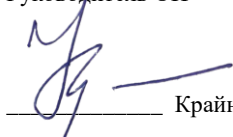




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
\_\_\_\_\_ Крайнова Г.С.

« 15 » \_\_\_\_\_ сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
физики низкоразмерных структур

  
\_\_\_\_\_ Саранин А.А.

« 15 » \_\_\_\_\_ сентября 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Оптика твердого тела

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

курс 3 семестр 6  
лекции 54 час.  
практические занятия 54 час.  
лабораторные работы \_\_\_\_\_ час.  
в том числе с использованием МАО лек. \_\_\_\_\_ /пр. 18 /лаб. \_\_\_\_\_ час.  
всего часов аудиторной нагрузки 108 час.  
в том числе с использованием МАО 18 час.  
самостоятельная работа 36 час.  
в том числе на подготовку к экзамену \_\_\_\_\_ час.  
контрольные работы 6 семестр  
курсовая работа / курсовой проект \_\_\_\_\_ нет \_\_\_\_\_ семестр  
зачет 6 семестр  
экзамен \_\_\_\_\_ нет \_\_\_\_\_ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования ДВФУ № ОС-11.03.04-16/1-2016.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от «15» \_\_\_\_\_ сентября 2017 г.

Заведующий кафедрой Саранин А.А.  
Составитель: к.ф.-м.н., доцент Бурундуков А.С.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 11.03.04 Electronics and Nanoelectronics**

**Course title: Solid state optics**

**Variable part of Block, 4 credits**

**Instructor:** A.S. Burundukov, Cand. of Phys. and math., associate Professor of the General and experimental physics department, School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

**Learning outcomes:**

GPC-2 the ability to identify the natural science essence of the problems arising in the course of professional activity, to involve the appropriate physical and mathematical apparatus for their solution;

SPC-2 ability to reasonably choose and implement in practice an effective method of experimental study of parameters and characteristics of devices, circuits, devices and installations of electronics and nanoelectronics for various functional purposes.

**Course description:** promotion of students in fundamental education, to develop in students a clear understanding of the basic concepts of the optics of a rigid body, its laws and a modern way of thinking and overall physical Outlook.

**Main course literature:**

1. Majer V.V. Light in an optically inhomogeneous medium: educational research. – M. : Fizmatlit, 2007. – 231 p.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=2696](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2696).

2. Bagdoev A.G. et al. Linear and nonlinear waves in dispersing continuous media. – M. : Fizmatlit, 2009. – 318 p.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=2665](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2665).

3. Matuhin V.L., Ermakov V.L. Solid state physics. – SPb. : Lan, 2010. – 219 p. [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=262](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=262).

**Form of final knowledge control: pass.**

## **Аннотация дисциплины**

### **«Оптика твердого тела»**

Рабочая программа учебной дисциплины «Оптика твердого тела» разработана для студентов 3 курса по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» в соответствии с требованиями ОС ВО ДВФУ по данному направлению.

Дисциплина «Оптика твердого тела» входит в обязательные дисциплины вариативной части модуля Б1.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (54 часа), практические занятия (54 часа), самостоятельная работа студента (36 часов). Дисциплина реализуется на 3 курсе в 6 семестре.

**Цель:** содействие получению студентами фундаментального образования, формирование у студентов ясных представлений об основных понятиях оптики твердого тела, её законах, современного стиля мышления и общего физического мировоззрения.

#### **Задачи:**

– формирование у студентов высокой культуры моделирования всевозможных явлений и процессов оптики твердого тела;

– овладение научным методом, призванным способствовать творческому решению фундаментальных и прикладных проблем при дальнейшем изучении специальных дисциплин;

Для успешного изучения дисциплины «Оптика твердого тела» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

– способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);

– способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в

требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-6).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-2, способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Знает	<p>причины возникновения идеи квантования колебаний кристаллической решетки, физический смысл появления оптической и акустической ветвей в законе дисперсии фононов, природу и проявления ангармонизма и различие между моделями Эйнштейна и Дебая;</p> <p>возможности применения и границы использования теории металлов Друде, Зоммерфельда и зонной теории для описания низкотемпературного отклонения от закона Дюлонга-Пти, эффектов Видемана-Франца, Холла и Зеебека;</p> <p>способы описания электронной волновой функции в кристаллах (теорема Блоха), причину возникновения энергетических зон, хвостов энергетических состояний, квазиимпульса электрона и природу его эффективной массы, проявления эффекта дифракции зонных электронов и область применимости приближения почти свободных электронов;</p>
	Умеет	<p>качественно обосновывать и теоретически оценивать вероятности протекания оптических явлений и возможности их экспериментальной регистрации исходя из фундаментальных принципов физики;</p> <p>физические основы процессов квантового взаимодействия фотонов и электронов с квазичастицами (фононами, экситонами, плазмонами и поляронами);</p> <p>физику прямых и непрямых оптических переходов в полупроводниках;</p> <p>физику рефракции света в полупроводниках;</p> <p>поведение плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа;</p> <p>межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах.</p>
	Владеет	<p>всеми основными понятиями геометрической, волновой и квантовой оптики, когерентного и сжатого состояний;</p>

<p>ПК-2, способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>Знает</p>	<p>методы расчета зонной структуры, <b>k-p</b> – теорию возмущений;</p> <p>процессы взаимодействия электронов с акустическими фононами, деформационный потенциал;</p> <p>процессы взаимодействия электронов с продольными оптическими фононами и поляроны;</p> <p>принципы теории Хуан Куна и физический смысл формулы Лиддена-Сакса-Теллера;</p> <p>характеристики и основные особенности собственных и примесных (мелких и глубоких) состояний в полупроводниках;</p> <p>физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения, закон Вегарда, приближение виртуального кристалла, необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов, причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности;</p> <p>такие свойства фундаментального (межзонного) оптического поглощения в полупроводниковых кристаллах, как поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и непрямых переходов, влияние хвостов плотности состояний на край поглощения, проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и непрямых переходов, экситонные эффекты и непрямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах, эффекты зонной структуры;</p> <p>физику решеточного поглощения при возбуждении ТО-фононов, поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты, эффекты двухфононного и многофононного поглощения;</p> <p>такие эффекты примесного поглощения как фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей, внутрицентровые переходы, фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках и оптическое поглощение на связанных экситонах, а также поглощение на локальных колебаниях примесных атомов;</p> <p>оптическое поглощение свободными носителями зарядов: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне,</p>
--	--------------	--

		<p>отщепленной спин-орбитальным взаимодействием;</p> <p>механизмы, приводящие люминесценции полупроводников: возбуждение путем инжекции неосновных носителей заряда через гомо- или гетеропереход, возбуждение ударной ионизацией в сильном электрическом поле, возбуждение при туннелировании, смысл квазиуровней Ферми, а также связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли;</p> <p>процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках: переход зона – зона, рекомбинация свободных и связанных экситонов, рекомбинация зона – примесь, межпримесная рекомбинация, внутрицентровые излучательные переходы, внутризонные излучательные переходы между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда;</p> <p>процессы безызлучательной рекомбинации: Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах</p> <p>фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах: внешний и внутренний фотоэффект, фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях, эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами;</p> <p>размерное квантование, свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле</p> <p>эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле;</p> <p>способы получения двумерного электронного газа: на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), на изотипном N - p - гетеропереходе, на двойной гетероструктуре (ДГС);</p> <p>свойства экситонных состояний в квантоворазмерных системах;</p> <p>электрооптические, фотоэлектрические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах;</p>
	Умеет	<p>использовать технику вторичного квантования;</p> <p>применять методы теории возмущений и диаграммной техники Фейнмана;</p>
	Владеет	<p>сутью оптических явлений и характером описывающих их законов</p>

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Оптика твердого тела» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения: мозговой штурм, дискуссия.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

**Содержание лекционного курса (54 час.).**

**Раздел I. Структура кристаллов и аморфных тел (4 час.)**

**Тема 1. Предмет, цель и содержание дисциплины «Оптика твердого тела» (2 час.)**

Основные понятия, термины и определения. Связь с лекционного курса с кристаллофизикой, квантовой механикой, классической, квантовой оптикой и квантовой теорией поля. Роль когерентных и сжатых состояний в современной оптике

**Тема 2. Кристаллические структуры (2 час.)**

**Кристаллическая структура. Способы её описания и основные понятия.**

**Прямая и обратная решетки. Основные типы дефектов**

**кристаллической решетки. Элементарная ячейка, решетки Бравэ и решетки с базисом, ячейки Вигнера-Зейца, первая зона Бриллюэна, кристаллографические плоскости, индексы Миллера.**

**Раздел II. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке (4 час.)**

**Тема 3. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке (4 час.)**

Геометрический структурный фактор. Дифракция рентгеновского излучения на кристалле. Бреговское рассеяние, пятна Лауэ. Рассеяние электронов на периодическом потенциале решетки, «золотое правило» Ферми, атомный фактор. Теорема Блоха, граничное условие Борна-Кармана. Дифракция зонных электронов. Приближение почти свободных электронов.

