

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 16.10.2023 13:00:35  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«20» декабря 2016 г.

Рабочая программа дисциплины  
**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**  
(Начало подготовки – 2017 год)

Специальность  
**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализация:  
**№ 5 «Радиационная химия и радиационное материаловедение»**

Квалификация  
**Инженер**

Форма обучения  
**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**  
Кафедра **радиационной технологии**

Санкт-Петербург  
2016

Б1.В.ДВ.03.01

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины.....	05
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Занятия лекционного типа.....	07
4.3. Занятия семинарского типа.....	07
4.3.1. Семинары, практические занятия.....	07
4.3.2. Лабораторные занятия... ..	09
4.4. Самостоятельная работа.....	10
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	11
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	11
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	12
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	12
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	13
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	13
10.2. Программное обеспечение.....	13
10.3. Информационные справочные системы... ..	13
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	13
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	13

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Для получения планируемых результатов освоения образовательной программы специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ОПК-1</b>	способностью использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы физики твёрдого тела, включая теорию обратной решётки и зон Бриллюэна, необходимых для построения зонной концепции моделей атомной динамики и электронной подсистемы кристаллов;</li> <li>- методы квантостатистических расчётов макроскопических свойств вещества;</li> <li>- физико-химические методы изучения свойств кристаллического вещества;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализировать экспериментальную и теоретическую информацию современного материаловедения на основе концепций и моделей физики конденсированного состояния вещества;</li> <li>- проводить оценку достоверности результатов измерений, подбирать модели и схемы теоретического описания наблюдаемых явлений;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическими методами исследования веществ в конденсированной фазе.</li> </ul>
<b>ОПК-2</b>	способностью профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способностью к проведению научного исследования и анализу полученных при его проведении результатов	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- приёмы обращения с монокристаллическими материалами при измерении их параметров;</li> <li>- принципы работы и устройство промышленных установок и приборов, используемых в современном материаловедении;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- планировать и проводить исследования в области физики конденсированного состояния вещества;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическими методами исследования вещества в твёрдой фазе;</li> <li>- навыками экспериментального определения основных параметров вещества в твёрдой фазе.</li> </ul>
<b>ОПК-3</b>	способностью использовать методы математического моделирования явлений и процессов, к проведению теоретического анализа и экспериментальной проверки адекватности модели.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основы языка математического моделирования, на котором формулируется современная физика конденсированного состояния вещества при изучении её макро- и микрообъектов;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять расчётные методы оценки свойств и параметров веществ в конденсированном состоянии;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p>

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		-математическим аппаратом шрёдингеровской формулировки квантовой физики
<b>ПСК-5.1</b>	способностью оценивать радиационные эффекты взаимодействия излучения высокой энергии с веществом, использовать или минимизировать последствия этого взаимодействия	<b>Знать:</b> - теоретические основы радиационной физики твёрдого тела; - методы оценивания радиационных эффектов взаимодействия излучения высокой энергии с веществом в конденсированном состоянии; <b>Уметь:</b> - анализировать экспериментальную и теоретическую информацию современного радиационного материаловедения на основе концепций и моделей физики конденсированного состояния вещества

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к дисциплинам по выбору специализации «Радиационная химия и радиационное материаловедение» вариативной части дисциплин (Б1.В.ДВ.03.01) и изучается на 4 курсе в 8 семестре, 5 курсе в 9 и 10 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Общая физика», «Методы аналитического контроля в производстве материалов современной энергетики», «Основы ядерной физики и дозиметрии».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении последующих учебных дисциплин, прохождении практик, при выполнении выпускной квалификационной работы, государственной итоговой аттестации и в дальнейшей трудовой деятельности.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов	8 сем.	9 сем.	10 сем.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>12 / 432</b>	<b>2 /72</b>	<b>4/144</b>	<b>6/216</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>229</b>	<b>50</b>	<b>76</b>	<b>103</b>
занятия лекционного типа	32	32		
занятия семинарского типа, в т.ч.	178	16	72	90
семинары, практические занятия	16	16		
лабораторные работы	162		72	90
курсовое проектирование (КР или КП)				
КСР	19	2	4	13
Другие виды контактной работы				
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>203</b>	<b>22</b>	<b>68</b>	<b>113</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)			-	
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Зачет (8, 9,10 сем.)	зачет	зачет	зачет

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Введение	2		-	1	ОПК-1, ОПК-2
2.	Квантовая физика и физика твёрдого тела	1	3	-	10	ОПК-3, ПСК-5,1
3.	Дифракция волн в кристаллах и зоны Бриллюэна	1	1	-	10	ОПК-1, ОПК-2
4.	Динамика атомной решётки. Теорема Блоха	2	3	12	10	ОПК-1, ОПК-2,
5.	Электронная система кристаллов. Металлы, полупроводники	4	1	18	14	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3
6.	Квантовые кооперативные явления в кристаллах. Сверхпроводимость	4	2	22	10	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3
7.	Кинетические явления в кристаллах	2	1	12	16	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3,
8	Дислокации и границы зерен в монокристаллах	2	1	12	16	ОПК-1, ОПК-2,
9	Системы скольжения при пластической деформации кристаллов	4		16	18	ОПК-1, ОПК-2,
10	Точечные дефекты в кристаллах и ионная электропроводность	2		16	18	ОПК-1, ОПК-2,
11	Электронные дефекты в кристаллах	2	1	12	18	ОПК-1, ОПК-2,
12	Электропроводность полупроводниковых кристаллов	2		4	14	ОПК-1, ОПК-2
13	Математическое моделирование законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками	2	2	22	20	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПСК-5,1
14	Математическая имитация поверхностей Ферми одновалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	2	1	16	28	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3,
	<b>Всего:</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>162</b>	<b>203</b>	<b>Зачеты (8),(9), (10)</b>

