

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
Институт «Физико-технологический»  
Кафедра Технической физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

С.Т.Князев

Подпись

2018 г.

Дата


**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Рекомендована учебно-методическим советом физико-технологического института  
для направлений подготовки и специальностей:

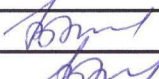
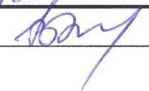
Код ОП	Направление/ Специальность	Направленность (профиль) програм- мы магистратуры/ специализации	Номер учебного плана	Код дисци- плины по учебному плану
14.05.01/02.01	Ядерные реакторы и ма- териалы	Ядерные реакторы и материалы	5242	Б1.58

Екатеринбург, 2018

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:


№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Токманцев В.И.	д.т.н	Зав. кафедрой	Технической физики	

Рабочая программа одобрена на заседании кафедр (учебно-методических советов):


№	Наименование кафедры (УМС)	Дата заседания	Номер протокола	ФИО зав. кафедрой (предс. УМС)	Подпись
1	Технической физики	26.04.2018	5	Токманцев В.И.	
2	Технической физики	26.04.2018	5	Токманцев В.И.	

Согласовано:

Начальник отдела проектирования образовательных программ и организации учебного процесса

  
\_\_\_\_\_  
Р.Х Токарева

Председатель учебно-методического совета  
Физико-технологического института

  
\_\_\_\_\_  
В.В.Зверев

11.05.2018, протокол № 9



## 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

Код направления/ специальности	Название направления/ специальности	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
14.05.01	Ядерные реакторы и материалы	03.09.2015	956

### 1.1 Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование компетенций:

#### **ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК) в соответствии с ФГОС ВО:**

##### **проектная деятельность:**

способность к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам (ПК-12).

##### **производственно-технологическая деятельность:**

готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем (ПК-22);

способность к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и (или) программных средств (ПК-23);

способностью к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний (ПК-24);

способность эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок (ПК-29);

способность разрабатывать и применять информационные технологии для обеспечения безопасности ядерных установок и материалов (ПК-31).

### 1.2 Содержание результатов обучения

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать** фундаментальные основы физики твердого тела в том числе: описания структуры идеальных кристаллов, электронных состояний, электрических и когезионных свойств, динамики кристаллической решетки, явлений переноса в кристаллах, дефектообразования и диффузионных процессов, механических свойств реальных кристаллов.

**Владеть** физико-математическим аппаратом используемом в теории физики твердого тела при решении специфических задач дисциплины.

**Уметь** оценивать макроскопические, в том числе служебные, параметры твердых тел на основе их микроскопического описания.

### 1.3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

1. Пререквизиты	Атомная физика; Статистическая физика; Квантовая механика; Электродинамика.
2. Кореквизиты*	Физика жидкости.
3. Постреквизиты*	Динамика ядерных реакторов, критерии безопасности и оценка рисков; Молекулярная физика.

#### 1.4. Объем (трудоемкость) дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы, формы контроля	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего, час.	В т.ч. контактная работа (час.)*	8 семестр
1.	Аудиторные занятия, час.	85	85	85
2.	Лекции, час.	68	68	68
3.	Практические занятия, час.	17	17	17
4.	Лабораторные работы, час.	0	0	0
5.	Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации, час.	41	12,75	41
6.	Вид промежуточной аттестации	18	2,33	Экзамен, 18
7.	Общая трудоемкость по учебному плану, час.	144	100,08	144
8.	Общая трудоемкость по учебному плану, з.е.	4	-	4

#### 1.5. Краткое описание (аннотация) дисциплины

Содержание дисциплины включает основы теории твердого тела, изложение которой базируются на использовании методов теоретической физики. Представленная тематика обусловлена квалификационными требованиями подготовки специалистов по ядерным реакторам. Особое внимание уделяется обоснованию представления макроскопических, в том числе технологических характеристик материалов в терминах микроскопического описания свойств твердых тел. Обучающимся предоставляется возможность получить комплексное всестороннее представление об особенностях атомного строения и физических свойств различных классов твердых тел. Также содержание дисциплины направлено на овладение необходимыми знаниями и умениями для успешного использования методов изучения энергетической структуры, дефектов и элементарных возмущений в кристаллах и аморфных материалах.