**Раздел III. Теория металлов (4 час.).**



#### **Тема 4. Теория металлов Друде (2 час.)**

Основные положения теории металлов Друде. Статическая электропроводность металла. Эффект Холла и магнетосопротивление в теории Друде. Высокочастотная электропроводность металла. Теплопроводность металла. Закон Видемана-Франца. Эффект Зеебека

#### **Тема 5. Теория металлов Зоммерфельда (2 час.)**

Функция распределения Ферми-Дирака, плотность состояний, плотность числа частиц и плотность энергии электронного газа. Химпотенциал, удельная теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда.

#### **Раздел IV. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах (2 час.).**

#### **Тема 6. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах (2 час.)**

Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение. Взаимное отталкивание атомов. Потенциал Ленарда-Джонса, модель жестких сфер, сжимаемость и модуль объемного сжатия. Ионные кристаллы, энергия Маделунга, метод Эвьена расчета сумм Маделунга. Ковалентная связь. Электронная плазма, плазменная частота, плазмоны, плазма полупроводников. Металлическая связь, поляризуемость газа свободных электронов, диэлектрическая проницаемость Хартри, осцилляции Фриделя, характеристическая функция «энергия-волновое число», модельные псевдопотенциалы, модель пустой сердцевинки Ашкрофта, модель свободных электронов, энергия Хартри-Фока.

#### **Раздел V. Колебания кристаллической решетки. (6 час.)**

#### **Тема 7. Теория колебания кристаллической решетки (2 час.)**

Динамика решетки. Фононы, их энергетический спектр. Теплоемкость решетки, закон Дюлонга-Пти, модель Эйнштейна, эйнштейновская

температура, модель Дебая, дебаевское волновое число, дебаевская частота и теплоемкость, дебаевская температура в модели желе.

#### **Тема 8. Колебания трехмерной решетки (2 час.)**

Колебания трехмерной решетки, динамическая матрица, дисперсия акустических и оптических колебаний. Квантование колебаний решетки, операторы рождения и уничтожения фононов. Теория Хуан Куня, формула Лиддена-Сакса-Теллера.

#### **Тема 9. Взаимодействие оптических фононов с фотонами (2 час.)**

Взаимодействие оптических фононов с фотонами дисперсия двух ветвей спектра фонон-фотонных поляритонов. Ангармонические эффекты, параметр Грюнайзена, нормальный процесс (N-процесс) и процесс переброса (U-процесс), связь ангармонизма с коэффициентом теплопроводности.

### **Раздел VI. Электрон-фононное взаимодействие (4 час.)**

#### **Тема 10. Электрон-фононное взаимодействие (2 час.)**

Электрон-фононное взаимодействие. Деформационный потенциал,  $\psi$ -операторы, рассеяние электронов на акустических фононах, время релаксации импульса электрона.

#### **Тема 11. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами (2 час.)**

Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами, гамильтониан Фрелиха, полярон Ландау-Пекара, энергия связи и масса полярона.

### **Раздел VII. Методы расчета зонной структуры кристаллов (6 час.).**

#### **Тема 12. Зонная теория твердых тел. (2 час.)**

Зонная теория твердых тел. Волновая функция электрона в кристалле. Одноэлектронное приближение. Метод сильной связи. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

#### **Тема 13. Методы расчета зонной структуры кристаллов (2 час.)**

Метод сильной связи, теорема Ванье. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал. Метод присоединенных плоских волн Слэтера. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР). Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.  $k$ - $p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера, теория Кейна.

**Тема 14. Эффективная масса. Изоэнергетические поверхности. Примеси и дефекты, их энергетический спектр (2 час.)**

Эффективная масса. Изоэнергетические поверхности. Примеси и дефекты, их энергетический спектр. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы)

**Раздел VIII. Электронные состояния в твердых растворах и аморфных полупроводниках (2 час.)**

**Тема 15. Электронные состояния в твердых растворах и аморфных полупроводниках (2 час.)**

Идеальные, изовалентные и гетеровалентные твердые растворы замещения. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла, зависимость параметров зонной структуры твердых расплавов от состава, переходный состав твердого раствора, трехкомпонентные, четырехкомпонентные твердые растворы. Гетероструктуры с идеальной контактной границей, изопериодный (изорешеточный) ряд твердых растворов, плоскость составов для четырехкомпонентного твердого раствора, условия изопериодичности. Эффект инверсии зон, микроскопические флуктуации состава и неоднородное уширение энергетического спектра электронных состояний, появление хвоста плотности состояний, аморфные полупроводники, пороги подвижности.

**Раздел IX. Оптические переходы в диэлектриках и полупроводниках (2 час.)**

**Тема 16. Оптические явления в твердом теле. Связь между оптическими константами твердого тела. Оптические свойства металлов,**

**полупроводников и диэлектриков. Прямые (вертикальные) и не прямые (междолинные) переходы, фейнмановские диаграммы процессов (2 час.)**

#### **Раздел X. Оптическое поглощение в кристаллах. (4 час.)**

**Тема 17. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках (2 час.)**

Процессы поглощения в полупроводниках. Спектры поглощения и отражения. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и не прямых переходов, влияние хвостов плотности состояний на край поглощения, проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и не прямых переходов, экситонные эффекты и не прямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах, эффекты зонной структуры. Решеточное поглощение при возбуждении ТО-фононов, поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты, эффекты многофононного решеточного поглощения инфракрасного излучения в полупроводниках и диэлектриках. Влияние внешних факторов (температуры, давления, электрического поля) на край поглощения.

**Тема 18. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках (2 час.)**

Поглощение в сильнолегированных полупроводниках. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием. Примесное поглощение: фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей, внутрицентровые переходы, фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках и оптическое поглощение на связанных экситонах, а также поглощение на локальных колебаниях примесных атомов

## **Раздел XI. Рефракция и рассеяние света в твердых телах (2 час.)**

### **Тема 19. Рефракция и рассеяние света в твердых телах (2 час.)**

Динамические и статические флуктуации показателя преломления. Упругое и неупругое рассеяние. Рассеяние Рэлея, угловая и частотная зависимости. Рассеяние Ми. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, стоксовы и антистоксовы компоненты рассеяния. Комбинационное (рамановское) рассеяние света и зависимость его интенсивности от температуры. Рассеяние света в поглощающих средах.

## **Раздел XII. Люминесценция (4 час.)**

### **Тема 20. Люминесценция: возбуждение путем инъекции неосновных носителей заряда (2 час.)**

Люминесценция: возбуждение путем инъекции неосновных носителей заряда через гомо- или гетеропереход, возбуждение ударной ионизацией в сильном электрическом поле, возбуждение при туннелировании. Смысл квазиуровней Ферми, а также связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли.

### **Тема 21. Процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках (2 час.)**

Неравновесные процессы. Понятие о квазиуровнях Ферми. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация через центры рекомбинации. Переход зона – зона, рекомбинация свободных и связанных экситонов, рекомбинация зона – примесь, межпримесная рекомбинация, внутрицентровые излучательные переходы, внутризонные излучательные переходы между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда. Процессы безызлучательной рекомбинации: Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах. Фотолюминесценция и электролюминесценция. Вынужденное излучение.

### **Раздел XIII. Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах(4 час.)**

#### **Тема 22. Фотоэлектрические явления в однородных и неоднородных полупроводниках. Собственная и примесная фотопроводимость. Фотогальванические эффекты (2 час.)**

Фотоэлектрические явления в однородных и неоднородных полупроводниках. Собственная и примесная фотопроводимость. Внешний и внутренний фотоэффект, фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях.

#### **Тема 23. Эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами (2 час.)**

Эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами

### **Раздел XIV. Оптика квантоворазмерных структур (6 час.)**

#### **Тема 24. Квантоворазмерные структуры (2 час.)**

Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, нити и точки. Свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле.

#### **Тема 25. Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле (2 час.)**

Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле. Способы получения двумерного электронного газа: на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), на изотипном N-n - гетеропереходе, на двойной гетероструктуре (ДГС).

#### **Тема 26. Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах. Экситоны в наноструктурах. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах (2 час.)**

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (54 час.)**

#### **Занятие 1. Предмет, цель и содержание дисциплины «Оптика твердого тела» (2 час.)**

Основные понятия, термины и определения. Связь с лекционного курса с кристаллофизикой, квантовой механикой, классической, квантовой оптикой и квантовой теорией поля. Роль когерентных и сжатых состояний в современной оптике

#### **Занятие 2. Кристаллические структуры (2 час.)**

Кристаллическая структура. Способы её описания и основные понятия. Прямая и обратная решетки. Основные типы дефектов кристаллической решетки. Элементарная ячейка, решетки Бравэ и решетки с базисом, ячейки Вигнера-Зейца, первая зона Бриллюэна, кристаллографические плоскости, индексы Миллера.

#### **Занятие 3. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке (4 час.)**

Геометрический структурный фактор. Дифракция рентгеновского излучения на кристалле. Бреговское рассеяние, пятна Лауэ. Рассеяние электронов на периодическом потенциале решетки, «золотое правило» Ферми, атомный фактор. Теорема Блоха, граничное условие Борна-Кармана. Дифракция зонных электронов. Приближение почти свободных электронов.

#### **Занятие 4. Теория металлов Друде (2 час.)**

Основные положения теории металлов Друде. Статическая электропроводность металла. Эффект Холла и магнетосопротивление в теории Друде. Высокочастотная электропроводность металла. Теплопроводность металла. Закон Видемана-Франца. Эффект Зеебека

### **Занятие 5. Теория металлов Зоммерфельда (2 час.)**

Функция распределения Ферми-Дирака, плотность состояний, плотность числа частиц и плотность энергии электронного газа. Химпотенциал, удельная теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда.

### **Занятие 6. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах (2 час.)**

Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение. Взаимное отталкивание атомов. Потенциал Ленарда-Джонса, модель жестких сфер, сжимаемость и модуль объемного сжатия. Ионные кристаллы, энергия Маделунга, метод Эвьена расчета сумм Маделунга. Ковалентная связь. Электронная плазма, плазменная частота, плазмоны, плазма полупроводников. Металлическая связь, поляризуемость газа свободных электронов, диэлектрическая проницаемость Хартри, осцилляции Фриделя, характеристическая функция «энергия-волновое число», модельные псевдопотенциалы, модель пустой сердцевины Ашкрофта, модель свободных электронов, энергия Хартри-Фока.

### **Занятие 7. Теория колебания кристаллической решетки (2 час.)**

**Динамика решетки. Фононы, их энергетический спектр.** Теплоемкость решетки, закон Дюлонга-Пти, модель Эйнштейна, эйнштейновская температура, модель Дебая, дебаевское волновое число, дебаевская частота и теплоемкость, дебаевская температура в модели желе.

### **Занятие 8. Колебания трехмерной решетки (2 час.)**

Колебания трехмерной решетки, динамическая матрица, дисперсия акустических и оптических колебаний. Квантование колебаний решетки, операторы рождения и уничтожения фононов. Теория Хуан Куня, формула Лиддена-Сакса-Теллера.

### **Занятие 9. Взаимодействие оптических фононов с фотонами (2 час.)**

Взаимодействие оптических фононов с фотонами дисперсия двух ветвей спектра фонон-фотонных поляритонов. Ангармонические эффекты, параметр



Грюнайзена, нормальный процесс (N-процесс) и процесс переброса (U-процесс), связь ангармонизма с коэффициентом теплопроводности.

#### **Занятие 10. Электрон-фононное взаимодействие (2 час.)**

Электрон-фононное взаимодействие. Деформационный потенциал,  $\psi$ -операторы, рассеяние электронов на акустических фононах, время релаксации импульса электрона.

#### **Занятие 11. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами (2 час.)**

Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами, гамильтониан Фрелиха, полярон Ландау-Пекара, энергия связи и масса полярона.

#### **Занятие 12. Зонная теория твердых тел. (2 час.)**

Зонная теория твердых тел. Волновая функция электрона в кристалле. Одноэлектронное приближение. Метод сильной связи. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

#### **Занятие 13. Методы расчета зонной структуры кристаллов (2 час.)**

Метод сильной связи, теорема Ванье. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал. Метод присоединенных плоских волн Слэтера. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР). Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.  $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера, теория Кейна.

#### **Занятие 14. Эффективная масса. Изоэнергетические поверхности.**

##### **Примеси и дефекты, их энергетический спектр (2 час.)**

Эффективная масса. Изоэнергетические поверхности. Примеси и дефекты, их энергетический спектр. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы)

#### **Занятие 15. Электронные состояния в твердых растворах и аморфных полупроводниках (2 час.)**

Идеальные, изовалентные и гетеровалентные твердые растворы замещения. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла, зависимость

параметров зонной структуры твердых расплавов от состава, переходный состав твердого раствора, трехкомпонентные, четырехкомпонентные твердые растворы. Гетероструктуры с идеальной контактной границей, изопериодный (изорешеточный) ряд твердых растворов, плоскость составов для четырехкомпонентного твердого раствора, условия изопериодичности. Эффект инверсии зон, микроскопические флуктуации состава и неоднородное уширение энергетического спектра электронных состояний, появление хвоста плотности состояний, аморфные полупроводники, пороги подвижности.

**Занятие 16. Оптические явления в твердом теле. Связь между оптическими константами твердого тела. Оптические свойства металлов, полупроводников и диэлектриков. Прямые (вертикальные) и не прямые (междолинные) переходы, фейнмановские диаграммы процессов (2 час.)**

**Занятие 17. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках (2 час.)**

**Процессы поглощения в полупроводниках. Спектры поглощения и отражения.** Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и не прямых переходов, влияние хвостов плотности состояний на край поглощения, проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и не прямых переходов, экситонные эффекты и не прямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах, эффекты зонной структуры. Решеточное поглощения при возбуждении ТО-фононов, поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты, эффекты многофононного решеточного поглощение инфракрасного излучения в полупроводниках и диэлектриках. Влияние внешних факторов (температуры, давления, электрического поля) на край поглощения.

**Занятие 18. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках (2 час.)**

Поглощение в сильнолегированных полупроводниках. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием. Примесное поглощение: фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей, внутрицентровые переходы, фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках и оптическое поглощение на связанных экситонах, а также поглощение на локальных колебаниях примесных атомов

### **Занятие 19. Рефракция и рассеяние света в твердых телах (2 час.)**

Динамические и статические флуктуации показателя преломления. Упругое и неупругое рассеяние. Рассеяние Рэлея, угловая и частотная зависимости. Рассеяние Ми. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, стоксовы и антистоксовы компоненты рассеяния. Комбинационное (рамановское) рассеяние света и зависимость его интенсивности от температуры. Рассеяние света в поглощающих средах.

