



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Физический факультет  
Кафедра общей и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ  
Декан И.М. Буднев  
«28» июня 2016 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Теоретические основы физики конденсированного состояния

Код дисциплины Б1.В.ОД.11

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы Академический бакалавриат

Профиль подготовки: Физика конденсированного состояния.

Степень (квалификация) выпускника - бакалавр

Форма обучения: очная.

Согласовано с УМК физического факультета.  
Протокол № 3  
от 28 июня 2016 г.

Зам. председателя УМК  
В.В. Чумак

Рекомендовано кафедрой  
общей и экспериментальной физики.  
Протокол №1  
от 16 июня 2016 г.  
Зав. кафедрой

А.А. Гаврилюк

Иркутск 2016 г.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| 1. Цели и задачи курса.....  | 3  |
| 2. Место дисциплины в структуре ООП.....   | 3  |
| 3. Требования к результатам освоения дисциплины.....   | 3  |
| 4. Объем дисциплины и виды учебной работы.....   | 4  |
| 5. Содержание программы.....   | 5  |
| 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины.....   | 5  |
| 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми<br>(последующими) дисциплинами..... | 6  |
| 5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий.....  | 6  |
| 6. Перечень практических занятий.....  | 6  |
| 6.1. План самостоятельной работы студентов.....  | 6  |
| 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов                             | 9  |
| 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии):.....                                    | 10 |
| 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....                                    | 10 |
| 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:.....  | 11 |
| 10. Образовательные технологии:.....   | 11 |
| 11. Оценочные средства (ОС):.....  | 11 |
| Приложение: Фонд оценочных средств.  |    |

## 1. Цели и задачи курса.

Целями освоения дисциплины «Теоретические основы Физики конденсированного состояния» являются:

- изучение основ зонной теории и деления твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики;
- знание основных электрических и магнитных свойств твердых тел;
- овладение навыками измерения параметров полупроводников.

### Задачи дисциплины

- Знать фундаментальные физические закономерности, определяющие свойства твердых тел;
- Уметь применять полученные знания для расчетов физических характеристик твердотельных материалов;
- Иметь навыки экспериментальных исследований и анализа полученных результатов.

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к познанию физических явлений, приобретение навыков самостоятельного изучения фундаментальных основ науки и их приложений.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП.

Дисциплина «Теоретические основы Физики конденсированного состояния» входит в модуль Б1.В.ОД.11, относящийся к вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 Физика. При изучении дисциплины «Теоретические основы физики конденсированного состояния» используются знания, приобретенные при изучении курсов «Общей физики» и «Высшей математики».

Общая трудоемкость дисциплины – 2 зачетные единицы.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать:* теоретические основы физики конденсированного состояния;
- уметь:* понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики;
- владеть:* методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информацией.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Вид учебной работы                    | Всего часов / зачетных единиц | Семестры |   |   |   |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------|---|---|---|
|                                       |                               | 5        | - | - | - |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>     | 40/1.1                        | 40/1.11  | - | - | - |
| В том числе:                          | -                             | -        | - | - | - |
| Лекции                                | -                             | -        | - | - | - |
| Практические занятия (ПЗ)             | 36/1                          | 36/1     | - | - | - |
| Коллоквиум                            | -                             | -        | - | - | - |
| Лабораторные работы (ЛР)              | -                             | -        | - | - | - |
| Контроль самостоятельной работы (КСР) | 4/0.1                         | 4/0.1    | - | - | - |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b> | 32/0.9                        | 32/0.9   | - | - | - |
| В том числе:                          | -                             | -        | - | - | - |
| Курсовой проект (работа)              | -                             | -        | - | - | - |
| Расчетно-графические работы           | -                             | -        | - | - | - |
| Реферат (при наличии)                 | 32/0.9                        | 32/0.9   | - | - | - |
| <i>Домашние контрольные работы</i>    | -                             | -        | - | - | - |
| Вид аттестации экзамен                |                               |          | - | - | - |
| Общая трудоемкость часы               | 72                            | 72       | - | - | - |
| Зачетные единицы                      | 2                             | 2        | - | - | - |

#### 5. Содержание программы

##### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины.

##### I. ВВЕДЕНИЕ

###### *Тема 1. Введение*

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики твердого тела. Связь дисциплины с другими разделами.

###### *Тема 2. Классификация твердых тел по типам связи*

Типы химических связей. Металлические, ионные, ковалентные, молекулярные кристаллы. Энергия связи кристаллической решетки.

###### *Тема 3. Тепловые колебания кристаллической решетки*

Гармонические колебания кристаллической решетки. Нормальные моды. Спектр колебаний кристаллической решетки. Акустические и оптические колебания. Квантовая теория колебаний кристаллической решетки. Фононы. Энергия и импульс фонона. Статистика фононов. Зависимость концентрации фононов и энергии кристаллической решетки от температуры, температура Дебая. Теплоемкость кристаллической решетки. Тепловое расширение твердых тел.

#### **Тема 4. Основы зонной теории твердых тел**

Обобществление электронов в кристалле. Энергетический спектр электронов в твердых телах. Движение электронов в периодическом поле кристаллической решетки, эффективная масса электронов. Деление твердых тел на диэлектрики, полупроводники и металлы. Собственные полупроводники. Понятие о дырке. Примесные полупроводники. Некристаллические твердые тела. Неупорядоченные системы. Ближний и дальний порядок. Энергетические состояния электронов в неупорядоченных твердых телах. Плотность состояний. Локализация Андерсена. Переход Андерсена. Порог подвижности.

#### **Тема 5. Статистика свободных носителей заряда в твердых телах**

Статистический подход к описанию микрочастиц. Распределение электронов по состояниям, функция плотности состояний. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Вырожденные и невырожденные коллективы частиц. Статистика электронов в металлах. Уровень Ферми и его связь с концентрацией носителей в невырожденных полупроводниках. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках. Компенсированные полупроводники. Сильно легированные полупроводники. Закон действующих масс.

#### **Тема 6. Неравновесные носители заряда в полупроводниках**

Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Скорость генерации и скорость рекомбинации. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Эффективный коэффициент диффузии. Диффузионная длина. Диффузия в случае монополярной генерации. Дебаевская длина экранирования.

#### **Тема 7. Кинетические явления в твердых телах**

Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации.

Дрейф свободных носителей заряда в твердых телах. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Время релаксации и подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния. Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов.

#### **Тема 8. Сверхпроводимость**

Сверхпроводящее состояние. Идеальный диамагнетизм. Энергетическая щель. Эффект Джозефсона. Критическое магнитное поле и критическая плотность тока. Глубина проникновения магнитного поля. Сверхпроводники I и II рода. Высокотемпературные сверхпроводники.

#### **Тема 9. Магнитные свойства твердых тел**

Магнитные моменты атомов и магнитные свойства твердых тел. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм свободного электронного газа. Уровни Ландау. Парамагнетизм Паули. Природа ферромагнетизма. Магнитное упорядочение. Спонтанная намагниченность. Обменное взаимодействие. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Доменная структура, механизмы намагничивания, гистерезис.

### **5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

| № п/п | Наименование обеспечиваемых дисциплин | № № тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых дисциплин (вписываются разработчиком) |        |        |        |        |        |  |  |  |
|-------|---------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|
|       |                                       | Тема 2   | Тема 3 | Тема 4 | Тема 6 | Тема 7 | Тема 9 |  |  |  |
| 1.    | Физика диэлектриков                   |  |        |        |        |        |        |  |  |  |

### 5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий

| №<br>п/п | Наименование раздела<br>Наименование темы                    | Виды занятий в часах |                |        |              |     |       |
|----------|--|----------------------|----------------|--------|--------------|-----|-------|
|          |  | Лекц.                | Практ.<br>зан. | Семина | Лаб.<br>зан. | СРС | Всего |
| 1        | <b>Введение</b>  |                      | 2              |        |              | 4   | 6     |
| 2        | <b>Классификация твердых тел по типам связи</b>              |                      | 4              |        |              | 4   | 8     |
| 3        | <b>Тепловые колебания кристаллической решетки</b>            |                      | 6              |        |              | 4   | 10    |
| 4        | <b>Основы зонной теории твердых тел</b>                      |                      | 4              |        |              | 4   | 8     |
| 5        | <b>Статистика свободных носителей заряда в твердых телах</b> |                      | 4              |        |              | 4   | 8     |
| 6        | <b>Неравновесные носители заряда в полупроводниках</b>       |                      | 4              |        |              | 4   | 8     |
| 7        | <b>Кинетические явления в твердых телах</b>                  |                      | 4              |        |              | 4   | 8     |
| 8        | <b>Сверхпроводимость</b>                                     |                      | 4              |        |              | 4   | 8     |
| 9        | <b>Магнитные свойства твердых тел</b>                        |                      | 4              |        |              | -   | 4     |

## 6. Перечень практических занятий

### 6.1. План самостоятельной работы студентов

| №<br>п/п | № раздела и<br>темы дисциплины (модуля) | Наименование семинаров, практических и лабораторных работ   | Трудоемкость<br>(часы) | Оценочные<br>средства | Формируемые<br>компетенции |
|----------|---|---|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1        | 2                                       | 3   | 4                      | 5                     | 6                          |
| 1        | <b>Тема 1</b>                           | Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики конденсированного состояния. Связь дисциплины с другими разделами. | 2                      |                       | ПК-1                       |
| 2        | <b>Тема 2</b>                           | Типы химических связей. Металлические, ионные, кристаллы.   | 2                      |                       | ПК-1                       |
| 3        | <b>Тема 2</b>                           | Типы химических связей. Ковалентные, молекулярные. Энергия связи кристаллической решетки.   | 4                      |                       | ПК-1                       |
| 4        | <b>Тема 3</b>                           | Гармонические колебания кристаллической решетки. Нормальные моды. Спектр колебаний кристаллической решетки.                       | 2                      |                       | ПК-1                       |

|    |               |   |   |  |      |
|----|---------------|---|---|--|------|
| 5  | <b>Тема 3</b> | Акустические и оптические колебания. Квантовая теория колебаний кристаллической решетки. Фононы. Энергия и импульс фонона. Статистика фононов.  | 2 |  | ПК-1 |
| 6  | <b>Тема 4</b> | Обобществление электронов в кристалле. Энергетический спектр электронов в твердых телах. Движение электронов в периодическом поле кристаллической решетки, эффективная масса электронов. Деление твердых тел на диэлектрики, полупроводники и металлы. Собственные полупроводники. Понятие о дырке. Примесные полупроводники. | 4 |  | ПК-1 |
| 7  | <b>Тема 4</b> | Некристаллические твердые тела. Неупорядоченные системы. Ближний и дальний порядок. Энергетические состояния электронов в неупорядоченных твердых телах. Плотность состояний. Локализация Андерсена. Переход Андерсена. Порог подвижности.  | 2 |  | ПК-1 |
| 8  | <b>Тема 5</b> | Статистический подход к описанию микрочастиц. Распределение электронов по состояниям, функция плотности состояний. Функции распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Вырожденные и невырожденные коллективы частиц.   | 2 |  | ПК-1 |
| 9  | <b>Тема 5</b> | Статистика электронов в металлах. Уровень Ферми и его связь с концентрацией носителей в невырожденных полупроводниках. Температурная зависимость концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках. Компенсированные полупроводники. Сильно легированные полупроводники. Закон действующих масс.                      | 2 |  | ПК-1 |
| 10 | <b>Тема 6</b> | Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Скорость генерации и скорость рекомбинации. Механизмы рекомбинации.  | 2 |  | ПК-1 |
| 11 | <b>Тема 6</b> | Диффузия и дрейф неравновесных носителей в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Диффу-   | 2 |  | ПК-1 |

|    |               |  |   |  |      |
|----|---------------|--|---|--|------|
|    |               | зионный и дрейфовый токи. Эффективный коэффициент диффузии. Диффузионная длина. Диффузия в случае монополярной генерации. Дебаевская длина экранирования.  |   |  |      |
| 12 | <b>Тема 7</b> | Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Дрейф свободных носителей заряда в твердых телах. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Время релаксации и подвижность свободных носителей. | 2 |  | ПК-1 |
| 13 | <b>Тема 7</b> | Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния. Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов.  | 2 |  | ПК-1 |
| 14 | <b>Тема 8</b> | Сверхпроводящее состояние. Идеальный диамагнетизм. Энергетическая щель. Эффект Джозефсона.   | 2 |  | ПК-1 |
| 15 | <b>Тема 8</b> | Критическое магнитное поле и критическая плотность тока. Глубина проникновения магнитного поля. Сверхпроводники I и II рода. Высокотемпературные сверхпроводники.  | 2 |  | ПК-1 |
| 16 | <b>Тема 9</b> | Магнитные моменты атомов и магнитные свойства твердых тел. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм свободного электронного газа. Уровни Ландау.  | 2 |  | ПК-1 |
| 17 | <b>Тема 9</b> | Парамагнетизм Паули. Природа ферромагнетизма. Магнитное упорядочение. Спонтанная намагниченность. Обменное взаимодействие. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Доменная структура, механизмы намагничивания, гистерезис.       | 2 |  | ПК-1 |

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов



Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию;
- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

**1) овладеть знаниями:**

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и др. справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно-методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

**2) закреплять и систематизировать знания:**

- работа с конспектом лекции;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных литературных источников;
- тестирование и др.;

**3. формировать умения:**

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;
- подготовка к курсовым работам.

**7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии):**

*не предусматривается*

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

**Основная литература**

1. Щербаченко Л.А. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Учебно-методическое пособие в 2-х частях. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 98с. (50 экз.)

2. Щербаченко Л.А. Физика конденсированного состояния. Часть 2. Учебно-методическое пособие в 2-х частях. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 95 с. (50 экз.)
3. Душутин Н.К., Моховиков А.Ю. Из истории физики конденсированного состояния. Учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. – 337 с. (8 экз.)
4. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс]: - ЭВК. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – (Учебник для высшей школы). – Режим доступа: ЭЧЗ «Библиотех». – Неогранич. доступ.

*Сверено с ИБ ИГУ*

### Дополнительная литература

1. Аграфонов Ю.В. Физика конденсированного состояния вещества. Метод функций распределения [Электронный ресурс] : - Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. – Электрон. текстовые дан. – Иркутск: Изд-во ИБ ИГУ, 2005
2. Валишев М.Г., Повзнер А.А. Курс общей физики [Электронный ресурс]. – 2010. Режим доступа: ЭБС «Издательство «Лань». – