

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 13.11.2023 16:26:59  
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**  
**ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

(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 «Введение в физику полупроводников» 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 (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.....	08
4.3.1. Семинары, практические занятия.....	08
4.4. Самостоятельная работа.....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	09
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	09
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.....	10
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	10
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	10
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	11
10.2. Программное обеспечение.....	11
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	11
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	11
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	11
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.	

## 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 <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<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	<b>ПК-3.5</b> Использование методов математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, к проведению теоретического анализа и экспериментальной проверки адекватности модели.	<b>Знать:</b> основные свойства, процессы и явления, происходящие в полупроводниках; <b>Уметь:</b> описывать и качественно объяснять основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и нанoeлектронике; . <b>Владеть:</b> опытом понимания качества исследований, относящихся к области физики полупроводников; методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики полупроводников

<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

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Введение в физику полупроводников» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.ДВ.01.02) и изучается на 4 курсе в 7 семестре

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Физика», «Основы рентгено- и нейтроноструктурного анализа», «Основы ядерной физики и дозиметрии».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Введение в физику полупроводников» 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	7 сем.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>5 / 180</b>	<b>5 /180</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
занятия лекционного типа	36	36
занятия семинарского типа, в т.ч.	18	18
семинары, практические занятия (в т.ч. практическая подготовка)	18(6)	18(6)
лабораторные работы		
курсовое проектирование (КР или КП)		
КСР		
Другие виды контактной работы		
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>126</b>	<b>126</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)		
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	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	Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Практические занятия			
1.	Введение	2		6	ПК-3	ПК-3.5
2.	Сведения из квантовой физики, необходимые для понимания физики полупроводников	12	6	30	ПК-3	ПК-3.5
3.	Электронная система кристаллов. Металлы, полупроводники, изоляторы. Зонная теория твердого тела.	10	4	30	ПК-3	ПК-3.5
4.	Равновесные и неравновесные электроны и дырки в полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда. Колебательные свойства кристаллической решетки полупроводников.	4	4	30	ПК-3	ПК-3.5
5.	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Типы и принципы действия полупроводниковых приборов.	8	4	30	ПК-3	ПК-3.5

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование раздела дисциплины	Объем, акад. часы	Инновационная форма <sup>4</sup>
1	Введение	2	Л, ЛВ
2	Сведения из квантовой физики, необходимые для понимания физики полупроводников	12	Л,ЛВ
3	Электронная система кристаллов. Металлы, полупроводники, изоляторы. Зонная теория твердого тела.	10	Л, ЛВ
4	Равновесные и неравновесные электроны и дырки в полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда. Колебательные свойства кристаллической решетки полупроводников.	4	Л, ЛВ
5	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Типы и принципы действия полупроводниковых приборов.	8	Л, ЛВ

<sup>4</sup> **Примеры образовательных технологий, способов и методов обучения** (с сокращениями): традиционная лекция (Л), лекция-визуализация (ЛВ), проблемная лекция (ПЛ), лекция – пресс-конференция (ЛПК), занятие – конференция (ЗК), тренинг (Т), дебаты (Д), мозговой штурм (МШ), мастер-класс (МК), «круглый стол» (КрСт), активизация творческой деятельности (АТД), регламентированная дискуссия (РД), дискуссия типа форум (Ф), деловая и ролевая учебная игра (ДИ, РИ), метод малых групп (МГ), занятия с использованием тренажеров, имитаторов (Тр), компьютерная симуляция (КтСм), использование компьютерных обучающих программ (КОП), интерактивных атласов (ИА), посещение врачебных конференции, консилиумов (ВК), участие в научно-практических конференциях (НПК), съездах, симпозиумах (Сим), учебно-исследовательская работа студента (УИРС), проведение предметных олимпиад (О), подготовка письменных аналитических работ (АР), подготовка и защита рефератов (Р), проектная технология (ПТ), экскурсии (Э), дистанционные образовательные технологии (ДОТ).