### **Занятие 20. Люминесценция: возбуждение путем инъекции неосновных носителей заряда (2 час.)**

Люминесценция: возбуждение путем инъекции неосновных носителей заряда через гомо- или гетеропереход, возбуждение ударной ионизацией в сильном электрическом поле, возбуждение при туннелировании. Смысл квазиуровней Ферми, а также связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли.

### **Занятие 21. Процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках (2 час.)**

Неравновесные процессы. Понятие о квазиуровнях Ферми. Излучательная рекомбинация. Рекомбинация через центры рекомбинации. Переход зона – зона, рекомбинация свободных и связанных экситонов, рекомбинация зона – примесь, межпримесная рекомбинация, внутрицентровые излучательные переходы, внутризонные излучательные переходы между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда. Процессы

безызлучательной рекомбинации: Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах. Фотолюминесценция и электролюминесценция. Вынужденное излучение.

**Занятие 22. Фотоэлектрические явления в однородных и неоднородных полупроводниках. Собственная и примесная фотопроводимость. Фотогальванические эффекты (2 час.)**

Фотоэлектрические явления в однородных и неоднородных полупроводниках. Собственная и примесная фотопроводимость. Внешний и внутренний фотоэффект, фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях.

**Занятие 23. Эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами (2 час.)**

Эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами

**Занятие 24. Квантоворазмерные структуры (2 час.)**

Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, нити и точки. Свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле.

**Занятие 25. Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле (2 час.)**

Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле. Способы получения двумерного электронного газа: на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), на изотипном N-p - гетеропереходе, на двойной гетероструктуре (ДГС).

**Занятие 26. Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах. Экситоны в наноструктурах. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах (2 час.)**

Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах. Экситоны в наноструктурах. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах.

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Оптика твердого тела» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Структура кристаллов и аморфных тел. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 1 - 4
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
2	Теория металлов. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 5 - 7
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
3	Колебания кристаллической	ОПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 8 - 11

	решетки. Электрон-фононное взаимодействие		умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
4	Методы расчета зонной структуры кристаллов	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 12 - 13
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
5	Электронные состояния в твердых растворах и аморфных полупроводниках	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 14 - 15
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
6	Оптические переходы в диэлектриках и полупроводниках. Оптическое поглощение в кристаллах	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 16 - 19
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
7	Рефракция и рассеяние света в твердых телах	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 20 - 21
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
8	Люминесценция	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 22 - 24
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
9	Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах	ПК-2,	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 25 - 27
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
10	Оптика квантоворазмерных структур	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 28 - 30
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений,

навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Майер, В.В. Свет в оптически неоднородной среде: учебные исследования. [Электронный ресурс] : . – Электрон. дан. – М. : Физматлит, 2007. – 231 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2696](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2696).

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=Lan:Lan-2696&theme=FEFU>

2. Багдоев, А.Г. Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. [Электронный ресурс] : / А.Г. Багдоев, В.И. Ерофеев, А.В. Шекоян. – Электрон. дан. – М. : Физматлит, 2009. – 318 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2665](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2665).

3. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2010. – 219 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=262](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=262).

### **Дополнительная литература**

1. Быков, В.П. Лазерная электродинамика [Электронный ресурс] : . – Электрон. дан. – М. : Физматлит, 2006. – 378 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=48242](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48242).

2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2011. – 288 с. – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2023).

3. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2011. – 539 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=684](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=684).

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Евтушенко Г.С., Губарев Ф.А. Квантовая и оптическая электроника. Практикум: учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2010. - 88 с. <http://window.edu.ru/resource/808/73808>.

2. Вейко В.П. Опорный конспект лекций по курсу "Физико-технические основы лазерных технологий". Раздел: Технологические лазеры и лазерное излучение. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. - 50 с. <http://window.edu.ru/resource/853/27853>.

3. Светцов В.И. Оптическая и квантовая электроника: Учебное пособие / Иван. гос. хим.-техн. ун-т. - Иваново: ИГХТУ, 2004. - 122 с. <http://window.edu.ru/resource/524/69524>.

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы учебной дисциплины (РПУД). Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, результаты которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все аудиторные и самостоятельные задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с планом-графиком.

### **Использование материалов учебно-методического комплекса**

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД): рабочей программы, лекционного курса, материалов практических занятий,



методических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов, глоссария, перечня учебной литературы и других источников информации, контрольно-измерительных материалов (тесты, опросы, вопросы зачета), а также дополнительных материалов.

### **Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

При подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

На самостоятельную работу выносятся подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с материалами из основной и дополнительной литературы, выучить основной теоретический материал по теме, при необходимости, воспользоваться литературой на русском языке и/или источниками в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет".

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

Учебная лаборатория, He-Ne лазер ЛГИ-223-1 12 мВт, система фокусировки оптических лучей.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по дисциплине «Оптика твердого тела»  
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток  
2016**

## 1. План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1.	В течение семестра	Изучение разделов теоретической части курса	27 час.	Собеседование (УО-1)
2.	В течение семестра	Подготовка к практическим занятиям	27 час.	Контрольная работа (ПР-2)

## 2. Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа студентов включает в себя: изучение разделов теоретической части курса, подготовка к лабораторным работам.

Изучение разделов теоретической части курса осуществляется студентом в период между посвященной данной теме лекцией и следующей лекцией. Задание и литературу для изучения разделов теоретической части курса преподаватель сообщает в конце лекции.

Подготовка к лабораторным занятиям осуществляется студентом в период между двумя лабораторными работами. Материалы для подготовки к лабораторной работе студент получает у преподавателя на предыдущей лабораторной работе. Подготовка осуществляется по контрольным вопросам, представленным в приложении 2.

Самоконтроль и определение степени готовности к промежуточному контролю осуществляется студентом по контрольным вопросам, представленным в приложении 2.

## 3. Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Контроль выполнения работы по изучению разделов теоретической части курса осуществляется на лабораторных работах в форме собеседования. Оформление ответов на вопросы не требуется.

По окончании изучения разделов проводится текущий контроль работы по изучению разделов теоретической части курса в форме теста или контрольной работы по вопросам, представленным в приложении 2.

Контроль выполнения работы по подготовке к лабораторным занятиям осуществляется на лабораторных работах в форме собеседования.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Оптика твердого тела»**  
**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2016**

## ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ОПК-2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p>	Знает	<p>причины возникновения идеи квантования колебаний кристаллической решетки, физический смысл появления оптической и акустической ветвей в законе дисперсии фононов, природу и проявления ангармонизма и различие между моделями Эйнштейна и Дебая;</p> <p>возможности применения и границы использования теории металлов Друде, Зоммерфельда и зонной теории для описания низкотемпературного отклонения от закона Дюлонга-Пти, эффектов Видемана-Франца, Холла и Зеебека;</p> <p>способы описания электронной волновой функции в кристаллах (теорема Блоха), причину возникновения энергетических зон, хвостов энергетических состояний, квазиимпульса электрона и природу его эффективной массы, проявления эффекта дифракции зонных электронов и область применимости приближения почти свободных электронов;</p>
	Умеет	<p>качественно обосновывать и теоретически оценивать вероятности протекания оптических явлений и возможности их экспериментальной регистрации исходя из фундаментальных принципов физики;</p> <p>физические основы процессов квантового взаимодействия фотонов и электронов с квазичастицами (фононами, экситонами, плазмонами и поляронами);</p> <p>физику прямых и непрямых оптических переходов в полупроводниках;</p> <p>физику рефракции света в полупроводниках;</p> <p>поведение плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа;</p> <p>межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах.</p>
	Владеет	<p>всеми основными понятиями геометрической, волновой и квантовой оптики, когерентного и сжатого состояний;</p>
<p>ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике</p>	Знает	<p>методы расчета зонной структуры, <b>k-p</b> – теорию возмущений;</p> <p>процессы взаимодействия электронов с акустическими фононами, деформационный потенциал;</p>