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1.	Введение	2	Слайд-презентация
2.	Квантовая физика и физика твердого тела	1	Слайд-презентация
3.	Дифракция волн в кристаллах и зоны Бриллюэна	1	Слайд-презентация
4.	Динамика атомной решётки. Теорема Блоха	2	Слайд-презентация
5.	Электронная система кристаллов. Металлы, полупроводники	4	Слайд-презентация
6.	Квантовые кооперативные явления в кристаллах. Сверхпроводимость	4	Слайд-презентация
7.	Кинетические явления в кристаллах	2	Слайд-презентация
8.	Дислокации и границы зёрен в монокристаллах	2	Слайд-презентация
9.	Системы скольжения при пластической деформации кристаллов	4	Слайд-презентация
10.	Точечные дефекты в кристаллах и ионная электропроводность	2	Слайд-презентация
11.	Электронные дефекты в кристаллах	2	Слайд-презентация
12.	Электропроводность полупроводников	2	Слайд-презентация
13.	Математическое моделирование законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками	2	
14.	Математическая имитация поверхностей Ферми одновалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	2	

#### 4.3. Занятия семинарского типа.

##### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоёмкость (час)	Инновационная форма
2	- Расчёт длин волн фотона, электрона, нейтрона при заданной для них энергии. - Решение задачи на собственные значения для простейших операторов физических величин. Разделение переменных в стационарном уравнении Шредингера.	3	-

№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час)	Инновационная форма
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Доказательство ортогональности собственных функций оператора импульса, нормированных на циклические граничные условия.</li> <li>- Доказательство условия полноты для плоских гармонических волн, нормированных на циклические граничные условия.</li> <li>- Вычисление поправки к собственному значению энергии свободной частицы, попавшей в стационарное потенциальное поле.</li> </ul>		
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Построение обратной решётки методами векторной алгебры для кристалла с ГЦК прямой решёткой.</li> <li>- Построение обратной решётки методами векторной алгебры для кристалла с ОЦК прямой решёткой.</li> <li>- Геометрическое построение зоны Бриллюэна для кристалла с ГЦК прямой решёткой.</li> <li>- Получение выражений для вычисления структурных амплитуд и структурных факторов простых кристаллов с ПК, ОЦК и ГЦК решётками с одноатомной базисной группой и для кристаллов со структурой алмаза и цинковой обманки.</li> <li>- Расчёт атомных амплитуд рассеяния.</li> </ul>	1	-
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Доказательство осуществления закона сохранения энергии при однофононном неупругом рассеянии теплового нейтрона.</li> <li>- Алгоритм ориентации монокристалла с использованием гониометрического столика дифрактометра.</li> <li>- Векторные схемы приведения вектора состояния к первой зоне Бриллюэна.</li> <li>- Модель твердого тела Дебая, Температура Дебая.</li> </ul>	3	-
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вычисление энергий Ферми для электронов проводимости по модели Зоммерфельда для простых металлов.</li> <li>-Вычисление средней энергии электронов в зоне проводимости металла при условии параболического закона дисперсии.</li> <li>-Расчёт значений эффективной массы электронных состояний в характерных точках на границе зоны Бриллюэна по модели сильной связи.</li> <li>- Применение уравнения электронейтральности для анализа поведения уровня Ферми в запрещенной зоне полупроводникового кристалла с донорной примесью в зависимости от температуры.</li> </ul>	1	Слайд-презентация
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Оценка скачка теплоёмкости при переходе металла в сверхпроводящее состояние по формуле Рутгерса.</li> <li>- Оценка глубины проникновения магнитного поля в объём сверхпроводника 1-го рода по уравнениям</li> </ul>	2	

№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час)	Инновационная форма
	Лондонов. - Расчет значения кванта магнитного потока. - Расчёт энергетического разрыва в одноэлектронном спектре для простых металлов по модели БКШ.		
7	- Оценка кинетических явлений в кристаллах	<b>1</b>	
8	- Расчет размеров дислокаций в монокристаллах. - Определение границ зерен в монокристаллах	<b>1</b>	
11	-Алгоритм определения электронных дефектов в кристаллах	<b>1</b>	
13	- Приемы математического моделирования законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками	<b>2</b>	
14	- Приемы математической имитации поверхностей Ферми одновалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	<b>1</b>	
	<b>ИТОГО</b>	<b>16</b>	

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Объем, акад. часы	Примечание
1.	Дислокации и границы зёрен в монокристаллах (№ 8)	- Плотность дислокаций, малоугловые границы зёрен, ямки травления. -Распределение зёрен мозаичной структуры кристалла по размерам и угловой разориентировке.	<b>12</b>	
2.	Системы скольжения при пластической деформации монокристаллов (№9)	- Системы скольжения при пластической деформации кристаллов по розеткам укола. - Определение влияния радиационных дефектов на пороговые напряжения скольжения дислокаций.	<b>16</b>	
3	Точечные дефекты в кристаллах и ионная электропроводность (№ 10)	- Измерение собственной и примесной проводимости щёлочногалоидных кристаллов с примесью катионной двухвалентной добавки. - Энергия образования дефекта по Шоттки.	<b>16</b>	
4	Электронные дефекты в кристаллах (№ 5, 11)	- Центры окраски. Спектры оптического поглощения F-центров и их сравнительный анализ в кристаллах LiF, NaF, NaCl, KCl, KBr.	<b>14</b>	

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Объем, акад. часы	Примечание
5	Электропроводность кристаллов полупроводников (№ 5, 12)	-Измерение собственной и примесной электропроводности. Определение термической ширины запрещённой зоны.	<b>12</b>	
6	Математическое моделирование законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов (№ № 4,5,13)	- Математическая имитация функций спектральной плотности состояний фононов в кристаллах с простейшими кристаллическими структурами. - Математическое моделирование зонной структуры металлов, обладающих кубическими решётками (ПК, ОЦК, ГЦК). - Математическое моделирование функций спектральной плотности состояний валентных электронов в кристаллах, обладающих кубическими решётками (ПК, ОЦК, ГЦК).	<b>36</b>	
7	Математическая имитация поверхностей Ферми одновалентных металлов (№№ 5,6,7,14)	- Параметризация построенных поверхностей Ферми одновалентных металлов Li, Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Au при использовании трёх параметров: двух независимых соотношений между обменными интегралами первых, вторых и третьих ближайших соседних атомов и условия половинного заполнения состояний в зоне Бриллюэна.	<b>44</b>	
		<b>ИТОГО</b>	<b>162</b>	