## 2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код разделов и тем	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
Р1	Описание структуры кристаллов	Симметрия кристаллов. Понятие идеального кристалла, макро- и микросимметрия. Элементы теории упругости анизотропных тел. Обобщенный закон Гука, модули упругости, термодинамические функции упругодеформированного тела. Представление непериодических функций Фурье разложение, понятие обратной решетки, теорема Блоха, понятие зоны Бриллюэна, циклические граничные условия.
Р2	Электроны в идеальном кристалле	Г аз свободных электронов. Адиабатическое приближение. Основное состояние электронного газа, распределение Ферми-Дирака, тепловой слой Ферми, теплоемкость и уравнение состояния свободного электрического газа. Одноэлектронное приближение Хартри Фока. Определение энергии системы электронов, понятие обменной энергии, обменная энергия свободного электронного газа. Формулировка системы одноэлектронных уравнений Шредингера. Диэлектрическая реакция электронного газа. Вывод соотношения Линхарда, экранирование статического заряда, переходы Метта. Понятие плазменной частоты, плазмоны. Дифракция электронов на статической решетке. Вывод вероятности рассеяния в первом порядке теории возмущения, условия дифракции Брэгга, электронные состояния на границе зон Бриллюэна. Зонная структура энергетического спектра электронов в кристаллах. Модель почти свободных электронов, модель сильной связи, псевдволновое уравнение и понятие псевдопотенциала.
Р3	Электрические свойства твердых тел	Критерии изолятора металла, полупроводника, поляризация диэлектриков. Критериальные характеристики. Соотношения Лоренца и Каузиуса-Массоти, механизмы поляризации, понятие сегнетоэлектриков. Электроны проводимости во внешних электрических и магнитных полях. Функции Ванье, определение эффективной массы электронов. Квазиклассическая динамика электронов в конфигурационном и к-пространстве. Эффект Гааза и Фон Альфена. Собственные полупроводники. Электронный и дырочный токи, закон действующих масс, температурная зависимость концентраций носителей тока, электронно-дырочная теплоемкость.
Р4	Когезионные свойства кристаллов	Классификация твердых тел по типу связей когезионная энергия ковалентных кристаллов. Характеристика кристаллов по типу химических связей. Модель молекулы водорода Гайтлера и Лондона. Борновское отталкивание, схемы Юнга, направленность ковалентных связей. Когезионная энергия молекулярных и ионных кристаллов. Взаимодействие дипо-

		<p>лей. Дисперсное взаимодействие атомов водорода. Потенциал Ленарда-Джонсона. Равновесное расстояние между атомами в молекуле и кристалле. Составляющие когезионной энергии ионных кристаллов цикл Борна Гибера. Когезионная энергия и эффективное взаимодействие ионов металлов. Когезионная энергия в первом приближении. Структурно зависящая поправка второго порядка. Эффективная энергия «парного» взаимодействия ионов металла.</p>
P5	Динамика кристаллической решетки	<p>Анализ уравнений тепловых колебаний атомов. Функция Гамильтона и решение уравнений движения в гармоническом приближении, свойства элементов силовой матрицы. Определение динамической матрицы, дисперсионное уравнение, понятие ветвей колебаний. Определение и свойства векторов поляризации. Акустические и оптические колебания решетки. Распространение звуковых колебаний в анизотропной сплошной среде. Одномерные колебания простой трехмерной решетки. Оптические колебания линейной двухатомной цепочки. Спектральная плотность собственных частот, нормальные колебания решетки. Определение спектральной плотности, топологическое представление спектральной плотности низкочастотных акустических колебаний. Представление функции Гамильтона в диагональном виде, преобразование Пайерлса, колебательные состояния кристалла в нормальных действительных координатах. Квантование нормальных колебаний. Представление Гамильтониана нормальных колебаний в терминах вторичного квантования, оператор смещения и спектр энергий квантового осциллятора. Понятие фонона, функция распределения Бозе-Эйнштейна. Температурная зависимость плотности фононного газа. Термодинамические функции фононного газа. Общие формулировки статической суммы, внутренней и свободной энергии. Приближения Дебая и Эйнштейна, характеристические температуры, определение теплоемкости. Уравнение состояния твердого тела. Плавление кристаллов. Уравнения состояния в приближении Дебая, соотношение Ми Грюнайзена. Температурная зависимость тепловых смещений атомов, формула Линдемана.</p>
P6	Явления переноса в кристаллах	<p>Основные понятия явлений переноса в кристаллах. Феноменологическое определение коэффициентов переноса, эффект Томсона. Кинетическое уравнение Больцмана, вариационное представление коэффициентов переноса, приближение времени релаксации, правило Маттисена. Теплопроводность решетки. Представление коэффициента фононной теплопроводности минимумами вариационного функционала. Формулировка уравнения теплопроводности в приближении времени релаксации, температурная зави-</p>