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	В т.ч. прак. подгот.	Инновационная форма
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Расчёт длин волн фотона, электрона, нейтрона при заданной для них энергии.</li> <li>- Решение задачи на собственные значения для простейших операторов физических величин. Разделение переменных в стационарном уравнении Шредингера.</li> <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>	6		КрСт
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> </ul>	4		КрСт
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вычисление энергий Ферми для электронов проводимости.</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>	4	2	КрСт
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выпрямительные полупроводниковые диоды. Стабилитроны. Биполярные и полевые транзисторы. Опто- и фотоэлектронные полупроводниковые приборы.</li> </ul>	4	4	КрСт

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма текущего контроля
1	История становления физики полупроводников	6	Устный опрос
2	Особенности радиационной физики полупроводников	30	
3	Прямая и обратная решётка кристаллов. Фазовые переходы второго рода	30	
4	Особенности требований к полупроводникам, используемых в атомной промышленности	30	
5.	Типы полупроводниковых приборов. Органические полупроводники. Полупроводниковые приборы в космосе.	30	

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

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к практическим 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 («зачет») освоения предусмотренных элементов компетенций.

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 30 мин.

Пример варианта вопросов на зачете:

<b>Вариант № 1</b>
1. Приведите соотношения квантовой физики, объединяющие волновые и корпускулярные свойства микрочастиц.
2. Легирование полупроводников. Нейтронное трансмутационное легирование. Донорная и акцепторная проводимости. Компенсированные и сильно легированные полупроводники.

## **7. Перечень учебных изданий, 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.

### **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

## **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 «Введение в физику конденсированного состояния вещества» 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.

- СТП СПбГТИ 048-2003. 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.

На занятия студент должен приходиться, 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;  
видеоматериалы Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»;  
взаимодействие с обучающимися посредством электронной информационно-образовательной среды.

### **10.2. Программное обеспечение<sup>5</sup>.**

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-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы<sup>6</sup>.**

Для проведения лекционных и практических занятий используется учебная аудитория, укомплектованная специализированной мебелью, проектор, экран, компьютер. 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).

## **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

---

<sup>5</sup> В разделе отображаются комплекты лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для обеспечения дисциплины

<sup>6</sup> В разделе отображается состав помещений, которые представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой по дисциплине, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ),  
утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации  
по дисциплине «Введение в физику полупроводников»**

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

Индекс компетенции	Содержание <sup>7</sup>	Этап формирования <sup>8</sup>
ПК-3	Способен самостоятельно выполнять исследования с использованием современной аппаратуры и методов исследования в области объектов профессиональной деятельности, проводить корректную обработку результатов и устанавливать адекватность моделей	Промежуточный

<sup>7</sup> **Жирным шрифтом** выделяется та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

<sup>8</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-3.5</b> Использование методов математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, к проведению теоретического анализа и экспериментальной проверки адекватности модели.	<b>Перечисляет и правильно выбирает</b> основные свойства, процессы и явления, происходящие в полупроводниках;	Правильные ответы на вопросы к зачету №№ 1-16; 28-30	Перечисляет и выбирает методы математического моделирования, физико-химические методы исследования полупроводников	Перечисляет и выбирает методы математического моделирования, физико-химические методы исследования полупроводников без ошибок, но отсутствует точность в математическом описании наблюдаемых явлений	Перечисляет и выбирает оптимальный метод математического моделирования, а также исследования полупроводников
	<b>Оценивает и сравнивает</b> основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и нанoeлектронике;	Правильные ответы на вопросы к зачету №№ 9-21, 35-39	Оценивает и сравнивает основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и нанoeлектронике;	Оценивает и сравнивает основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и нанoeлектронике без ошибок, но не может	Оценивает и сравнивает основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и нанoeлектронике без

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
				сделать вывод о достоверности полученных результатов.	ошибок, определяя достоверность полученных результатов и эффективность используемых методов и математических моделей.
	<b>Демонстрирует</b> понимание качества исследований, относящихся к области физики полупроводников; методов самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики полупроводников	Правильные ответы на вопросы к зачету №№ 22-34	Демонстрирует понимание качества исследований, относящихся к области физики полупроводников; методов самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики полупроводников с ошибками	Демонстрирует понимание качества исследований, относящихся к области физики полупроводников; методов самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики полупроводников незначительными ошибками, но с верно выбранной математической моделью.	Демонстрирует понимание качества исследований, относящихся к области физики полупроводников; методов самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики полупроводников без ошибок

### **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.

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 ПК 3:**

- 1) Сформулируйте постулаты о собственных функциях и собственных значениях операторов физических величин.
- 2) Напишите выражения для операторов импульса, кинетической энергии и полной энергии. Какой вид имеет собственная функция оператора полной энергии для любой стационарной задачи?
- 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).
- 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.
- 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.
- 6) Приведите выражение для собственных функций оператора импульса. Получите спектр собственных значений оператора импульса, используя циклические граничные условия для нормировочного объема в виде куба.
- 7) Как формулируются циклические граничные условия для собственных волновых функций оператора импульса в физике твердого тела для идеальных кристаллов?
- 8) Приведите соотношения квантовой физики, объединяющие волновые и корпускулярные свойства микрочастиц.
- 9) В чем заключается свойство ортонормированности волновых функций квантовой физики? Приведите краткую запись соотношения, поясняющего это свойство.
- 10) Приведите выражение для волновой функции свободной частицы. Как выглядит нормировочная постоянная в случае нормировки этой волновой функции в бесконечном пространстве?
- 11) Приведите основные свойства дельта-функции Дирака.
- 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.
- 13) Дайте определение правила геометрического построения зоны Бриллюэна в обратной решетке, заданной явно своими узлами.
- 14) Приведите выражение для удельной плотности состояний квазичастиц в зоне Бриллюэна (число состояний в единичном объеме  $3B$ ).
- 15) Поясните смысл понятий геометрической кристаллографии точечная группа и ее операции симметрии, пространственная группа кристалла.

- 16) Приведите примеры точечных, линейных и двумерных дефектов в реальных кристаллах. Приведите примеры влияния дефектов на различные макрофизические свойства кристаллов.
- 17) Функция распределения Ферми-Дирака. Уровень химического потенциала. Плотность состояний. Распределение носителей по энергетическим уровням для собственных и примесных полупроводников.
- 18) Понятие о нормальных колебаниях решетки. Спектр нормальных колебаний. Температура Дебая. Фононы.
- 19) Контакт электронного и дырочного полупроводников. Выпрямление на p-n переходе..
- 20) Фотопроводимость. Генерация и рекомбинация носителей заряда.
- 21) Элементарная теория электропроводности полупроводников. Закон Ома. Температурная зависимость проводимости для собственных и примесных полупроводников..
- 22) Приведите общее выражение для вектора обратной решетки кристалла с простой кубической решеткой, выразив его через элементарные трансляции прямой решетки этого кристалла.
- 23) Легирование полупроводников. Нейтронное трансмутационное легирование. Донорная и акцепторная проводимости. Компенсированные и сильно легированные полупроводники.
- 24) Основные типы зонной структуры полупроводников. Зонная структура Si, Ge, GaAs. Изоэнергетические поверхности
- 25) Элементарные полупроводники. Основные характеристики Si, Ge, GaAs, SiC. Аморфные полупроводники
- 26) Что принято называть фононами в квантовой физике полупроводников? Каков порядок величины максимальной энергии квантов упругих колебаний, распространяющихся в кристаллах?
- 27) Каков закон дисперсии длинноволновых акустических фононов? Что называют вектором поляризации фонона?
- 28) 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.
- 29) Что называют законом дисперсии для квазичастиц в кристаллах? Приведите примеры соответствующих соотношений и укажите каким именно случаям они соответствуют.
- 30) Как характеризуются относительные колебательные движения соседних атомов в двухатомном одномерном кристалле, если в первом случае это акустическое колебание, а во втором – это оптическое колебание?
- 31) 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.
- 32) Какова зависимость от температуры (шкала Кельвина) заполнения одного состояния для заданной моды колебательного движения кристалла, если кванты этой моды имеют энергию  $hw$ ?
- 33) Как подсчитать среднюю энергию теплового движения атомов кристаллического вещества при заданной температуре, если известен закон распределения спектральной плотности состояний упругих колебаний решетки кристалла?
- 34) Сформулируйте исходные положения квантовых моделей твердого тела по Эйнштейну и Дебаю. Каков вид функций спектральной плотности состояний фононов по этим моделям?
- 35) Собственные полупроводники. Концентрация носителей заряда в отсутствие вырождения. Положение уровня Ферми.

- 36) Уравнение электронейтральности. Примесные полупроводники. Положение уровня Ферми.
- 37) Контакт электронного и дырочного полупроводников. Выпрямление на p-n переходе.
- 38) Оптические свойства низкоразмерных структур. Межзонное и внутризонное поглощение света квантовой ямой. Сверхрешетки.
- 39) Оптические явления в полупроводниках. Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное, экситонное, на свободных носителях)

**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 СТП СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачёта.

Шкала оценивания на зачёте – «зачёт», «незачет». При этом «зачёт» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.