

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 13.11.2023 16:27:00  
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  
«01» марта 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**  
(Начало подготовки – 2021 год)

Специальность  
**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализация:  
**«Радиационная химия и радиационное материаловедение»**

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **радиационной технологии**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Заведующий кафедрой  доцент		профессор И.В. Юдин  С.Л.Панасюк

Рабочая программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» обсуждена на заседании кафедры радиационной технологии  
протокол от «17» февраля 2021 № 2

Заведующий кафедрой

И.В. Юдин

Одобрено учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета  
протокол от «25» февраля 2021 № 5

Председатель

А.П. Сусла

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология материалов современной энергетики»		профессор И.В. Юдин
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	04
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	05
4.2. Занятия лекционного типа .....	06
4.3. Занятия семинарского типа .....	07
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	07
4.3.2. Лабораторные занятия .....	08
4.4. Самостоятельная работа .....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	10
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	10
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	10
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины .....	11
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	11
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии .....	12
10.2. Программное обеспечение .....	12
10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....	12
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	12
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:

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<p><b>ПК-3</b> Способен самостоятельно выполнять исследования с использованием современной аппаратуры и методов исследования в области объектов профессиональной деятельности, проводить корректную обработку результатов и устанавливать адекватность моделей</p>	<p><b>ПК-3.4</b> Оценка и измерение свойств и параметров вещества в конденсированном состоянии с использованием квантостатистических расчетов и физико-химических методов анализа</p>	<p><b>Знать:</b> основы математического аппарата, на котором формулируется физика конденсированного состояния вещества при изучении её макро- и микрообъектов; <b>Уметь:</b> применять расчётные методы оценки свойств и параметров веществ в конденсированном состоянии (У1); планировать и проводить исследования в области физики конденсированного состояния вещества (У2) <b>Владеть:</b> математическим аппаратом шрёдингеровской формулировки квантовой физики (В1); физико-химическими методами исследования вещества в твёрдой фазе; навыками экспериментального определения основных параметров вещества в твёрдой фазе (В2)</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к дисциплинам специализации части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.09.06) 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 «Физика», «Методы аналитического контроля в производстве материалов современной энергетики», «Основы рентгено- и нейтроноструктурного анализа», «Введение в физику конденсированного состояния вещества».

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.

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

### 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов	семестр		
		8	9	10
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>11 / 396</b>	<b>2 /72</b>	<b>3/108</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.	<b>178</b>	<b>16</b>	<b>72</b>	<b>90</b>
семинары, практические занятия	16	16		
лабораторные работы (в т.ч. практическая подготовка)	162(48)		72(21)	90(27)
курсовое проектирование (КР или КП)				
КСР	19	2	4	13
Другие виды контактной работы				
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>167</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>113</b>
<b>Форма текущего контроля</b>			-	
<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, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические	Лабораторные работы			
1	Введение	2				ПК-3	ПК-3.4
2	Квантовая физика и физика твёрдого тела	2				ПК-3	ПК-3.4
3	Динамика атомной решётки. Теорема Блоха	2				ПК-3	ПК-3.4
4	Основы электронной теории кристаллов. Квантовая теория свободных электронов. Зонная теория.	4	2		21	ПК-3	ПК-3.4
5	Квантовые кооперативные явления в кристаллах. Сверхпроводимость	4	4		22	ПК-3	ПК-3.4
6	Кинетические явления в кристаллах	2	2			ПК-3	ПК-3.4
7.	Дислокации и границы зёрен в кристаллах	2	2	12	20	ПК-3	ПК-3.4
8.	Системы скольжения при пластической деформации кристаллов	2		16	12	ПК-3	ПК-3.4

9.	Точечные дефекты в кристаллах и ионная электропроводность	2		16	20	ПК-3	ПК-3.4
10.	Электронные дефекты в кристаллах	2	2	24	10	ПК-3	ПК-3.4
11.	Электропроводность полупроводниковых кристаллов	2		14	14	ПК-3	ПК-3.4
12.	Математическое моделирование законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками	2	2	36	20	ПК-3	ПК-3.4
13.	Математическая имитация поверхностей Ферми одновалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	2	2	44	16	ПК-3	ПК-3.4
14	Экспериментальные методы физики конденсированного состояния	2			12	ПК-3	ПК-3.4