		<p>симось коэффициента теплопроводности. Электрон-фононное взаимодействие. Электронные состояния в терминах вторичного квантования. Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия в приближении твердых сфер. Вероятность рассеяния при N-процессах, потенциал деформации. Электронная электротеплопроводность. Формулировка уравнения переноса заряда в приближении времени релаксации, закон Ома, эффект Холла, термо ЭДС. Формулировка уравнения электронной теплопроводности в приближении времени релаксации, электронная теплопроводность, эффект Риги-Ледюка. Коэффициенты переноса в металлах. Представление коэффициентов переноса минимумами вариационных функционалов, их определение в приближении времени релаксации по Зоммерфельду. Анализ температурных зависимостей. Закон Видемана-Франца.</p>
P7	Дефекты кристаллической решетки	<p>Точечные дефекты в кристаллах. Классификация точечных дефектов, локальные частоты колебаний и резонансы. Определение эффективного коэффициента диффузии, локальное равновесие неравновесно статистическое определение коэффициента междоузельной диффузии. Линейные дефекты. Типы дислокаций, вектор Бюргерса, поле деформаций краевой дислокации, взаимодействие дислокаций. Механические свойства кристаллов. Модель пластической деформации Пайерлса. Источники Франка Рида.</p>

### 3 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ (по формам обучения)

#### 3.1. Распределение для изучаемой дисциплины аудиторной нагрузки и контрольных мероприятий по разделам для очной формы обучения





## 4 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 4.1. Лабораторный практикум

не предусмотрено

### 4.2. Практические занятия

Номер раздела	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
P1	1	Просмотр учебных фильмов	2
P2	2	Задачи по электронным состояниям	2
P3	3	Задачи по электрическим свойствам	2
P4	4	Задачи по когезионной энергии	2
P5	5	Задачи по динамике решетки	2
P6	6	Задачи по явлениям переноса	2
P7	7	Дефекты кристаллической решетки	5

Всего: 17

### 4.3. Самостоятельная работа студентов

#### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

не предусмотрено

#### 4.3.2. Примерный перечень тем графических работ

не предусмотрено

#### 4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

не предусмотрено

#### 4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

не предусмотрено

#### 4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)

не предусмотрено

#### 4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ

не предусмотрено

#### 4.3.7. Примерная тематика курсового проекта (работы) (индивидуального или группового)

не предусмотрено

#### 4.3.8. Примерный перечень тем контрольных работ

не предусмотрено

#### 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

1. Представление периодических функций.
2. Теорема Блоха. Понятие зоны Бриллюэна.
3. Циклические граничные условия.
4. Адиабатическое приближение.
5. Одноэлектронное приближение Хартри-Фока.
6. Дифракция электронов на статической решетке.
7. Модель почти свободных электронов.
8. Модель сильной связи.
9. Критерии изолятора, металла и полупроводника.
10. Диэлектрики.
11. Поверхность Ферми.

#### 4.3.10. Перевод иноязычной литературы

не предусмотрено

## 5 СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные и интерактивные методы обучения	Формы учебных занятий и виды учебной работы											
		Лекция	Практич., семинар. занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум	Домашняя работа	Графическая работа	Реферат, эссе, творч. работа	Расчетная работа (программный продукт)	Расчетно-графич. работа	Курс. проект (работа)	Контрольная работа	Коллоквиум
P1-P7	Методы активного обучения												
	Проектная работа												
	Обучение на основе опыта (кейс-анализ, case-study)		*										
	Имитационные технологии (деловые игры и др.)		*										
	Методы проблемного обучения (дискуссии, поисковые работы, исследовательский метод и т.п.)	*											*
	Командная работа		*										

## 6 ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ В РАМКАХ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ

6.1. Весовой коэффициент значимости модуля (дисциплины) в рамках учебного плана –  $k_{\text{дисц.}}=1$

6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,6		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>Посещение лекций</i>	8, 1-17 уч.нед.	10
<i>Коллоквиум</i>	8, 5-6 уч.нед.	90
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – $k_{\text{тек.лек.}}=0,4$		
Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – $k_{\text{пром.лек.}}=0,6$		
2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,4		
Текущая аттестация на практических занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>Посещение практический занятий</i>	8, 1-17 уч.нед.	100
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрено		
Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрено		
3. Лабораторные занятия: не предусмотрено		

6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы - не предусмотрены

6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения модуля (дисциплины)

Порядковый номер семестра (по учебному плану), в котором осваивается модуль (дисциплина)	Коэффициент значимости результатов освоения модуля в семестре – $k_{\text{сем.}}$
--	---

## 7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1.Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

1. Киттель, Чарлз. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель ; пер. с 4-го амер. изд. А. А. Гусева, А. В. Пахнева ; под общ. ред. А. А. Гусева .— М. : Наука, 1978 .— 791 с. : ил. — Библиогр.: с. 769-791 .— 2-10 .— 3720-00 .— 42-00 .— 40-00 .— 50-00. 45 экз
2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.И. Епифанов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. <https://e.lanbook.com/book/2023> .