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма текущего контроля
1	История становления физики конденсированного состояния	1	Письменный опрос (тест №1)
2	Особенности радиационной физики конденсированного состояния	6	
3	Стандартные условия для волновой функции	4	
3	Основные понятия геометрической кристаллографии	10	
4	Дифракция волн в кристаллах и обратная решётка. Фазовые переходы второго рода	10	
5.	Особенности электронной системы щелочно-галогидных кристаллов, металлов, полупроводников, используемых в атомной промышленности	14	
6.	Современные исследования явления сверхпроводимости и других квантовых кооперативных явлений в кристаллах.	10	
7.	Косселевская дифракция	16	
8	Примеры объемных дислокаций и определения границы зерен различной формы в монокристаллах	16	
9	Системы скольжения при различных деформациях	18	
10	Электропроводность ЦГК	18	

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма текущего контроля
11	Дифракционные фильтры в субнанометровом диапазоне длин волн электромагнитного излучения	18	Письменный опрос (тест №2)
12	Виды электропроводности полупроводников	14	
13	Математические модели дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками. Особенности радиационной физики конденсированного состояния	20	
14	Модели математической имитация поверхностей Ферми многовалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	28	
<b>ИТОГО</b>		<b>203</b>	

Контроль освоения компетенций проводится в форме тестирования (Приложение 2). В зависимости от заданного количества вопросов на тестирование отводится от 10 до 30 минут. Тестирование используется для: текущего контроля знаний студентов; развития навыков принятия решений; корректировки содержания и/или формы представления лекций с учетом особенностей восприятия и усвоения материала аудиторией.

#### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>.

#### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций. Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачётов в 8, 9, 10 семестре.

Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

К сдаче зачёта допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 20 мин.

Пример варианта вопросов на зачете:

##### Вариант № 1

1. Что принято называть фононами в квантовой физике твёрдого тела? Каков порядок величины максимальной энергии квантов упругих колебаний, распространяющихся в кристаллах?

2. Дайте определение правила геометрического построения зоны Бриллюэна в обратной решётке, заданной явно своими узлами.

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

### **а) основная литература:**

1. Мартинсон Л.К. Квантовая физика: учебное пособие/ Л.К. Мартинсон., Е.В. Смирнов.- М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г. - 528 с.
2. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела/ Б.Е. Винтайкин.- М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.- 250 с.
3. Валишев, М.Г. Курс общей физики: учебное пособие для вузов по техническим направлениям подготовки и специальностям /М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. –СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2009. – 573 с.

### **б) дополнительная литература:**

- 1 Матухин В.Л. Физика твердого тела : Учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 218с.

### **в) вспомогательная литература:**

1. Физика твёрдого тела: учеб. пособие /И.К. Верещагин, С.М. Кокин, В.А. Никитенко, В.А. Селезнёв, Е.А. Серов; под ред. И.К. Верещагина. –М.: Высш. Шк., 2001.- 238 с.
2. Павлов П.В. Физика твердого тела: Учеб. для вузов/ П.В. Павлов, А.В. Хохлов М.: Высш. Шк., 2000.-493 с.
3. Блейкмор Дж. Физика твердого тела/ Дж. Блейкмор. -М.: Мир,1988.- 608 с.
4. Киреев П.С. Физика полупроводников/ Д.С. Киреев. – М.: Высшая школа, 1969.- 590 с.
5. Задачи по физике твердого тела/ Под ред. Г.Дж. Голдсмита.- М.: Наука, 1976.- 431 с.
6. Никотин О.П. Кристаллическое вещество. Простейшие модели зонной структуры: Текст лекций/ О.П. Никотин. - Л.: ЛТИ, 1986. – 94с.
7. Ашкрофт Н. Физика твердого тела. В 2-х т./ Н. Ашкрофт, Н. Мермин. –М.: Мир, 1979. – 350 с.
8. Китель, Ч. Введение в физику твёрдого тела/Ч. Китель. –М.: Наука, 1978.- 791 с.

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

1. С. А. Кабакчи, Г. П. Булгакова. Радиационная химия в ядерном топливном цикле. <http://www.chemnet.ru/rus/teaching/kabakchi/welcome.html>
2. [www.rosatom.ru](http://www.rosatom.ru), [www.gosnadzor.ru](http://www.gosnadzor.ru), [www.tvel.ru](http://www.tvel.ru), [www.rosenergoatom.ru](http://www.rosenergoatom.ru),
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека. Режим доступа - <http://www.gpntb.ru>.
4. Научно-техническая библиотека [springerlink](http://www.springerlink.com) . Режим доступа - <http://www.springerlink.com/home/main.mpx>
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU Режим доступа - <http://elibrary.ru>
6. Библиотека публикаций по прикладной радиационной химии. Режим доступа - [http://mitr.p.lodz.pl/biomat/pub\\_main.html](http://mitr.p.lodz.pl/biomat/pub_main.html),
7. электронно-библиотечные системы: «Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>; «Лань » <https://e.lanbook.com/books/>.

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

Все виды занятий по дисциплине «Физика конденсированного состояния» проводятся в соответствии с требованиями СПб:

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СПБ СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СПБ СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является: плановость в организации учебной работы; серьезное отношение к изучению материала; постоянный самоконтроль.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

По данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий: чтение лекций с использованием слайд-презентаций; видеоматериалы Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»; взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Операционные системы Windows, стандартные офисные программы Microsoft Office.