<p>эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>		<p>процессы взаимодействия электронов с продольными оптическими фононами и поляроны;</p> <p>принципы теории Хуан Куна и физический смысл формулы Лиддена-Сакса-Теллера;</p> <p>характеристики и основные особенности собственных и примесных (мелких и глубоких) состояний в полупроводниках;</p> <p>физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения, закон Вегарда, приближение виртуального кристалла, необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов, причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности;</p> <p>такие свойства фундаментального (межзонного) оптического поглощения в полупроводниковых кристаллах, как поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и непрямых переходов, влияние хвостов плотности состояний на край поглощения, проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и непрямых переходов, экситонные эффекты и непрямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах, эффекты зонной структуры;</p> <p>физику решеточного поглощения при возбуждении ТО-фононов, поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты, эффекты двухфононного и многофононного поглощения;</p> <p>такие эффекты примесного поглощения как фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей, внутрицентровые переходы, фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках и оптическое поглощение на связанных экситонах, а также поглощение на локальных колебаниях примесных атомов;</p> <p>оптическое поглощение свободными носителями зарядов: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием;</p> <p>механизмы, приводящие люминесценции полупроводников: возбуждение путем инжекции неосновных носителей заряда через гомо- или</p>
--	--	---



		<p>гетеропереход, возбуждение ударной ионизацией в сильном электрическом поле, возбуждение при туннелировании, смысл квазиуровней Ферми, а также связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли;</p> <p>процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках: переход зона – зона, рекомбинация свободных и связанных экситонов, рекомбинация зона – примесь, межпримесная рекомбинация, внутрицентровые излучательные переходы, внутризонные излучательные переходы между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда;</p> <p>процессы безызлучательной рекомбинации: Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах</p> <p>фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах: внешний и внутренний фотоэффект, фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях, эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами;</p> <p>размерное квантование, свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле</p> <p>эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле;</p> <p>способы получения двумерного электронного газа: на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), на изотипном N - p - гетеропереходе, на двойной гетероструктуре (ДГС);</p> <p>свойства экситонных состояний в квантоворазмерных системах;</p> <p>электрооптические, фотоэлектрические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах;</p>
	Умеет	использовать технику вторичного квантования; применять методы теории возмущений и диаграммной техники Фейнмана;
	Владеет	сутью оптических явлений и характером описывающих их законов

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация

1	Структура кристаллов и аморфных тел. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 1 - 4
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
2	Теория металлов. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 5 - 7
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
3	Колебания кристаллической решетки. Электрон-фононное взаимодействие	ОПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 8 - 11
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
4	Методы расчета зонной структуры кристаллов	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 12 - 13
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
5	Электронные состояния в твердых растворах и аморфных полупроводниках	ОПК-1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 14 - 15
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
6	Оптические переходы в диэлектриках и полупроводниках. Оптическое поглощение в кристаллах	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 16 - 19
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
7	Рефракция и рассеяние света в твердых телах	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 20 - 21
			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
8	Люминесценция	ПК-2	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 22 - 24
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	
9	Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах	ПК-2,	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 25 - 27

			умеет, владеет	Тест (ПР-1)	
10	Оптика квантоворазмерных структур	ОПК- 1	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 28 - 30
			умеет, владеет	Контрольная работа (ПР-2)	

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ОПК-2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующих физико-математический аппарат	знает (пороговый уровень)	причины возникновения идеи квантования колебаний кристаллической решетки, физический смысл появления оптической и акустической ветвей в законе дисперсии фононов, природу и проявления ангармонизма и различия между моделями Эйнштейна и Дебая;	воспроизводить и объяснять учебный материал требуемой степенью научной точности и полноты	способность показать базовые знания и основные умения по проблемам оптики твердого тела
		возможности применения и границы использования теории металлов Друде, Зоммерфельда и зонной теории для описания низкотемпературного отклонения от закона Дюлонга- Пти, эффектов Видемана-		

	<p>Франца, Холла и Зеебека;  способы описания электронной волновой функции в кристаллах (теорема Блоха), причину возникновения энергетических зон, хвостов энергетических состояний, квазиимпульса электрона и природу его эффективной массы, проявления эффекта дифракции зонных электронов и область применимости приближения почти свободных электронов;</p>		
<p>умеет (продвину-  тый)</p>	<p>качественно обосновывать и теоретически оценивать вероятности протекания оптических явлений и возможности их экспериментальной регистрации исходя из фундаментальных принципов физики;  физические основы процессов квантового взаимодействия фотонов и</p>	<p>выполнять задания, связанные с выявлением естественнонаучной сущности проблем оптики твердого тела</p>	<p>способность применить знания и практические умения для выполнения заданий, связанных с выявлением естественнонаучной сущности проблем оптики твердого тела</p>

		<p>электронов с квазичастицами (фононами, экситонами, плазмонами и поляронами);</p> <p>физику прямых и не прямых оптических переходов в полупроводниках;</p> <p>физику рефракции света в полупроводниках;</p> <p>поведение плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа;</p> <p>межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах.</p>		
	владеет (высокий)	<p>всеми основными понятиями геометрической, волновой и квантовой оптики, когерентного и сжатого состояний;</p> <p>смыслom используемых оптических величин;</p>	самостоятельно выявлять естественнонаучную сущность проблем оптики твердого тела	<p>способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения по получению новых знаний по проблемам оптики твердого тела</p>
ПК-2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную	Знает	<p>методы расчета зонной структуры, <b>k-p</b> – теорию возмущений;</p> <p>процессы взаимодействия</p>	воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной	<p>способность показать базовые знания и основные умения по методикам экспериментальн</p>

<p>методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</p>	<p>электронов с акустическими фононами, деформационный потенциал; процессы взаимодействия электронов с продольными оптическими фононами и поляроны; принципы теории Хуан Куниа и физический смысл формулы Лиддена-Сакса-Теллера; характеристики и основные особенности собственных и примесных (мелких и глубоких) состояний в полупроводниках; физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения, закон Вегарда, приближение виртуального кристалла, необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов, причины возникновения эффекта инверсии зон,</p>	<p>точности и полноты</p>	<p>и ого исследования материалов и приборов оптики твердого тела</p>
--	---	---------------------------	--

		<p>неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности; такие свойства фундаментального (межзонного) оптического поглощения в полупроводниковых кристаллах, как поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и непрямых переходов, влияние хвостов плотности состояний на край поглощения, проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и непрямых переходов, экситонные эффекты и непрямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах,</p>		
--	--	--	--	--

		<p>эффекты зонной структуры; физику решеточного поглощения при возбуждении ТО-фононов, поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты, эффекты двухфононного и многофононного поглощения; такие эффекты примесного поглощения как фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей, внутрицентровые переходы, фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках и оптическое поглощение на связанных экситонах, а также поглощение на локальных колебаниях примесных атомов; оптическое поглощение свободными носителями</p>		
--	--	---	--	--



		<p>зарядов: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин- орбитальным взаимодействием; механизмы, приводящие люминесценции полупроводников: возбуждение путем инжекции неосновных носителей заряда через гомо- или гетеропереход, возбуждение ударной ионизацией в сильном электрическом поле, возбуждение при туннелировании , смысл квазиуровней Ферми, а также связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли; процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках: переход зона – зона, рекомбинация свободных и связанных экситонов, рекомбинация</p>		
--	--	--	--	--

	<p>зона – примесь, межпримесная рекомбинация, внутрицентровые и излучательные переходы, внутризонные излучательные переходы между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда; процессы безызлучательной рекомбинации: Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах: внешний и внутренний фотоэффект, фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях, эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами;</p>		
--	--	--	--

