и наносистем и путях их решения с использованием новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности	Демонстрирует умение применения знаний о задачах по разработке новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности	Показывает усовершенствованные подходы к анализу задач научных исследований в области оптики твердого тела и наносистем и путях их решения с применением новых методов и методических подходов в научно – инновационных исследованиях и инженерно – технологической деятельности

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

### 7.3. 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  $\beta$  - 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:
1.  $\tau_n = \frac{1}{q_n v_n p}$ , где  $q_n, v_n, p$  - соответственно сечение захвата, относительная скорость движения электрона и дырок, концентрация дырок.
  2.  $\tau_n = q_n v_n p$ ;      3.  $\tau_n = e^{q_n v_n p}$ ;      4.  $\tau_n = \frac{P}{q_n v_n p}$

8. Релаксация фотопроводимости определяется:
1. Временем жизни носителей  $\tau$  ( $\tau_n$  и  $\tau_p$ );
  2. Наличием ловушек (малой и высокой концентрации)
  3. Шириной зоны проводимости
  4. Энергией *ионизации*.
9. На монополярную фотопроводимость влияют:
1.  $\alpha$ -центры прилипания
  2. Демакационные центры прилипания
  3. Только  $\beta$ -центры прилипания
  4. Центры рекомбинации.
10. Какую роль играет постоянная подсветка на релаксацию фотопроводимости при наличии  $\alpha$ -прилипания:
1. Увеличение постоянной подсветки приводит к увеличению роли  $\alpha$  прилипания, т.е. к уменьшению  $\beta$  и  $\tau$ ;
  2. Увеличение постоянной подсветки приводит к уменьшению  $\alpha$ , что увеличивает  $\beta$  и  $\tau$ ;
  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.  $\frac{\Delta n}{\Delta p} \gg 1$   $\Leftrightarrow \frac{\Delta p}{\Delta n} \gg 1$
  - 2)  $\frac{\Delta n}{\Delta p} = 1$
  2.  $\Delta n + \Delta m = \Delta p$
  - 4)  $\frac{m_0^2}{\mu P_{g_i}} \gg 1$
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)  $\ell_D = \sqrt{\frac{\epsilon kT}{8\pi e^2 n_0}}$
- указывает 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. 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

#### 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

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

#### Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля

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 (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. П.К.Кашкаров, В.Ю.Тимошенко. Оптика твердого тела и низкоразмерных структур, М., Пульс, 2008, 292 с.
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
3. К. В. Шалимова. Физика полупроводников. М., Энергоатомиздат, 1985.
4. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М., Наука, 1990.
5. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., Наука, 1970.
6. Е. Ф. Венгер, А. В. Гончаренко, М. Л. Дмитрук. Оптика малых частиц и дисперсных сред. Киев, Наукова Думка, 1999.

7. С.В.Гапоненко, Н.Н. Розанов, Е.Л.Ивченко, А. Ф. Федоров и др. Оптика наноструктур. Под ред. А. Ф. Федорова. СПб., Недра, 2005.
8. И.П.Сыздалев Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов М. «Либроком» 2009.
9. А.А.Елисеев, А.В.Лукашин Функциональные наноматериалы. М. Физматизд, 2010.

Дополнительная литература:

1. Ж. Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М., Мир, 1973.
2. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. М., Мир, 1976.
3. Ю. И. Уханов. Оптические свойства полупроводников. М., Наука, 1977.
4. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы нанoeлектроники. М., Логос, 2006.

### **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 Росаккредитования (<http://www.fepo.ru/>)

### **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-, нанoeлектронике, нанотехнологии и микросистемам и физической электронике и др.

### **11. 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.**

Учебная лаборатория и компьютерный класс, многоцелевые универсальные установки для исследования оптических, фотоэлектрических и люминесцентных свойств в твердых телах и наноструктурах на основе спектрофотометра ИКС-14А и МДР-41