

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 13.03.2024 13:35:02  
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  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Специальность

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Специализация

**Химия материалов**

Квалификация

**Химик. Преподаватель химии**

Форма обучения

**Очная**

**Факультет химии веществ и материалов**

**Кафедра физико-химического конструирования функциональных материалов**

Санкт-Петербург

2023

**Б1.В.15**

## **ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**

## 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.....	06
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины...	06
4.3. Занятия лекционного типа.....	07
4.4. Занятия семинарского типа.....	08
4.4.1. Семинары, практические занятия .....	08
4.4.2. Лабораторные занятия.....	09
4.5. Самостоятельная работа обучающихся.....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	11
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	11
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	12
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, 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.....	13
10.1. Информационные технологии.....	13
10.2. Программное обеспечение.....	13
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	13
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	13
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	13
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации...	14

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

В результате освоения образовательной программы специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-3</b> Способен к поиску и анализу научной информации по химии материалов, анализу и обобщению отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования</p>	<p><b>ПК-3.3</b> Способен к поиску и анализу научной информации в области физики твердого тела</p>	<p><b>Знать:</b> методы математического анализа, применяемые в физике и химии твердого тела, основы квантовой механики, статистической физики, перечень основных физических и физико-химических явлений и эффектов в полупроводниках, металлах и диэлектриках (ЗН-1);</p> <p><b>Уметь:</b> самостоятельно выбрать теоретический подход для решения конкретной физической задачи и выполнить соответствующие оценки и вычисления, использовать зонные диаграммы различных материалов для качественного объяснения оптических, термодинамических и кинетических эффектов в чистых кристаллах и кристаллах с примесями (У-1);</p> <p><b>Владеть:</b> навыками теоретического исследования процессов, протекающих в твердом теле, методами использования зонных диаграмм различных материалов для качественного объяснения оптических, термодинамических и кинетических эффектов в чистых кристаллах и кристаллах с примесями (Н-1).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.15), и изучается на 4 курсе в 8 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Физика», «Основы научных исследований».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Физика твердого тела» знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе, при прохождении производственной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>3/ 108</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>64</b>
занятия лекционного типа	16
занятия семинарского типа, в т.ч.	32
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	32 (8)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	16
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>44</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	5 индивидуальных заданий, реферат
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Зачет</b>

#### 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 занятия	Лабораторные работы			
1	Элементы квантовой теории твердого тела	2	4	-	6	ПК-3	ПК-3.3
2	Зонная теория	2	4	-	4	ПК-3	ПК-3.3
3	Динамика кристаллической решетки	2	4	-	4	ПК-3	ПК-3.3
4	Термодинамические свойства твердых тел	4	8	-	10	ПК-3	ПК-3.3
5	Оптика и магнетизм	4	8	-	10	ПК-3	ПК-3.3
6	Процессы переноса	1	2	-	4	ПК-3	ПК-3.3
7	Дефекты кристаллической решетки	1	2	-	6	ПК-3	ПК-3.3

##### 4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1	ПК-3.3	Элементы квантовой теории твердого тела. Зонная теория. Динамика кристаллической решетки. Термодинамические свойства твердых тел. Оптика и магнетизм. Процессы переноса. Дефекты кристаллической решетки.

### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<b>Элементы квантовой теории твердого тела</b> Боровский атом. Волновая функция, уравнение Шредингера. Отражение частицы от потенциального барьера, туннелирование. Качественная картина появления энергетических зон в кристалле.	2	Л
2	<b>Зонная теория</b> Блоховская волновая функция. Модель Кронига-Пенни. Примеры реальных зон. Эффективная масса. Формула Друде и простые следствия из квантовой теории. Различия зонных структур полупроводников и металлов. Дырочная проводимость, примеси	2	Л
3	<b>Динамика кристаллической решетки</b> Гармонический осциллятор. Колебания частицы вблизи минимума потенциальной энергии. Простая одномерная цепочка. Цепочка с границей. Сложная одномерная цепочка, оптическая и акустическая ветви колебаний решетки. Колебания простой кубической решетки, поляризация, три ветви колебаний. Зона Бриллюэна	2	ЛВ
4	<b>Термодинамические свойства твердых тел</b> Понятие функции распределения, распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Теплоемкость кристаллической решетки, модель Дебая. Связь концентрации и уровня Ферми в невзаимодействующем Ферми-газе. Уровень Ферми и концентрации электронов и дырок в полупроводнике. P-n переход.	4	Л
5	<b>Оптика и магнетизм</b> Электромагнитная теория света. Фундаментальное поглощение. Рисунок зоны, анализ на основе законов сохранения. Экситоны, непрямые переходы. Поглощение света свободными носителями. Зависимость проводимости от частоты. Взаимодействие света с колебаниями решетки. Инфракрасная спектроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния света. Фотонные кристаллы. Виды магнетизма. Парамагнетизм газов, парамагнетизм Паули. Ферромагнетизм. Спонтанная намагниченность, домены, температура Кюри.	4	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
6	<b>Процессы переноса</b> Понятие о кинетических коэффициентах. Неравновесная функция распределение. Выражение для потоков через функцию распределения. Уравнение Больцмана в приближении времени релаксации. Механизмы рассеяния. Деформационный потенциал. Взаимодействие фононов. Закон Видемана-Франца. Термоэлектричество, увлечение электронов фононами. Эмиссия электронов из металла.	1	Л
7	<b>Дефекты кристаллической решетки</b> Классификация дефектов по размерности. Вакансии, междоузлия. Краевая и винтовая дислокации, вектор Бюргерса. Связь дефектов и пластичности кристаллов.	1	ЛВ

#### 4.4. Занятия семинарского типа.

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
1	<b>Занятие 1.</b> Разбор задач, иллюстрирующих различия и сходства квантовой и классической механики.	4	-	РД
2	<b>Занятие 2.</b> Решение одномерного стационарного уравнения Шредингера	4	-	РД
4	<b>Занятие 3.</b> Нахождение спектров колебаний одномерных цепочки с различными граничными условиями.	4	-	РД
4	<b>Занятие 4.</b> Обсуждение основных свойств основных функций распределения частиц в физике твердого тела, решение ряда задач, иллюстрирующих их особенности	8	4	РД
5	<b>Занятие 5.</b> Обсуждение методов оптической диагностики кристаллических структур	8	4	Д



№ раздела дисциплин ы	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Иновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
6	<b>Занятие 6.</b> Решение кинетического уравнения Больцмана в приближении метода релаксации	2	-	Т
7	<b>Занятие 7.</b> Объяснение влияния дефектов на пластичность кристаллов	2	-	КрСт

#### 4.4.2. Лабораторные работы

Лабораторных работ в учебном плане не предусмотрено.

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<b>Тема 1. Понятие об энергетических зонах в кристалле</b> Соотношения неопределенностей Гейзенберга, дифракция электронов, плотность вероятности, уравнение Шредингера. Атом Зоммерфельда. Уровни энергии в квантовой яме с бесконечными стенками	6	ИЗ №1
2	<b>Тема 2. Зонная теория</b> Система уравнений для определения дискретных уровней энергии в симметричной потенциальной яме с конечными стенками. Квазиклассическое приближение, туннелирование. Вероятности прохождения частицы через прямоугольный потенциальный барьер.	4	ИЗ №2
3	<b>Тема 3. Динамика кристаллической решетки</b> Спектр колебаний простой одномерной цепочки, у которой оба конца свободны. Спектр колебаний простой одномерной цепочки, у которой оба конца закреплены. Метод динамической матрицы. <u>Рамановская спектроскопия наноструктур</u>	4	ИЗ №3
4	<b>Тема 4. Термодинамические свойства твердых тел</b> Связь между энергией и уровнем Ферми в невзаимодействующем Ферми-газе при нулевой температуре. Давление идеального Ферми-газа при нулевой температуре. Теплоемкость электронного газа. Теплоемкость кристаллической решетки в модели Эйнштейна.	10	ИЗ №4

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
5	<b>Тема 5. Оптика и магнетизм</b> Механизмы оптического поглощения в кристаллах Синтетические фотонные кристаллы. Электронный магнитный резонанс, ЭПР спектрометр. Ядерный магнитный резонанс.	10	Устный опрос
6	<b>Тема 6. Процессы переноса</b> Уравнение диффузии, уравнение теплопереноса Фурье. Термоэлектрический эффект, увлечение электронов фононами.	4	Устный опрос, реферат
7	<b>Тема 7. Дефекты кристаллической решетки</b> Типы дефектов в твердом теле. Точечные, линейные и пространственные дефекты. Влияние дефектов на физические свойства кристалла. Термодинамические и статистические свойства дефектов в кристалле.	6	ИЗ №5

#### Примеры индивидуальных заданий:

- №1: а) Найти энергию фотона с длиной волны 500 нм. Ответ записать в эВ.  
 б) Найти уровни энергии в потенциальной яме с бесконечными стенками.
- №2: а) Составить систему уравнений для определения вероятности туннелирования электрона с энергией  $E$  через потенциальный барьер ширины  $a$  и высоты  $V$ .  
 б) Составить систему уравнений для нахождения уровней энергии в потенциальной яме с конечными стенками, шириной  $a$  и глубины  $V$ .
- №3: Найти спектр колебаний одномерной цепочки с  
 а) закрепленными краями  
 б) свободными краями.
- №4: а) Найти энергию идеального ферми-газа при нулевой температуре и заданном химическом потенциале.  
 б) Найти теплоемкость идеального ферми-газа при нулевой температуре  
 в) Посчитать теплоемкость кристаллической решетки в модели Эйнштейна
- №5: Найти концентрацию дырок в собственном полупроводнике.

#### Примерные темы рефератов:

1. Механизмы поглощения электромагнитного излучения в твердых телах
2. Электропроводность металлов и полупроводников
3. Физическая модель p-n перехода, полупроводниковый диод, полупроводниковый транзистор.
4. Солнечный элемент, современные солнечные батареи.
5. Принцип работы приборов с зарядовой связью
6. Акустические и оптические фононы.
7. Термоэлектрический эффект и приборы на его основе.
8. Теплоемкость твердых тел. Зависимость теплоемкости кристаллических твердых тел от температуры.
9. Модели Эйнштейна и Дебая для теплоемкости твердых тел.
10. Механизмы теплопроводности твердых тел
11. Механические свойства кристаллов, точечные и линейные дефекты. Дислокации.

## **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: <https://media.technolog.edu.ru>

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

Зачет предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются теоретическими вопросами (заданиями).

При сдаче зачета студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример варианта вопросов на зачете:

### **Вариант № 1**

1. Качественно объяснить, почему сопротивление полупроводника падает с ростом температуры, а сопротивление металла растет.
2. Составить систему уравнений для определения дискретных уровней энергии в симметричной потенциальной яме с конечными стенками.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – «зачет».

## 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Мейлахс, А.П. Физика твердого тела : учебное пособие / А. П. Мейлахс, А. Я. Вуль ; СПбГТИ(ТУ). Каф. физ. химии. - СПб. : [б. и.], 2019. - 109 с.
2. Ансельм, А.И. Основы статистической физики и термодинамики : Учебное пособие для вузов по физическим и техническим направлениям и специальностям / А. И. Ансельм. - 2-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2007. - 426 с. - ISBN 978-5-8114-0756-9.

### б) электронные учебные издания:

1. Мейлахс, А.П. Физика твердого тела : учебное пособие / А. П. Мейлахс, А. Я. Вуль ; СПбГТИ(ТУ). Кафедра физической химии. - Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2019. - 109 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 17.05.2023). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

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

Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

С компьютеров института открыт доступ к:

<http://media.technolog.edu.ru> Учебный план, РПД и учебно-методические материалы.

Электронно-библиотечные системы:

<https://technolog.bibliotech.ru> «Электронный читальный зал – БиблиоТех»;

<http://e.lanbook.com> - Электронно-библиотечная система издательства «Лань», коллекции «Химия» (книги издательств «Лань», «Бином»), «Нанотехнологии» (книги издательства «Бином. Лаборатория знаний»);

[www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) - eLIBRARY - научная электронная библиотека периодических изданий;

[www.scopus.com](http://www.scopus.com) - База данных рефератов и цитирования Scopus издательства Elsevier;

<http://webofknowledge.com> - Универсальная реферативная база данных научных публикаций Web of Science компании Thomson Reuters;

[www.oxfordjournals.org](http://www.oxfordjournals.org) - Архив научных журналов издательства Oxford University Press;