### **10.3. Информационные справочные системы.**

Информационно-поисковая система «РОСАТОМ»: <http://www.rosatom.ru/sitemap/>.

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для проведения лекционных и практических занятий используется учебная аудитория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Для проведения лекционных и практических занятий используются видеоматериалы.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду СПбГТИ(ТУ).

Лаборатории, укомплектованные специализированной мебелью, оснащены лабораторным оборудованием: установки для измерения ионной электропроводности ЩГК; установки для измерения электропроводности полупроводниковых кристаллов четырехзондовым методом в заданном диапазоне температур; комплекс металлографических микроскопов и оборудования для изучения дислокационной структуры монокристаллов; спектрофотометры.

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащены специализированной мебелью и техническими средствами.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации  
по дисциплине «Физика конденсированного состояния»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Компетенции		
Индекс	Формулировка	Этап формирования
<b>ОПК-1</b>	Способностью использовать математические, естественнонаучные знания для решения задач своей профессиональной деятельности	Промежуточный
<b>ОПК-2</b>	Способностью профессионально использовать современное технологическое и аналитическое оборудование, способностью к проведению научного исследования и анализу полученных при его проведении результатов	Промежуточный
<b>ОПК-3</b>	Способностью использовать методы математического моделирования явлений и процессов, к проведению теоретического анализа и экспериментальной проверки адекватности модели	Промежуточный
<b>ПСК-5.1</b>	способностью оценивать радиационные эффекты взаимодействия излучения высокой энергии с веществом, использовать или минимизировать последствия этого взаимодействия	Промежуточный

**2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.**

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение разделов № 1 -4	Умеет анализировать экспериментальную и теоретическую информацию современного радиационного материаловедения на основе концепций и моделей физики конденсированного состояния вещества; найти решение задачи на собственные значения для простейших операторов физических величин; разделение переменных в стационарном уравнении Шредингера; расчёт атомных амплитуд рассеяния. Владеет физико-химическими методами исследования вещества в твёрдой фазе; Знает теоретические основы современной радиационной физики твёрдого тела;	Правильные ответы на вопросы к зачету №№ 1.1- 1.8; 2,1 – 2,4. выполнение и защита лабораторных работ	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПСК-5.1

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	алгоритм ориентации монокристалла с использованием гониометрического столика дифрактометра		
Освоение разделов № 5 -8, 13, 14	<p>Умеет проводить оценку достоверности результатов измерений, подбирать модели и схемы теоретического описания наблюдаемых явлений; применять уравнения электронейтральности для анализа поведения уровня Ферми в запрещенной зоне полупроводникового кристалла с донорной примесью в зависимости от температуры.</p> <p>Владеет математическим аппаратом шрёдингеровской формулировки квантовой физики</p> <p>Знает основы математизированного языка, на котором формулируется современная физика конденсированного состояния вещества при изучении её макро- и микрообъектов.</p>	Правильные ответы на вопросы к зачету №№ 1.9 – 1.15, 1.21- 1.25; 2.17 – 2.27; 3.1 – 3.15. выполнение и защита лабораторных работ	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПСК-5.1
Освоение разделов № 8 - 12	<p>Умеет проводить оценку достоверности результатов измерений, подбирать модели и схемы теоретического описания наблюдаемых явлений, оценивать кинетические явления в кристаллах.</p> <p>Владеет навыками экспериментального исследования и определения основных параметров вещества в твёрдой фазе.</p> <p>Знает приёмы обращения с монокристаллическими материалами при их обработке и исследовании ряда параметров.</p> <p>Знает устройство и применение соответствующего оборудования</p>	Правильные ответы на вопросы к зачету №№ 1.16 – 1.20; 2.5 – 2.16. выполнение и защита лабораторных работ	ОПК-1, ОПК-2

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):  
промежуточная аттестация проводится в форме зачёта. Оценка: «зачтено» / «не зачтено»

### **3 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме зачета**

К зачету допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня, приведенного ниже.

Так как весь лекционный курс изучается в 8 семестре, а в 9 – 10 семестрах происходит их углубление за счет расширения практических навыков и умений при выполнении лабораторных работ, то в 9 – 10 семестрах при ответах на вопросы к зачету учитываются результаты выполнения лабораторных работ.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 20 мин. промежуточная аттестация проводится в форме зачета, результат оценивания – «зачтено», «не зачтено».

#### **а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-1, ПСК-5.1:**

- 1.1 Сформулируйте постулаты о собственных функциях и собственных значениях операторов физических величин.
- 1.2 Напишите выражения для операторов импульса, кинетической энергии и полной энергии. Какой вид имеет собственная функция оператора полной энергии для любой стационарной задачи?
- 1.3 Напишите выражения, следующие из первого приближения теории возмущений для вычисления поправок к собственным значениям энергии и собственным волновым функциям исходного нулевого приближения (в случае отсутствия вырождения состояний).
- 1.4 Пользуясь уравнением Шредингера для электрона, движущегося в потенциальном поле  $U(\mathbf{r})$ , и полагая, что волновая функция электрона может быть взята в виде плоской гармонической волны, покажите, что полная энергия такого электрона равна в среднем сумме его кинетической и потенциальной энергии.
- 1.5 Напишите соотношения между импульсом, волновым вектором и длиной волны частицы. Напишите выражение для кинетической энергии частицы, если известны ее масса и длина волны по де-Бройлю.
- 1.6 Приведите выражение для собственных функций оператора импульса. Получите спектр собственных значений оператора импульса, используя циклические граничные условия для нормировочного объема в виде куба.
- 1.7 Как формулируются циклические граничные условия для собственных волновых функций оператора импульса в физике твердого тела для идеальных кристаллов?
- 1.8 Приведите соотношения квантовой физики, объединяющие волновые и корпускулярные свойства микрочастиц.
- 1.9 В чем заключается свойство ортонормированности волновых функций квантовой физики? Приведите краткую запись соотношения, поясняющего это свойство.
- 1.10 Приведите выражение для волновой функции свободной частицы. Как выглядит нормировочная постоянная в случае нормировки этой волновой функции в бесконечном пространстве?
- 1.11 Приведите основные свойства дельта-функции Дирака.
- 1.12 Найдите индексы Миллера для кристаллографической плоскости, пересекающей оси координат орторомбической решетки на расстояниях от начала координат: по оси  $X$  –  $1a$ , по оси  $Y$  –  $3b$ , по оси  $Z$  –  $2c$ . Напишите выражение для вектора обратной решетки, соответствующего кристаллографическим плоскостям с этими индексами Миллера.
- 1.13 Дайте определение правила геометрического построения зоны Бриллюэна в обратной решетке, заданной явно своими узлами.
- 1.14 Приведите выражение для удельной плотности состояний квазичастиц в зоне Бриллюэна (число состояний в единичном объеме  $3B$ ).

- 1.15 Поясните смысл понятий геометрической кристаллографии точечная группа и ее операции симметрии, пространственная группа кристалла.
- 1.16 Приведите примеры точечных, линейных и двумерных дефектов в реальных кристаллах. Приведите примеры влияния дефектов на различные макрофизические свойства кристаллов.
- 1.17 Опишите схематично дифракционные приборы, необходимые для измерений упругого когерентного рассеяния рентгеновских лучей.
- 1.18 Нарисуйте элементарные ячейки простой кубической решетки (ПК), объемноцентрированной кубической решетки (ОЦК), гранецентрированной кубической решетки (ГЦК). Какое количество узлов в среднем принадлежит этим элементарным ячейкам.
- 1.19 Приведите примеры простых и двух- трехатомных веществ, обладающих ПК. ОЦК. ГЦК решетками.
- 1.20 Постройте элементарную ячейку Вигнера-Зейтца для плоской прямоугольной и для плоской ромбической решеток.
- 1.21 Перечислите основные геометрические свойства векторов обратной решетки.
- 1.22 Приведите общее выражение для вектора обратной решетки кристалла с простой кубической решеткой, выразив его через элементарные трансляции прямой решетки этого кристалла.
- 1.23 Какое явление называют в волновой оптике упругим когерентным рассеянием рентгеновских, нейтронных волн? Опишите схематично дифракционные приборы, необходимые для соответствующих измерений.
- 1.24 Каковы особенности законов сохранения импульса и энергии при упругом когерентном рассеянии волн идеальными кристаллами. Приведите поясняющие векторные диаграммы. Что называют вектором рассеяния?
- 1.25 Приведите выражение для структурной амплитуды рассеяния волн в одноатомном кристалле (простое вещество).

**б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-2:**

- 2.1 Что принято называть фононами в квантовой физике твердого тела? Каков порядок величины максимальной энергии квантов упругих колебаний, распространяющихся в кристаллах?
- 2.2 Каков закон дисперсии длинноволновых акустических фононов? Что называют вектором поляризации фонона?
- 2.3 Каковы особенности законов сохранения импульса и энергии при неупругом когерентном рассеянии волн идеальными кристаллами? Как используется это явление для экспериментального получения законов дисперсии фононов в кристаллах? Приведите поясняющие векторные диаграммы.
- 2.4 Что называют законом дисперсии для квазичастиц в кристаллах? Приведите примеры соответствующих соотношений и укажите каким именно случаям они соответствуют.
- 2.5 Как характеризуются относительные колебательные движения соседних атомов в двухатомном одномерном кристалле, если в первом случае это акустическое колебание, а во втором – это оптическое колебание?
- 2.6 Сформулируйте понятие функции спектральной плотности состояний квазичастиц, применяемого в физике твердого тела. Приведите примеры функционального вида спектральной плотности состояний для простейших моделей динамики решетки простых кристаллов.
- 2.7 Какова зависимость от температуры (шкала Кельвина) заполнения одного состояния для заданной моды колебательного движения кристалла, если кванты этой моды имеют энергию  $hw$ ?

- 2.8 Как подсчитать среднюю энергию теплового движения атомов кристаллического вещества при заданной температуре, если известен закон распределения спектральной плотности состояний упругих колебаний решетки кристалла?
- 2.9 Сформулируйте исходные положения квантовых моделей твердого тела по Эйнштейну и Дебаю. Каков вид функций спектральной плотности состояний фононов по этим моделям?
- 2.10 Поясните понятие динамической структурной амплитуды. Покажите как используется фононное представление для описания динамических отклонений атомов от равновесных положений при кинематическом описании однофононного неупругого когерентного рассеяния тепловых нейтронов кристаллами.
- 2.11 Опишите экспериментальные методы изучения законов дисперсии фононов в кристаллах с использованием явления однофононного неупругого когерентного рассеяния тепловых нейтронов.
- 2.12 Что утверждает теорема Блоха? Покажите, что волновая функция, являющаяся плоской гармонической волной, подчиняется теореме Блоха. Постройте пример векторной диаграммы приведения вектора состояния к первой зоне Бриллюэна.
- 2.13 Каков закон дисперсии для свободных электронов? Приведите график закона дисперсии для электронов, движущихся в периодическом поле ионов кристалла по модели слабой связи (одномерный вариант).
- 2.14 Приведите графики закона дисперсии для электронов, движущихся в периодическом поле ионов кристалла по модели сильной связи для направлений в зоне Бриллюэна простой кубической решетки от точки  $\Gamma$  до точек  $X$ ,  $M$ ,  $R$ .
- 2.15 Приведите выражение, описывающее распределение квантовой статистики Ферми-Дирака. Каков физический смысл этого распределения? Приведите примеры металлов с простейшими по форме поверхностями Ферми.
- 2.16 Как выглядит функциональная зависимость спектральной плотности состояний электронов в случае параболического закона дисперсии? Как подсчитать с помощью заданной функции спектральной плотности состояний электронов их концентрацию в зоне проводимости, их среднюю энергию?
- 2.17 Поясните, как модель Паули объясняет величину и температурную зависимость поведения парамагнитной восприимчивости простых металлов.
- 2.18 Приведите известные сведения о структуре зоны проводимости и о структуре валентной зоны кристаллов кремния и германия. В каких точках зоны Бриллюэна кристаллов кремния и германия расположены «долины» их зон проводимости?
- 2.19 На каких соображениях основывается применение полуклассического метода эффективной массы для кристаллов полупроводников и простых металлов?
- 2.20 Как объясняются посредством рассмотрения функций спектральной плотности состояний электронов в  $s$ -зонах и  $d$ -зонах переходных металлов такие их физические свойства, как электронная теплоемкость при криогенных температурах, магнитные свойства, а также цвет таких металлов, как медь, золото, серебро?
- 2.21 Как ведет себя температурная зависимость теплоемкости металлических кристаллов при температурах, близких к нулевым значениям по шкале Кельвина, при отсутствии перехода в сверхпроводящее состояние?
- 2.22 Поясните, как квантовая физика объясняет отсутствие значительного теплового поглощения электронами проводимости металлических кристаллов при комнатной температуре?
- 2.23 Поясните, в чем состоит различие в температурных зависимостях поведения электропроводности полупроводниковых кристаллов с примесным и собственным типом проводимости.
- 2.24 Поясните, как строится модель примесного центра в полупроводниковых кристаллах.