#### 7.1.2. Дополнительная литература

1. Анфимов, И.М. Физика твердого тела. Сборник задач [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.М. Анфимов, С.П. Кобелева, М.П. Коновалов. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2011. — 70 с. <https://e.lanbook.com/book/47457> .
2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 224 с. <https://e.lanbook.com/book/262> .

#### 7.1.3. Методические разработки

1. Волобуев П.В. Физика твердого тела, Часть 1/ П.В. Волобуев, Л.В. Курбатов. Екатеринбург УГТУ-УПИ, 2009,300 с.
2. Волобуев П.В. Физика твердого тела, Часть 2/ П.В. Волобуев, Л.В. Курбатов. Екатеринбург УГТУ-УПИ, 2009,448 с.

### 7.2.Программное обеспечение

не предусмотрено

### 7.3.Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», информационно-справочные и поисковые системы

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/> - Википедия – свободная энциклопедия;
2. <http://lib.urfu.ru> - Зональная библиотека УрФУ.

### 7.4.Электронные образовательные ресурсы

не предусмотрено

### 7.5.Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Обучение проводится последовательно путем чтения лекций с углублением и закреплением полученных знаний в ходе самостоятельной работы с последующим переводом знаний в умения в ходе практических занятий. На лекциях излагаются лишь основные, имеющие принципиальное значение и наиболее трудные для понимания и усвоения вопросы. Теоретические знания, полученные студентами на лекциях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются на практических занятиях.

## 8 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

## 8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ БРС

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания, как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

При проведении независимого тестового контроля как формы промежуточной аттестации применяется методика оценивания результатов, предлагаемая разработчиками тестов. Процентные показатели результатов независимого тестового контроля переводятся в баллы промежуточной аттестации по 100-балльной шкале в БРС:

- в случае балльной оценки по тесту (блокам, частям теста) переводится процент набранных баллов от общего числа возможных баллов по тесту;
- при отсутствии балльной оценки по тесту переводится процент верно выполненных заданий теста, от общего числа заданий.

### **8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

#### **8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий**

не предусмотрено

#### **8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий**

не предусмотрено

#### **8.3.3. Примерные контрольные кейсы**

не предусмотрено

#### **8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

не предусмотрено

#### **8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

1. Макро- и микросимметрия кристаллов
2. Система модулей упругости изотропных тел, уравнение движения упругодеформированного тела
3. Понятие обратной решетки, теорема Блоха
4. Статистика электронного газа
5. Энергия системы электронов в приближении Хартри Фока
6. Формулировка одноэлектронных уравнений в приближении Хартри Фока
7. Определение эффективного потенциала по методу диэлектрической реакции электронного газа
8. Условия дифракции Вульфа-Брегга
9. Модель почти свободных электронов
10. Модель сильной связи
11. Вывод псевдоволнового уравнения
12. Энергия связи молекулы водорода
13. Квазиклассический вывод дисперсионного взаимодействия атомов водорода
14. Когезионная энергия металлов в первом приближении теории возмущения
15. Эффективная энергия парного взаимодействия ионов металла
16. Вывод системы уравнений динамики решетки в гармоническом приближении
17. Характеристика акустических и оптических колебаний
18. Спектральная плотность низкочастотных акустических колебаний
19. Статистика фононного газа
20. Термодинамические функции кристаллической решетки в приближении Дебая
21. Термодинамические функции кристаллической решетки в приближении Эйнштейна
22. Феноменологическое определение коэффициентов переноса в кристаллах
23. Решеточная теплопроводность в приближении времени релаксации
24. Электрон-фононное взаимодействие
25. Электронная теплопроводность в приближении времени релаксации
26. Электронная электропроводность в приближении времени релаксации

27. Коэффициенты переноса в металлах
28. Понятие локального равновесия, эффективный коэффициент диффузии в дефектном кристалле
29. Поле деформаций и энергия взаимодействия краевых дислокаций
30. Пластическая деформация твердых тел

**8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**  
не предусмотрено

**8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**  
не предусмотрено

**8.3.8. Интернет-тренажеры**  
не предусмотрено

**8.3.9. Примерные задания в составе коллоквиума**

В рамках коллоквиума предусмотрен письменный ответ студента на один из вопросов по выбранной тематике из списка тем, указанных в п.4.3.8. Например, вопрос: теорема Блоха. Понятие зоны Бриллюэна. В процессе ответа студент должен сформулировать теорему Блоха, объяснить построение обратной решетки и значимость первой зоны Бриллюэна.

## 9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**9.1 Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Лекции и практические работы проводятся в аудиториях Ф-112, Ф-114, оснащенных доской, проектором с использованием мобильного компьютера (ноутбука) и экраном для демонстрации учебных материалов.

## 10 ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер листа изменений	Номер протокола заседания кафедры	Дата заседания кафедры	Всего листов в документе	Подпись ответственного за внесение изменений