<http://www.sciencemag.org/> - Полнотекстовый доступ к журналу Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS));

<http://www.nature.com> - Доступ к журналу Nature (Nature Publishing Group);

<http://pubs.acs.org> - Доступ к коллекции журналов Core + издательства American Chemical Society;

<http://journals.cambridge.org> - Полнотекстовый доступ к коллекции журналов Cambridge University Press;

<http://www.nanometer.ru> - Нанометр (нанотехнологическое сообщество)

<http://www.school.edu.ru/default.asp> - Российский общеобразовательный портал

<http://www.allscience.ru> - all Science – Российский научный портал

<http://en.edu.ru> - Естественнонаучный образовательный портал

<http://popular.rusnano.com> - Нано? Это просто!

<http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst.htm> - Экспресс-бюллетень “ПерсТ”

(Перспективные Технологии - наноструктуры, сверхпроводники, фуллерены)

<http://nano.msu.ru> - Научно-образовательный центр по нанотехнологиям МГУ.

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

Все виды занятий по дисциплине «Физика твердого тела» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП 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.

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

СТП СПбГТИ 016-2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

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.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

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

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

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

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

Microsoft Office (Microsoft Excel, Power Point).

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

База данных журналов РИНЦ.

База данных COD (<http://www.crystallography.net/cod/>).

## **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.**

**Учебная аудитория для проведения лекционных занятий**, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основное оборудование: столы; стулья; доска; демонстрационный экран, проектор, компьютер.

**Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа.**

Основное оборудование: столы; стулья; доска; демонстрационный экран; проектор; компьютер; наглядные пособия (модели).

**Помещение для самостоятельной работы.**

Основное оборудование: столы; стулья; проектор; экран; компьютеры с доступом к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

## **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 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Физика твердого тела»**

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

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
ПК-3	Способен к поиску и анализу научной информации по химии материалов, анализу и обобщению отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования	промежуточный

## 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)
<p><b>ПК-3.3</b> Способен к поиску и анализу научной информации в области физики твердого тела</p>	<p><b>Рассказывает о</b> методах математического анализа, применяемых в физике и химии твердого тела, основах квантовой механики, статистической физики, <b>перечисляет</b> основные физические и физико-химические явления и эффекты в полупроводниках, металлах и диэлектриках (ЗН-1)</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №1-26 к зачету</p>	<p>Находит с помощью правил квантования Бора энергию круговых орбит в атоме водорода; записывает уравнение Шредингера для свободной частицы; объясняет понятие энергетической зоны в кристалле с ошибками. Объясняет физические основы методов рамановской и ИК спектроскопии; описывает принцип работы, свойства и энергетическую структуру p-n перехода и МДП полевого транзистора с ошибками.</p>	<p>Находит с помощью правил квантования Бора энергию круговых орбит в атоме водорода; записывает уравнение Шредингера для свободной частицы; объясняет понятие энергетической зоны в кристалле с помощью наводящих вопросов. Объясняет физические основы методов рамановской и ИК спектроскопии; описывает принцип работы, свойства и энергетическую структуру p-n перехода и МДП полевого транзистора с помощью наводящих вопросов.</p>	<p>Правильно находит с помощью правил квантования Бора энергию круговых орбит в атоме водорода; записывает уравнение Шредингера для свободной частицы; объясняет понятие энергетической зоны в кристалле. Правильно объясняет физические основы методов рамановской и ИК спектроскопии; правильно описывает принцип работы, свойства и энергетическую структуру p-n перехода и МДП полевого транзистора.</p>

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<b>Выбирает</b> теоретический подход для решения конкретной физической задаче и выполняет советующие оценки и вычисления, <b>сопоставляет</b> зонные диаграммы различных материалов для качественного объяснения оптических, термодинамических и кинетических эффектов в чистых кристаллах и кристаллах с примесями (У-1)	Правильные ответы на вопросы № 1-26 к зачету, ИЗ №1-5	С ошибками описывает и объясняет основное отличие зонной структура металлов, полупроводников и диэлектриков. С помощью энергетической зонной диаграммы дает объяснение оптических и кинетических эффектов в твердом теле с ошибками.	Описывает и объясняет основное отличие зонной структура металлов, полупроводников и диэлектриков с небольшими подсказками преподавателя. С помощью энергетической зонной диаграммы дает объяснение оптических и кинетических эффектов в твердом теле с помощью наводящих вопросов.	Уверенно и без ошибок описывает и объясняет основное отличие зонной структура металлов, полупроводников и диэлектриков. С помощью энергетической зонной диаграммы дает правильное объяснение оптических и кинетических эффектов в твердом теле.
	<b>Демонстрирует</b> навыки теоретического исследования процессов, протекающих в твердом теле, <b>использует</b> зонные диаграммы различных материалов для качественного объяснения оптических, термодинамических и кинетических эффектов в	Правильные ответы на вопросы № 1-26 к зачету, ИЗ №1-5, защита реферата	Слабо ориентируется в различии в зависимости изменения сопротивления от температуры в полупроводниках и металлах; объясняет различие в спектральных зависимостях поглощения света в	Объясняет качественное различие в зависимости изменения сопротивления от температуры в полупроводниках и металлах; качественно объясняет различие в спектральных зависимостях	Правильно объясняет качественное различие в зависимости изменения сопротивления от температуры в полупроводниках и металлах; качественно объясняет различие в спектральных зависимостях поглощения света в



Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	чистых кристаллах и кристаллах с примесями (Н-1)		диэлектриках, металлах и полупроводниках с ошибками. Делает количественные оценки величин, определяющие оптические и кинетические эффекты в твердом теле и наноструктурах на основе зонных энергетических диаграмм с ошибками.	поглощения света в диэлектриках, металлах и полупроводниках с небольшими ошибками. Делает количественные оценки величин, определяющие оптические и кинетические эффекты в твердом теле и наноструктурах на основе зонных энергетических диаграмм с помощью наводящих вопросов.	диэлектриках, металлах и полупроводниках. Безошибочно делает количественные оценки величин, определяющие оптические и кинетические эффекты в твердом теле и наноструктурах на основе зонных энергетических диаграмм.

**3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**  
**Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента**  
**по компетенции ПК-3:**

1. С помощью правил квантования Бора, найти энергию круговых орбит в атоме водорода
2. Написать уравнение Шредингера для свободной частицы
3. Найти уровни энергии в квантовой яме с бесконечными стенками.
4. Составить систему уравнений для определения дискретных уровней энергии в симметричной потенциальной яме с конечными стенками.
5. Составить систему уравнений для определения вероятности прохождения частицы через прямоугольный потенциальный барьер.
6. Объяснить понятие энергетической зоны
7. Опишите основное отличие зонной структура металлов и полупроводников
8. Качественно объяснить, почему сопротивление полупроводника падает с ростом температуры, а сопротивление металла растёт.
9. Найти спектр колебаний простой одномерной цепочки, у которой оба конца свободны.
10. Найти спектр колебаний простой одномерной цепочки, у которой оба конца закреплены
11. Найти связь между энергией и уровнем Ферми в невзаимодействующем Ферми-газе при нулевой температуре.
12. Определить сжимаемость идеального Ферми-газа при нулевой температуре.
13. Используя распределение Бозе-Эйнштейна, определить теплоемкость кристаллической решетки при высоких температурах
14. Качественно объясните, почему металл всегда отражает видимый свет, а полупроводники бывают прозрачными.
15. Найти зависимость коэффициента поглощения от частоты при прямом межзонном поглощении света в полупроводниках.
16. Решить уравнение диффузии
17. Объяснить физические основы метода спектроскопии комбинационного рассеяния света
18. Объяснить физические основы метода ИК спектроскопии
19. Описать свойства и структуру p-n перехода
20. Объяснить основные принципы работы полевого транзистора
21. Объяснить основные принципы работы трехуровневого газового лазера
22. Объяснить основные принципы работы твердотельного лазера
23. Качественно объяснить термоэлектрический эффект
24. Качественно объяснить закон Видемана-Франца
25. Изобразить вектор Бюргера для данной дислокации
26. Объяснить, как дислокации влияют на механические свойства кристаллов.

При сдаче зачета студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.  
Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

**5. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачета, шкала оценивания – «зачтено» (если достигнут «пороговый» уровень освоения всех элементов компетенции), «не зачтено».