- 2.25 Приведите исходные положения, используемые при построении одноэлектронной модели сильной связи в электронной теории.
- 2.26 Приведите исходные положения, используемые при построении одноэлектронной модели слабой связи в электронной теории.
- 2.27 Объясните содержание понятия уровень Ландау. Какое значение имеет это понятие при объяснении таких квантовых низкотемпературных явлений, как эффект де-Гааза и ван-Альфена, как поперечное магнетосопротивление в кристаллах.

#### **в) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-3**

- 3.1 Приведите основные факты, относящиеся к явлению сверхпроводимости. Какие экспериментальные свидетельства подтверждают наличие «щели» в спектре одночастичных состояний электронов у сверхпроводников?
- 3.2 По каким признакам определяется классификация сверхпроводников на сверхпроводники I-го и II-го рода?
- 3.3 Какое явление называют конденсацией Бозе-Эйнштейна? Каковы современные результаты, полученные при экспериментальных исследованиях этого явления в охлажденных парах щелочных металлов?
- 3.4 Как ведет себя температурная зависимость теплоемкости металла при переходе в сверхпроводящее состояние?
- 3.5 Какое явление называется эффектом Мейсснера при переходе металлического кристалла в сверхпроводящее состояние?
- 3.6 Как ведут себя силовые линии внешнего магнитного поля в объеме металла в случае перехода его в сверхпроводящее состояние, если это сверхпроводник II-го рода, а напряженность магнитного поля увеличивают постепенно от малых значений до предельного значения, разрушающего сверхпроводящее состояние?
- 3.7 Какие типы кристаллических веществ обнаруживают явление высокотемпературной сверхпроводимости?
- 3.8 Какие вещества называют ферромагнетиками, ферримагнетиками, антиферромагнетиками?
- 3.9 Поясните на качественном уровне квантовую модель парамагнетизма электронов проводимости, предложенную В.Паули.
- 3.10 Опишите общую структуру уравнения физической кинетики (уравнения Больцмана) для электронов проводимости.
- 3.11 В каком случае использование уравнения Больцмана в приближении времени релаксации является достаточно строгим?
- 3.12 Поясните на качественном уровне, что происходит с равновесным распределением Ферми для электронов металла при прохождении электрического тока?
- 3.13 Приведите наименования основных кинетических коэффициентов, свойственных электронной подсистеме кристаллов.
- 3.14 Назовите физические причины, или механизмы, которые приводят к наличию электрического сопротивления в нормальных металлах.
- 3.15 Как ведет себя температурная зависимость электрического сопротивления нормальных металлов при очень низких температурах по шкале Кельвина? Имеется ли различие в поведении этой зависимости для кристаллов, содержащих примеси или дефекты, с теми, которые не содержат примесей и дефектов?

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями Положения о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора

от 12.12.2014 № 463) и СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

## Приложение 2

### Тестовые материалы, используемые при самоконтроле знаний студентов

Тестовые материалы по дисциплине «Физика конденсированного состояния» разработаны в форме тест-вопросов, содержащих несколько вариантов ответов, из которых правильными могут быть как один, так и несколько ответов, некоторые варианты могут не иметь правильного ответа.

1. *Какие системы квантовой статистики Вам известны ?*

- а) Бора-Зоммерфельда.
- б) Паули- Гейзенберга.
- в) Бозе- Эйнштейна.
- г) Фока-Ландау.
- д) Ферми- Дирака.
- е) Борна-Иордана.

2. *Соотношение де-Бройля.*

- а) Это зависимость, связывающая волновой вектор и импульс частицы.
- б) Это зависимость, связывающая энергию частицы и ее волновой вектор.
- в) Это фундаментальное соотношение, связывающее неопределенности измерения координаты и импульса частицы.

3. *Волновая функция в виде плоской гармонической волны.*

- а) Это волновая функция, описывающая эволюцию в пространстве и времени электрона в атоме.
- б) Это волновая функция, описывающая эволюцию во времени и пространстве амплитуды вероятности перемещения электронов проводимости в проводящем кристалле.
- в) Это волновая функция, описывающая движение свободной частицы в пустом пространстве

4. *Соотношение неопределенностей.*

- а) Это соотношение погрешностей измерений физических величин, связанных с нестабильностью средств измерений и субъективными ошибками экспериментатора.
- б) Это соотношение погрешностей, возникающих при измерении координаты и времени.
- в) Это соотношение погрешностей, возникающее при измерении импульса и энергии частицы в микромире.
- г) Это результат проявления корпускулярно-волнового дуализма в физике микромира.

5. *Нормировка волновой функции.*

- а) Это процедура нахождения вида функции, являющейся решением заданного волнового уравнения.
- б) Это нахождение вида комплексно-сопряженного выражения для заданной волновой функции.
- в) Это определение амплитудного коэффициента волновой функции.

6. *Оператор полной энергии общего вида в волновом уравнении Шредингера.*

- а) Представляет собой пространственную производную, умноженную на постоянный коэффициент.
- б) Представляет собой оператор Лапласа, умноженный на постоянный коэффициент.
- в) Представляет собой производную по времени, умноженную на постоянный коэффициент

7. *Оператор импульса.*

- а) Представляет собой производную по времени, умноженную на постоянный коэффициент.
- б) Представляет собой первую производную пространственных координат, умноженную на постоянный коэффициент.

в) Представляет собой вторую производную пространственных координат, умноженную на постоянный коэффициент.

#### 8. Дельта-функция Дирака.

а) Это специальная ступенчатая функция разрывного типа, имеющая нулевое значение в одной из частей полупространства своего определения.

б) Это специальная функция, имеющая нулевое значение при всех значениях аргумента за исключением единственной точки, где значение функции устремляется к бесконечности.

#### 9. Циклические граничные условия ( по Борну-Карману ).

а) Позволяют использование решений волнового уравнения в периодических структурах только в виде «стоячих волн».

б) Позволяют использовать недискретные собственные значения волновых векторов для решений волнового уравнения в ограниченном объеме нормировки.

в) Позволяют использование решений волнового уравнения в виде «бегущих волн».

#### 10. Обратная решетка кристалла.

а) Связана взаимными соотношениями с прямой кристаллографической решеткой кристалла, приводящими к тому, что взаимные координаты узлов прямой и обратной решеток имеют противоположные знаки.

б) Связана однозначными соотношениями с прямой кристаллографической решеткой кристалла, сопоставляющими узлы обратной решетки некоторым кристаллографическим плоскостям прямой решетки.

в) Это геометрическое построение, позволяющее наглядно представить результаты дифракции волн в кристаллах.

#### 11. Зона Бриллюена кристалла.

а) Это многогранник в обратном пространстве кристалла, позволяющий наглядно демонстрировать условия, необходимые для осуществления как упругого так и неупругого когерентного рассеяния волн в кристаллах.

б) Это элементарная ячейка симметричным образом выстроенная вокруг одного узла кристаллографической прямой решетки кристалла.

в) Это примитивная ячейка типа Вигнера-Зейтца в обратной решетке кристалла.

г) Это произвольная элементарная ячейка обратной решетки кристалла.

#### 12. Узлы обратной решетки кристалла.

а) Имеют индексы, совпадающие с индексами узлов соответствующей прямой решетки кристалла.

б) Координатные индексы узлов обратной решетки получают по формулам, в которых фигурируют координатные индексы соответствующих узлов прямой решетки.

в) Координатные индексы узлов обратной решетки связаны с индексами Миллера кристаллографических плоскостей прямой решетки

#### 13. Брегговское рассеяние.

а) Это рассеяние рентгеновских волн кристаллами.

б) Это когерентное упругое рассеяние тепловых нейтронов кристаллами.

в) Это когерентное упругое рассеяние любых волн в кристалле, условием которого является неравенство длины волны рассеиваемого излучения и удвоенного межатомного расстояния для данного кристалла, но в пользу именно удвоенного расстояния.

г) Это упругое когерентное рассеяние любых волн кристаллом.

#### 14. Уравнения Лауэ.

а) Позволяют получить соотношение Брегга при дополнительном условии.

б) Не позволяют получить соотношение Брегга.

в) Фактически содержат в себе соотношение Брегга.

#### 15. Фононы.

а) Это кванты упругих колебаний решетки кристалла в звуковом диапазоне частот.

- б) Это кванты упругих колебаний решетки кристалла в ультразвуковом диапазоне частот.
- в) Это кванты упругих колебаний решетки кристалла в гиперзвуковом диапазоне частот.
16. *Дисперсионное соотношение для фононов по модели Дебая.*
- а) Является квадратичной зависимостью от волнового вектора.
- б) Является экспоненциальной зависимостью от волнового вектора.
- в) Является линейной зависимостью от волнового вектора.
- г) Не является зависимостью от волнового вектора.
17. *Удельная теплоемкость непроводящего кристалла при температуре вблизи абсолютного нуля по шкале Кельвина.*
- а) Соответствует с малой погрешностью модели Эйнштейна.
- б) Сильно отличается в большую сторону от значения, соответствующего закону Дюлонга и Пти.
- в) Сильно отличается в меньшую сторону от значения, соответствующего закону Дюлонга и Пти.
- г) Соответствует модели Дебая для кристаллов с кубическими решетками.
- д) Не соответствует модели Дебая, отклоняясь в большую сторону.
- е) Соответствует модели Дебая, отклоняясь немного в меньшую сторону.
18. *Функция спектральной плотности состояний фононов по модели Дебая для кристаллов с кубическими решетками.*
- а) Имеет линейную зависимость от частоты фононов.
- б) Имеет экспоненциальную зависимость от частоты фононов.
- в) Имеет квадратичную зависимость от модуля волнового вектора фононов.
- г) Имеет линейную зависимость от модуля волнового вектора фононов.
19. *Фононы, квантованные упругие колебания атомов кристаллов.*
- а) Являются квазичастицами, подчиняющимися статистике Максвелла-Больцмана.
- б) Являются квазичастицами, подчиняющимися статистике Бозе-Эйнштейна.
- в) Являются квазичастицами, подчиняющимися статистике Ферми-Дирака.
20. *Оптические ветви упругих колебаний атомов кристалла.*
- а) Наблюдаются в случае одноатомных кристаллов, прозрачных для видимого света.
- б) Наблюдаются в случае любых одноатомных кристаллов.
- в) Наблюдаются для многоатомных кристаллов вне зависимости от прозрачности или непрозрачности
- г) Наблюдаются в случае многоатомных кристаллов, но только при их прозрачности для видимого света.
21. *Классическая модель простого металла.*
- а) Достаточно хорошо объясняет тепловые свойства (теплоемкость) металла.
- б) Объясняет величину и температурную зависимость парамагнитной восприимчивости простых металлов.
- в) Хорошо объясняет электронную теплопроводность и электрическую проводимость в широком диапазоне температур.
22. *Одноэлектронная модель слабой связи в электронной теории металла.*
- а) Объясняет температурную зависимость поведения теплоемкости металла.
- б) Объясняет величину и температурную зависимость поведения парамагнитной восприимчивости простого металла.
- в) Позволяет объяснить причину проявления эффекта де-Гааза и ван-Альфена при низких температурах.
- г) Эффект де-Гааза и ван-Альфена в соответствии с электронной теорией проявляется при комнатной температуре и выше.
23. *Модель слабой связи в электронной теории кристаллов.*

а) Позволяет построить зонную концепцию поведения электронов кристалла при учете явления дифракции электронных волн в кристалле.

б) Позволяет построить зонную концепцию поведения электронов кристалла без учета явления дифракции электронных волн в кристалле.

*24. Модель сильной связи электронов в кристалле и модель слабой связи электронов в кристалле.*

а) Обе модели предполагают использование квантовой статистики Бозе-Эйнштейна.

б) Модель слабой связи предполагает использование статистики Ферми-Дирака, а модель сильной связи – использование статистики Бозе-Эйнштейна.

в) Модель слабой связи предполагает использование статистики Бозе-Эйнштейна, а модель сильной связи – использование статистики Ферми-Дирака.

г) Модель слабой связи использует для своего построения набор волновых функций в виде плоских гармонических волн.

д) Модель слабой связи использует для своего построения набор волновых функций в виде блоховских волн, полученных на основе волновых функций валентных электронов атомов кристалла.

*25. Модель сильной связи и модель слабой связи в электронной теории кристаллов.*

а) Обе модели обходятся без использования теории возмущений при своем построении.

б) Обе модели используют при своем построении методы теории возмущений.

в) Модель слабой связи использует при своем построении методы теории возмущений, а модель сильной связи их не использует.

*26. Магнитные кристаллы.*

а) Мягкие ферромагнетики выстраивают магнитные моменты своих атомов в направлении напряженности приложенного внешнего магнитного поля.

б) Антиферромагнитные кристаллы выстраивают магнитные моменты своих атомов в направлении противоположном направлению напряженности внешнего магнитного поля.

в) Ферромагнитные и ферримагнитные кристаллы обладают собственным значительным по величине суммарным магнитным моментом.

г) Антиферромагнитные кристаллы также обладают суммарным магнитным моментом, но он существенно меньше, чем у ферромагнитных кристаллов.

*27. Поверхность Ферми.*

а) Это поверхность, разграничивающая межатомное пространство в кристалле и позволяющая составить представление о размерах и форме ионов, составляющих кристалл.

б) Это поверхность сферической формы внутри металлического вещества, в объеме которой находятся электроны проводимости.

в) Это поверхность, построение которой связано с применением принципа Паули.

*28. Поверхность Ферми.*

а) Вводится при обсуждении как металлических, так и полупроводниковых кристаллов.

б) Это понятие применяют при обсуждении поведения электронов в металлах и неметаллах.

*29. Какие кристаллические структуры обладают простой кубической решеткой.*

а) Типа алмаза. б) Типа хлористого натрия. в) Типа меди.

г) Типа хлористого цезия. д) Типа цинка.

*30. Дислокации в кристаллах являются.*

а) Нуль-мерными дефектами структуры кристалла.

б) Одномерными дефектами структуры кристалла.

в) Двухмерными дефектами структуры кристалла.

г) Трехмерными дефектами структуры кристалла.

31. *Явление сверхпроводимости при отсутствии магнитного поля.*

а) Это фазовый переход первого рода.

б) Это фазовый переход второго рода.

в) Это явление вообще не квалифицируется как фазовый переход.

32. *Микроскопическая модель сверхпроводимости БКШ.*

а) Это модель Бора, Крамерса, Шиффа.

б) Это модель Бома, Костерлица, Швингера.

в) Это модель Бете, Кармана, Шредингера.

33. *Высокотемпературная сверхпроводимость.*

а) Наблюдается у некоторых сверхпроводников 1-го рода.

б) Наблюдается у некоторых сверхпроводников 2-го рода.

в) Наблюдается у некоторых сверхпроводников как 1-го, так и 2-го рода.

г) Наблюдается у некоторых сверхпроводников 2-го рода.

34. *Эффект Мейсснера.*

а) Это затягивание слабого магнитного поля в объем сверхпроводящего кристалла.

б) Это образование решетки квантованных магнитных вихрей в объеме сверхпроводника при достижении внешним магнитным полем первого критического значения.

в) Это особенность в поведении электронной компоненты теплоемкости металлического кристалла при его переходе в сверхпроводящее состояние.

35. *Куперовская пара.*

а) Это два электрона с противоположно направленными спинами, движущиеся в одном и том же направлении.

б) Это два электрона в металле с противоположно направленными спинами, движущиеся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями.

в) Это образное понятие, связанное с решением квантово-механической задачи об энергетическом поведении двух дополнительных электронов, находящихся непосредственно над поверхностью Ферми в простом металле при нулевой температуре при любом слабом притяжении между ними.

В зависимости от заданного количества вопросов на тестирование отводится от 10 до 30 минут. Тестирование используется для:

- текущего контроля знаний студентов;
- развития навыков принятия решений;
- корректировки содержания и/или формы представления лекций с учетом особенностей восприятия и усвоения материала аудиторией.

Тест-вопросы хранятся на кафедре.