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1.	Введение	2	Л, ЛВ
2.	Квантовая физика и физика твёрдого тела	2	Л, ЛВ
3.	Динамика атомной решётки. Теорема Блоха	2	Л, ЛВ
4.	Основы электронной теории кристаллов. Квантовая теория свободных электронов. Зонная теория	4	Л, ЛВ
5.	Квантовые кооперативные явления в кристаллах. Сверхпроводимость	4	Л, ЛВ
6.	Кинетические явления в кристаллах	2	Л, ЛВ
7.	Дислокации и границы зёрен в кристаллах	2	Л, ЛВ
8.	Системы скольжения при пластической деформации кристаллов	2	Л, ЛВ
9.	Точечные дефекты в кристаллах и ионная электропроводность	2	Л, ЛВ
10.	Электронные дефекты в кристаллах	2	Л, ЛВ
11.	Электропроводность полупроводниковых кристаллов	2	Л, ЛВ
12.	Математическое моделирование законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решёткам	2	Л, ЛВ
13.	Приемы математической имитации поверхности Ферми одновалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	2	Л, ЛВ
14.	Экспериментальные методы физики конденсированного состояния	2	ЛВ

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	-Доказательство закона сохранения энергии при однофононном неупругом рассеянии теплового нейтрона. - Векторные схемы приведения вектора состояния к первой зоне Бриллюэна. - Модель твердого тела Дебая, Температура Дебая.	2	КрСт
5	- Оценка скачка теплоёмкости при переходе металла в сверхпроводящее состояние по формуле Рутгерса. - Оценка глубины проникновения магнитного поля в объём сверхпроводника 1-го рода по уравнениям Лондонов. - Расчет значения кванта магнитного потока. - Расчёт энергетического разрыва в одноэлектронном спектре для простых металлов по модели БКШ.	4	КрСт
6	Проводимость в модели свободных электронов. Модель Друде-Лоренца. Рассеяние на примесях, магнитных примесях и фононах	2	КрСт
7	- Расчет размеров дислокаций в кристаллах. - Определение границ зерен в кристаллах	2	КрСт
10	-Методы определения электронных дефектов в кристаллах	2	КрСт
12	- Приемы математического моделирования законов дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками	2	КрСт
13	- Приемы математической имитации поверхностей Ферми одновалентных металлов с ОЦК и ГЦК решётками	2	КрСт

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Объем, акад. часы	В т.ч. практ. подготовка
1.	7	- Плотность дислокаций, малоугловые границы зёрен, ямки травления. - Распределение зёрен мозаичной структуры кристалла по размерам и угловой разориентировке.	12	6
2.	8	- Системы скольжения при пластической деформации кристаллов по розеткам укола. - Определение влияния радиационных дефектов на пороговые напряжения скольжения дислокаций.	16	6
3	9	- Измерение собственной и примесной проводимости щёлочногалогидных кристаллов с примесью катионной двухвалентной добавки. - Энергия образования дефекта по Шоттки.	16	6
4	10	- Центры окраски. Спектры оптического поглощения F-центров и их сравнительный анализ в кристаллах LiF, NaF, NaCl, KCl, KBr.	24	12
5	11	- Измерение собственной и примесной электропроводности. Определение термической ширины запрещённой зоны.	14	6
6	12	- 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).	36	6
7	13	- 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	44	6

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Объем, акад. часы	В т.ч. практ. подготовка
		состояний в зоне Бриллюэна.		
		<b>ИТОГО</b>	<b>162</b>	<b>48</b>

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма текущего контроля
3-4	Теорема Блоха и квазиимпульс электрона. Модели описания спектра электронов в кристалле. Приближение слабой связи. Приближение сильной связи. Модель Кронига-Пени.	21	Устный опрос (8 семестр). Защита лабораторных работ (9, 10 семестры)
5	Модели сверхпроводимости. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Высокотемпературная сверхпроводимость	22	
7	Примеры определения дислокаций и границ зерен различной формы в кристаллах	20	
8	Системы скольжения при различных деформациях	12	
9	Типы дефектов кристаллической решетки	20	
10	Электронные и дырочные дефекты в конденсированной фазе	10	
11.	Электропроводность полупроводников	14	
12.	Математические модели дисперсии, функций спектральной плотности состояний фононов, электронов для кристаллов с кубическими решётками. Особенности радиационной физики конденсированного состояния	20	
13.	Модели математической имитация поверхностей Ферми многовалентных металлов с ОЦК и ГЦК решёткам	16	
14	Экспериментальные методы физики конденсированного состояния	12	

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к практическим и лабораторным занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к зачету

## **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 и 10 семестре и курсовой работы в 10 семестре.

Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций. 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. На каких соображениях основывается применение полуклассического метода эффективной массы для кристаллов полупроводников и простых металлов?
2. Эффект Мессбауэра. Спектроскопия ядерного гамма-резонанса.

## **7. Перечень учебных литературы, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) печатные издания:**

1. Мартинсон, Л.К. Квантовая физика: учебное пособие / Л.К. Мартинсон., Е.В. Смирнов.- Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г. - 528 с. ISBN 978-5-7038-3371-1
2. Винтайкин, Б.Е. Физика твердого тела / Б.Е. Винтайкин.- Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.- 250 с. ISBN 978-5-7038-2459-7
3. Валишев, М.Г. Курс общей физики: учебное пособие для вузов по техническим направлениям подготовки и специальностям / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. –Санкт-Петербург.; Москва; Краснодар : Лань, 2010. – 573 с. ISBN 978-5-8144-0820-7
4. Никотин, О.П. Зонная структура атомной и электронной динамики, спектральные плотности состояний фононов и электронов проводимости в кристаллах с кубическими решетками : Учебное пособие / О. П. Никотин, А. А. Борисенкова, Ж. Б. Лютова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. - 35 с.
5. Никотин, О.П. Моделирование Ферми-поверхности одновалентных металлов, обладающих гранецентрированной и объемноцентрированной

кристаллической решеткой : Практикум / О. П. Никотин, А. А. Борисенкова, Ж. Б. Лютова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. - 28 с

#### **б) электронные учебные издания:**

1. Никотин, О.П. Зонная структура атомной и электронной динамики, спектральные плотности состояний фононов и электронов проводимости в кристаллах с кубическими решетками : Учебное пособие / О. П. Никотин, А. А. Борисенкова, Ж. Б. Лютова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. - 35 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 14.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

2. Никотин, О.П. Моделирование Ферми-поверхности одновалентных металлов, обладающих гранецентрированной и объемноцентрированной кристаллической решеткой : Практикум / О. П. Никотин, А. А. Борисенкова, Ж. Б. Лютова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. - 28 с // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 14.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

#### **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов: В 6 т./Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. Том 1. Физика твердого тела / Г. Н. Елманов, А. Г. Залужный, В. И. Скрытный, Е. А. Смирнов, В. Н. Яльцев –М.: МИФИ, 2008. – 636 с. ISBN 978-5-7262-0821-3. URL: <https://bookree.org/reader?file=1427768> (дата обращения 08.02.2021). Режим доступа: свободный.

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. 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» преподаватели должны проводить в соответствии с требованиями следующих СТП:

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

- СТП СПбГТИ 018-02. КС УКВД. Виды учебных занятий. Практические и семинарские занятия. Общие требования к организации и проведению.

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

- СТП СПбГТИ 048-2003. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля

успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся

## **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 информационной образовательной среды.

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

Операционные системы Windows, стандартные офисные программы Microsoft Office.

### **10.3. Базы данных и 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, курсового проектирования (выполнения курсовой работы) 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; облучательное устройство стронций-90, спектрофотометры, спектрометр электронного парамагнитного резонанса.

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 учебные 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.**

Индекс компетенции	Содержание <sup>4</sup>	Этап формирования <sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> **Жирным шрифтом** выделяется та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

<sup>5</sup> Этап формирования компетенции выбирается по п. 2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие)

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-3.4</b> Оценка и измерение свойств и параметров вещества в конденсированном состоянии с использованием квантостатистических расчетов и физико-химических методов анализа	<b>Перечисляет и правильно выбирает</b> способы оценки и измерения свойств и параметров вещества в конденсированном состоянии с использованием квантостатистических расчетов и физико-химических методов анализа	Правильные ответы на вопросы к зачету №1-9	Ориентируется в методах квантостатистических расчетов и физико-химических методов анализа	Дает оценку квантостатистических расчетов и физико-химических методов анализа, с последующим разбором.	Безошибочно и обоснованно применяет возможные методы квантостатистических расчетов. Детально знает особенности физико-химических методов анализа вещества в конденсированном состоянии.
	<b>Оценивает и сравнивает</b> расчётные методы оценки свойств и параметров веществ в конденсированном состоянии (У1)	Правильные ответы на вопросы к зачету № 10-19	Дает характеристику моделям математического аппарата квантовой физики, а также основным понятиям.	Дает характеристику моделям математического аппарата квантовой физики, а также основным понятиям, знает их взаимосвязь, выводит основные законы.	Дает характеристику моделям математического аппарата квантовой физики, а также основным понятиям, знает их взаимосвязь, выводит основные законы, безошибочно приводит их интерпретацию и физический смысл
	<b>Объясняет</b> , как планировать и проводить исследования в области физики конденсированного состояния вещества (У2)	Правильные ответы на вопросы к зачету № 10, 20, 21, 22, 29-35.	Имеет понятие о планировании и проведении исследований в области физики конденсированного состояния вещества, но затрудняется перечислить область их	Уверенно объясняет, как планировать и проводить исследования в области физики конденсированного состояния вещества, но перечень методов приводит не полностью.	Уверенно объясняет, как планировать и проводить исследования в области физики конденсированного состояния вещества, перечень методов приводит полностью

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
			применимости		
	<b>Демонстрирует</b> основные понятия математического аппарата шрёдингеровской формулировки квантовой физики (B1)	Правильные ответы на вопросы к зачету № 16, 22-28, 30	Ориентируется в применении уравнения Шрёдингера к решению некоторых модельных задач (свободная частица, туннельный эффект, частица в «потенциальной яме»)	Демонстрирует способы решения уравнения Шрёдингера для некоторых модельных задач (свободная частица, туннельный эффект, частица в «потенциальной яме»), но допускает ошибки	Безошибочно демонстрирует способы решения уравнения Шрёдингера для некоторых модельных задач (свободная частица, туннельный эффект, частица в «потенциальной яме»)
	<b>Показывает</b> физико-химические методы исследования вещества в твёрдой фазе; навыки экспериментального определения основных параметров вещества в твёрдой фазе (B2)	Правильные ответы на вопросы к зачету № 20, 21, 29-35	Рассчитывает основные параметры веществ в конденсированном состоянии.	Рассчитывает основные параметры веществ в конденсированном состоянии, математически отражает их взаимосвязь, дает анализ, допускаются ошибки.	Рассчитывает основные параметры веществ в конденсированном состоянии, математически отражает их взаимосвязь, дает анализ, безошибочно делает выводы полученных результатов

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».

- 1) Приведите выражение, описывающее распределение квантовой статистики Ферми-Дирака. Каков физический смысл этого распределения? Приведите примеры металлов с простейшими по форме поверхностями Ферми.
- 2) 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?
- 3) Поясните, как модель Паули объясняет величину и температурную зависимость поведения парамагнитной восприимчивости простых металлов.
- 4) 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?
- 5) На каких соображениях основывается применение полуклассического метода эффективной массы для кристаллов полупроводников и простых металлов?
- 6) 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?
- 7) Как ведет себя температурная зависимость теплоемкости металлических кристаллов при температурах, близких к нулевым значениям по шкале Кельвина, при отсутствии перехода в сверхпроводящее состояние?
- 8) Поясните, как квантовая физика объясняет отсутствие значительного теплового поглощения электронами проводимости металлических кристаллов при комнатной температуре?
- 9) Поясните, в чем состоит различие в температурных зависимостях поведения электропроводности полупроводниковых кристаллов с примесным и собственным типом проводимости.
- 10) Поясните, как строится модель примесного центра в полупроводниковых кристаллах.
- 11) Приведите исходные положения, используемые при построении одноэлектронной модели сильной связи в электронной теории.
- 12) Приведите исходные положения, используемые при построении одноэлектронной модели слабой связи в электронной теории.
- 13) 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.

- 14) Приведите основные факты, относящиеся к явлению сверхпроводимости. Какие экспериментальные свидетельства подтверждают наличие «щели» в спектре одночастичных состояний электронов у сверхпроводников?
- 15) По каким признакам определяется классификация сверхпроводников на сверхпроводники I-го и II-го рода?
- 16) Какое явление называют конденсацией Бозе-Эйнштейна? Каковы современные результаты, полученные при экспериментальных исследованиях этого явления в охлажденных парах щелочных металлов?
- 17) Как ведет себя температурная зависимость теплоемкости металла при переходе в сверхпроводящее состояние?
- 18) Какое явление называется эффектом Мейсснера при переходе металлического кристалла в сверхпроводящее состояние?
- 19) 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?
- 20) Какие типы кристаллических веществ обнаруживают явление высокотемпературной сверхпроводимости?
- 21) Какие вещества называют ферромагнетиками, ферримагнетиками, антиферромагнетиками?
- 22) Поясните на качественном уровне квантовую модель парамагнетизма электронов проводимости, предложенную В.Паули.
- 23) Опишите общую структуру уравнения физической кинетики (уравнения Больцмана) для электронов проводимости.
- 24) В каком случае использование уравнения Больцмана в приближении времени релаксации является достаточно строгим?
- 25) Поясните на качественном уровне, что происходит с равновесным распределением Ферми для электронов металла при прохождении электрического тока?
- 26) Приведите наименования основных кинетических коэффициентов, свойственных электронной подсистеме кристаллов.
- 27) Назовите физические причины, или механизмы, которые приводят к наличию электрического сопротивления в нормальных металлах.
- 28) 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?
- 29) Эффект Мессбауэра. Спектроскопия ядерного гамма-резонанса.
- 30) Классическая и квантовомеханическая интерпретация эффекта электронного парамагнитного резонанса.
- 31) Методы исследования, построенные на явлении вторичной электронной эмиссии.
- 32) Оже-электронная спектроскопия.
- 33) Растровая электронная микроскопия.
- 34) Сканирующая туннельная микроскопия.
- 35) Атомно-силовая микроскопия.

**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.