		<p>размерное квантование, свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле</p> <p>эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле;</p> <p>способы получения двумерного электронного газа: на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), на изотипном N - p - гетеропереходе, на двойной гетероструктуре (ДГС);</p> <p>свойства экситонных состояний в квантоворазмерных системах;</p> <p>электрооптические, фотоэлектрические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах;</p>		
	Умеет	использовать технику вторичного квантования;	выполнять задания, связанные с экспериментальными	способность применить знания и практические умения для

		применять методы теории возмущений и диаграммной техники Фейнмана;	исследованиями материалов и приборов оптики твердого тела	экспериментального исследования материалов и приборов оптики твердого тела
	Владеет	сутью оптических явлений и характером описывающих их законов	самостоятельно осуществлять экспериментальное исследование материалов и приборов оптики твердого тела	способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения по получению новых знаний при экспериментальном исследовании материалов и приборов оптики твердого тела

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Оценочные средства для промежуточной аттестации**

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине "Оптика твердого тела "**

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	«зачтено»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал

		монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76 - 85	«зачтено»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61 -75	«зачтено»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0 -60	«не зачтено»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **Вопросы к зачету**

1. Решетки Бравэ, ячейки Вигнера-Зейца, обратные решетки, индексы Миллера
2. Геометрический структурный фактор. Дифракция рентгеновского излучения на кристалле.
3. Рассеяние электронов на периодическом потенциале решетки. Теорема Блоха
4. Дифракция зонных электронов. Приближение почти свободных электронов
5. Основные положения теории металлов Друде. Статическая электропроводность металла. Эффект Холла и магнетосопротивление в теории

Друде. Высокочастотная электропроводность металла. Теплопроводность металла. Закон Видемана-Франца. Эффект Зеебека

6. Теория металлов Зоммерфельда. Функция распределения Ферми-Дирака. Химпотенциал, теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда

7. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение. Взаимное отталкивание атомов. Потенциал Ленарда-Джонса. Ионные кристаллы. Ковалентная связь. Плазма. Металлическая связь.

8. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки. Дисперсия акустических и оптических колебаний. Квантование колебаний решетки.

9. Теория Хуан Куня. Формула Лиддена-Сакса-Теллера. Взаимодействие оптических фононов с фотонами. Ангармонические эффекты.

10. Взаимодействие электронов с акустическими фононами. Деформационный потенциал.

11. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами. Гамильтониан Фрѐлиха. Поляроны.

12. Методы расчета зонной структуры кристаллов. Метод сильной связи, теорема Ванье. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.

13. Методы расчета зонной структуры кристаллов. Метод присоединенных плоских волн Слэтера. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР). Метод ортогональных плоских волн Хѐрринга.

14.  $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера. Эффективная масса. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).

15. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения, закон Вегарда, приближение виртуального кристалла, необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов, причины возникновения эффекта

инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.

16. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и непрямых переходов, влияние хвостов плотности состояний на край поглощения, проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и непрямых переходов, экситонные эффекты и непрямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах, эффекты зонной структуры.

17. Решеточное поглощения при возбуждении ТО-фононов, поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты, эффекты многофононного решеточного поглощение инфракрасного излучения в полупроводниках и диэлектриках.

18. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием.

19. Примесное поглощение: фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей, внутрицентровые переходы, фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках и оптическое поглощение на связанных экситонах, а также поглощение на локальных колебаниях примесных атомов

20. Рассеяние света в твердых телах. Оптическое поглощение в кристаллах

21. Рефракция света в полупроводниках.

22. Люминесценция: возбуждение путем инъекции неосновных носителей заряда через гомо- или гетеропереход, возбуждение ударной ионизацией в сильном электрическом поле, возбуждение при туннелировании.

Смысл квазиуровней Ферми, а также связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли.

23. Процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках: переход зона – зона, рекомбинация свободных и связанных экситонов, рекомбинация зона – примесь, межпримесная рекомбинация, внутрицентровые излучательные переходы, внутризонные излучательные переходы между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда.

24. Процессы безызлучательной рекомбинации: Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах

25. Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах: внешний и внутренний фотоэффект, фоторезистивный эффект, стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях, эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами.

26. Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, нити и точки. Свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле.

27. Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле.

28. Способы получения двумерного электронного газа: на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), на изотипном N-p - гетеропереходе, на двойной гетероструктуре (ДГС). Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии.

29. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах. Экситоны в наноструктурах.

30. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах.

**Оценочные средства для текущей аттестации**



Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

## **2. Контрольные работы**

### **Контрольная № 1**

1. Металлы, полуметаллы, полупроводники и диэлектрики.
2. Решетки Бравэ, ячейки Вигнера-Зейца, обратные решетки, индексы Миллера
3. Геометрический структурный фактор.
4. Дифракция рентгеновского излучения на кристалле.
5. Рассеяние электронов на периодическом потенциале решетки.
6. Теорема Блоха
7. Дифракция зонных электронов.
8. Приближение почти свободных электронов
9. Основные положения теории металлов Друде.
10. Статическая электропроводность металла.
11. Закон Джоуля-Ленца в теории металлов Друде.
12. Эффект Холла и магнетосопротивление в теории Друде.
13. Высокочастотная электропроводность металла.
14. Теплопроводность металла.
15. Закон Видемана-Франца.
16. Эффект Зеебека
17. Теория металлов Зоммерфельда.
18. Функция распределения Ферми-Дирака.
19. Химпотенциал, теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда
20. Недостатки теории металлов Друде.

## Контрольная № 2

1. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение.
2. Взаимное отталкивание атомов.
3. Потенциал Ленарда-Джонса.
4. Ионные кристаллы.
5. Ковалентная связь.
6. Металлическая связь.
7. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.
8. Дисперсия акустических и оптических колебаний.
9. Квантование колебаний решетки.
10. Теория Хуан Куня.
11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.
12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
13. Ангармонические эффекты.
14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

## Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.
4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $\mathbf{k} \cdot \mathbf{p}$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. Эффективная масса.

10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.

14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для прямых и непрямых переходов.

17. Влияние хвостов плотности состояний на край поглощения.

18. Проявления оптических переходов в экситонные состояния на краю спектров поглощения для прямых и непрямых переходов.

19. Экситонные эффекты и непрямые безфононные оптические переходы в полупроводниковых твердых растворах.

20. Решеточное поглощение при возбуждении ТО-фононов.

21. Поведение действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости при изменении частоты.

22. Эффекты многофононного решеточного поглощения инфракрасного излучения в полупроводниках и диэлектриках.

23. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием.

1. Примесное поглощение: фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей.
2. Внутрицентровые переходы.
3. Фотогенерация связанных экситонов на изоэлектронных ловушках.
4. Оптическое поглощение на связанных экситонах.
5. Поглощение на локальных колебаниях примесных атомов.
6. Рассеяние света в твердых телах.
7. Оптическое поглощение в кристаллах.
8. Рефракция света в полупроводниках.
9. Люминесценция путем инжекции неосновных носителей заряда через гомо- или гетеропереход.
10. Люминесценция при ударной ионизацией в сильном электрическом поле.
11. Люминесценция при туннелировании.
12. Смысл квазиуровней Ферми. Связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли.
13. Излучательная рекомбинация в полупроводниках при переходе зона–зона.
14. Излучательная рекомбинация свободных и связанных экситонов.
15. Излучательная рекомбинация зона – примесь.
16. Межпримесная излучательная рекомбинация.
17. Излучательная рекомбинация при внутрицентровых излучательных переходах.
18. Излучательная рекомбинация при внутризонных излучательных переходах между подзонами одной и той же зоны, включающие «горячие» носители заряда.
19. Безызлучательная Оже-рекомбинация.
20. Поверхностная безызлучательная рекомбинация.
21. Безызлучательная рекомбинация через макроскопические дефекты.

22. Безызлучательная рекомбинация на точечных микроскопических дефектах.

### **Контрольная № 5**

1. Внешний и внутренний фотоэффект.
2. Фоторезистивный эффект.
3. Стационарная фотопроводимость в случае линейной и квадратичной рекомбинациях.
4. Эффект Дембера.
5. Эффект Кикоина-Носкова.
6. Эффект увлечения носителей заряда фотонами.
7. Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, нити и точки.
8. Свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле.
9. Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле.
10. Метод получения двумерного электронного газа на структурах металл-диэлектрик-полупроводник (МДП),
11. Метод получения двумерного электронного газа на изотипном N-n – гетеропереходе.
12. Метод получения двумерного электронного газа на двойной гетероструктуре (ДГС).
13. Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии.
14. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах.
15. Экситоны в наноструктурах.
16. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах.

### **3. Вопросы для самопроверки**

**Тема 1. Предмет, цель и содержание дисциплины «Оптика твердого тела».**

1. Основные понятия, термины и определения оптики твердого тела.
2. Связь оптики твердого тела с кристаллофизикой, квантовой механикой, классической, квантовой оптикой и квантовой теорией поля.
3. Роль когерентных и сжатых состояний в современной оптике.

**Тема 2. Кристаллические структуры.**

1. Кристаллическая структура. Способы её описания и основные понятия.
2. Прямая и обратная решетки. Основные типы дефектов кристаллической решетки.
3. Элементарная ячейка, решетки Бравэ и решетки с базисом, Кристаллографические плоскости, индексы Миллера.

**Тема 3. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке.**

1. Геометрический структурный фактор.
2. Дифракция рентгеновского излучения на кристалле.
3. Рассеяние электронов на периодическом потенциале решетки, «золотое правило» Ферми, атомный фактор.
4. Теорема Блоха, граничное условие Борна-Кармана.
5. Дифракция зонных электронов.

**Тема 4. Теория металлов Друде .**

1. Основные положения теории металлов Друде.
2. Статическая электропроводность металла. Эффект Холла и магнетосопротивление в теории Друде.
3. Высокочастотная электропроводность металла.

4. Теплопроводность металла.
5. Закон Видемана-Франца.
6. Эффект Зеебека.

### **Тема 5. Теория металлов Зоммерфельда (2 час.)**

1. Функция распределения Ферми-Дирака, плотность состояний, плотность числа частиц и плотность энергии электронного газа.
2. Химпотенциал, удельная теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда.

### **Тема 6. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах.**

1. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение.
2. Взаимное отталкивание атомов.
3. Потенциал Ленарда-Джонса, модель жестких сфер, сжимаемость и модуль объемного сжатия.
4. Ионные кристаллы, энергия Маделунга, метод Эвьена расчета сумм Маделунга.
5. Ковалентная связь.
6. Металлическая связь, поляризуемость газа свободных электронов, диэлектрическая проницаемость Хартри.

### **Тема 7. Теория колебания кристаллической решетки.**

1. Динамика решетки. Фононы, их энергетический спектр.
2. Теплоемкость решетки, закон Дюлонга-Пти,
3. Модель Эйнштейна, эйнштейновская температура,
4. Модель Дебая, дебаевское волновое число, дебаевская частота и теплоемкость, дебаевская температура.

### **Тема 8. Колебания трехмерной решетки.**

1. Колебания трехмерной решетки, динамическая матрица, дисперсия акустических и оптических колебаний.

2. Квантование колебаний решетки, операторы рождения и уничтожения фононов.

3. Теория Хуан Куня, формула Лиддена-Сакса-Теллера.

### **Тема 9. Взаимодействие оптических фононов с фотонами**

1. Взаимодействие оптических фононов с фотонами, дисперсия двух ветвей спектра фонон-фотонных поляритонов.

2. Ангармонические эффекты, параметр Грюнайзена, нормальный процесс (N-процесс) и процесс переброса (U-процесс), связь ангармонизма с коэффициентом теплопроводности.

### **Тема 10. Электрон-фононное взаимодействие.**

1. Электрон-фононное взаимодействие.

2. Деформационный потенциал,  $\psi$ аллов Зоммерфельда.

18. Функция распределения Ферми-Дирака.

19. Химпотенциал, теплоемкость, теплопроводность и термо-э.д.с. в теории

**Зоммерфельда**

**20. Недостатки теории металлов Друде.**

### **Контрольная № 2**

1. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение.

2. Взаимное отталкивание атомов.

3. Потенциал Ленарда-Джонса.

4. Ионные кристаллы.

5. Ковалентная связь.

6. Металлическая связь.

7. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.

8. Дисперсия акустических и оптических колебаний.



9. Квантование колебаний решетки.
10. Теория Хуан Куня.
11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.
12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
- 13. Ангармонические эффекты.**
- 14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
- 3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
- 4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
- 5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k$ - $r$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
- 10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. **Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**
- 13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
- 14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста**

плотности состояний и порога подвижности.

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**плопроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда**

**20. Недостатки теории металлов Друде.**

Контрольная № 2

1. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение.

2. Взаимное отталкивание атомов.

3. Потенциал Ленарда-Джонса.

**4. Ионные кристаллы.**

**5. Ковалентная связь.**

**6. Металлическая связь.**

**7. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.**

**8. Дисперсия акустических и оптических колебаний.**

9. Квантование колебаний решетки.

10. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.

**13. Ангармонические эффекты.**

**14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
3. **Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
17. **Полупроводность и термо-э.д.с. в теории Зоммерфельда**
20. Недостатки теории металлов Друде.

Контрольная № 2

1. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение.
2. Взаимное отталкивание атомов.

3. Потенциал Ленарда-Джонса.
4. Ионные кристаллы.
5. Ковалентная связь.
6. Металлическая связь.
7. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.
8. Дисперсия акустических и оптических колебаний.
9. Квантование колебаний решетки.
10. Теория Хуан Куня.
11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.
12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
13. Ангармонические эффекты.
14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.
4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. Эффективная масса.
10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных

твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. **Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

1. металлов Друде.

Контрольная № 2

1. Силы Ван-дер-Ваальса, классическое и квантовое рассмотрение.

2. Взаимное отталкивание атомов.

3. Потенциал Ленарда-Джонса.

4. **Ионные кристаллы.**

5. **Ковалентная связь.**

6. **Металлическая связь.**

7. **Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.**

8. **Дисперсия акустических и оптических колебаний.**

9. Квантование колебаний решетки.

10. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. **Взаимодействие оптических фононов с фотонами.**

13. **Ангармонические эффекты.**

14. **Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
- 3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
- 4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k$ - $p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
- 10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
- 13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
- 14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

2. cсмотрение.
2. Взаимное отталкивание атомов.
3. Потенциал Ленарда-Джонса.
4. **Ионные кристаллы.**
5. **Ковалентная связь.**
6. **Металлическая связь.**
7. **Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.**
8. **Дисперсия акустических и оптических колебаний.**
9. Квантование колебаний решетки.
10. Теория Хуан Куня.
11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.
12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
13. **Ангармонические эффекты.**
14. **Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрёлиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
3. **Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. **Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость,**

экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

3. отталкивание атомов.

3. Потенциал Ленарда-Джонса.

4. Ионные кристаллы.

5. Ковалентная связь.

6. Металлическая связь.

7. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.

8. Дисперсия акустических и оптических колебаний.

9. Квантование колебаний решетки.

10. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.

**13. Ангармонические эффекты.**

**14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.



18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
  2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
  3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.
  4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
  5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
  6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
  7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
  8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
  9. Эффективная масса.
  10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).
  11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
  12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
  13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.
  14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.
  15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
  16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.  
иал Ленарда-Джонса.
4. Ионные кристаллы.
  5. Ковалентная связь.

6. **Металлическая связь.**
7. **Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.**
8. **Дисперсия акустических и оптических колебаний.**
9. Квантование колебаний решетки.
10. Теория Хуан Куня.
11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.
12. **Взаимодействие оптических фононов с фотонами.**
13. **Ангармонические эффекты.**
14. **Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

#### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
3. **Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. **Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**
13. **Необходимость использования трехкомпонентных и**

**четырёхкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**ал Ленарда-Джонса.**

**4. Ионные кристаллы.**

**5. Ковалентная связь.**

**6. Металлическая связь.**

**7. Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.**

**8. Дисперсия акустических и оптических колебаний.**

9. Квантование колебаний решетки.

10. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.

**13. Ангармонические эффекты.**

**14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k$ - $p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

л Ленарда-Джонса.

4. **Ионные кристаллы.**
5. **Ковалентная связь.**
6. **Металлическая связь.**
7. **Теплоемкость решетки. Колебания трехмерной решетки.**
8. **Дисперсия акустических и оптических колебаний.**
9. Квантование колебаний решетки.
10. Теория Хуан Куня.
11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
- 13. Ангармонические эффекты.**
14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
- 3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
- 4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
- 10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
- 13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
- 14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

1. еских и оптических колебаний.

9. Квантование колебаний решетки.

10. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.

**13. Ангармонические эффекты.**

**14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

9. **Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

2. .

9. Квантование колебаний решетки.

10. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.

12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.

**13. Ангармонические эффекты.**

**14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8. к·р-теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

### 3. Теория Хуан Куня.

11. Формула Лиддена-Сакса-Теллера.
12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
13. **Ангармонические эффекты.**
14. **Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**
15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрëлиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.



3. **Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. **Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. **Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**
13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. **Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**
16. **Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**
  4. **Лиддена-Сакса-Теллера.**
12. **Взаимодействие оптических фононов с фотонами.**
13. **Ангармонические эффекты.**
14. **Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**
15. Деформационный потенциал.
16. **Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.**
17. **Гамильтониан Фрелиха.**
18. **Поляроны.**

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
  2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
  3. **Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
  4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
  5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
  6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
  7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
  8.  $k \cdot r$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
  9. **Эффективная масса.**
  10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
  11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
  12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
  13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
  14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
  15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
  16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
5. .
12. Взаимодействие оптических фононов с фотонами.
  13. **Ангармонические эффекты.**
  14. **Взаимодействие электронов с акустическими фононами.**

15. Деформационный потенциал.
16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
- 3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
- 4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
- 5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k$ - $p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
- 10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. **Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**
- 13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
- 14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

б. твие оптических фононов с фотонами.

**13. Ангармонические эффекты.**

14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

9. **Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**ов с фотонами.**

**13. Ангармонические эффекты.**

14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

9. Эффективная масса.

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста**

плотности состояний и порога подвижности.

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**в с фотонами.**

**13. Ангармонические эффекты.**

14. Взаимодействие электронов с акустическими фононами.

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

**9. Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

**12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и**

**четырёхкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

1. действие электронов с акустическими фононами.

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

**9. Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

**12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

2. фононами.

15. Деформационный потенциал.

16. Взаимодействие электронов с продольными оптическими фононами.

17. Гамильтониан Фрелиха.

18. Поляроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot r$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

**9. Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.



12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
  3. оптическими фононами.
17. Гамильтониан Фрелиха.
18. Поляроны.

### Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.
2. Метод сильной связи, теорема Ванье.
3. **Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**
4. **Методы расчета зонной структуры кристаллов.**
5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.
6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k \cdot r$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

4. яроны.

Контрольная № 3

1. Методы расчета зонной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8.  $k \cdot p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

**9. Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного**

**уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

5. онной структуры кристаллов.

2. Метод сильной связи, теорема Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8. k·p-теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

9. **Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных

зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

Ванье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8. к·р-теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

**9. Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

**12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

анье.

**3. Метод ячеек Вигнера-Зейца, МТ-потенциал.**

**4. Методы расчета зонной структуры кристаллов.**

**5. Метод присоединенных плоских волн Слэтера.**

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k$ - $p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
- 10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
- 13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
- 14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

1. метод присоединенных плоских волн Слэтера.

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
8.  $k$ - $p$ -теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
9. **Эффективная масса.**
- 10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.
- 13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

2. плоских волн Слэтера.

6. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8. к·р-теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.

9. **Эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

3. гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера (ККР).

7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.

8. к·р-теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
  9. **Эффективная масса.**
  10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
  11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
  12. **Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**
  13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
  14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**
  15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
  16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.
4. Р).
7. Метод ортогональных плоских волн Хёрринга.
  8. к·р-теория возмущений, базис Кона-Латтинджера.
  9. **Эффективная масса.**
  10. **Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**
  11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.
  12. **Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.**
  13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**
  14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста**

плотности состояний и порога подвижности.

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**эффективная масса.**

**10. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта, экситонная жидкость, экситонные комплексы (биэкситоны и экситонные ионы).**

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**



**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

1. ситонные комплексы (биэситоны и экситонные ионы).

11. Физические свойства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

2. ства идеальных, изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

3. изовалентных и гетеровалентных твердых растворов замещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

4. амещения.

12. Закон Вегарда, приближение виртуального кристалла.

13. **Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

14. **Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**Вегарда, приближение виртуального кристалла.**

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**егарда, приближение виртуального кристалла.**

**13. Необходимость использования трехкомпонентных и четырехкомпонентных твердых растворов.**

**14. Причины возникновения эффекта инверсии зон, неоднородного уширения энергетического спектра электронных состояний, хвоста плотности состояний и порога подвижности.**

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

1. ий, хвоста плотности состояний и порога подвижности.

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

**16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

2. ога подвижности.

15. Фундаментальное поглощение света на межзонных переходах в

диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

3. а на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

4. дниках.

16. Оптические переходы в полупроводниках, поведение спектральных зависимостей **коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

**коэффициента поглощения от частоты для света на межзонных переходах в диэлектриках и собственных полупроводниках.**

1. Процессы поглощения в полупроводниках.

2. Спектры поглощения и отражения.

3. Оптические переходы в полупроводниках.

4. Влияние внешних факторов (температуры, давления, электрического поля) на край поглощения.

**Тема 18. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках.**

1. Поглощение в сильнолегированных полупроводниках.

2. Поглощение света свободными носителями заряда в полупроводниках: электронами, легкими и тяжелыми дырками и дырками в зоне, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием.

3. Примесное поглощение: фотоионизация, фотовозбуждение и фотонейтрализация мелких и глубоких примесей.

### **Тема 19. Рефракция и рассеяние света в твердых телах.**

1. Рефракция в твердых телах.
2. Рассеяние света в твердых телах.

### **Тема 20. Люминесценция: возбуждение путем инжекции неосновных носителей заряда.**

1. Люминесценция.
2. Смысл квазиуровней Ферми.
3. Связь спектра поглощения и спектра люминесценции в теории Ван Русбрека – Шокли.

### **Тема 21. Процессы излучательной рекомбинации в полупроводниках.**

1. Неравновесные процессы.
2. Понятие о квазиуровнях Ферми.
3. Излучательная рекомбинация.
4. Процессы безызлучательной рекомбинации:
5. Оже-рекомбинация, поверхностная, через макроскопические дефекты, на точечных микроскопических дефектах.
6. Фотолюминесценция и электролюминесценция. Вынужденное излучение.

### **Тема 22. Фотоэлектрические явления в однородных и неоднородных полупроводниках. Собственная и примесная фотопроводимость. Фотогальванические эффекты.**

1. Фотоэлектрические явления в однородных и неоднородных полупроводниках.

2. Собственная и примесная фотопроводимость.
3. Внешний и внутренний фотоэффект.
4. фоторезистивный эффект.

**Тема 23. Эффекты Дембера, Кикоина-Носкова, увлечения носителей заряда фотонами.**

1. Эффект Дембера.
2. Эффект Кикоина-Носкова.

**Тема 24. Квантоворазмерные структуры.**

1. Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, нити и точки.
2. Свойства квантовых ям, электронных состояний и волновых функций в электрическом поле.

**Тема 25. Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле.**

1. Эффекты резонансного туннелирования в квантовых ямах во внешнем электрическом поле.
2. Способы получения двумерного электронного газа.

**Тема 26. Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах. Экситоны в наноструктурах. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах.**

1. Плотности состояний двумерного, одномерного и нульмерного электронного газа как функции энергии.
2. Межзонные и межподзонные оптические переходы в квантовых ямах. Экситоны в наноструктурах.

### 3. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах.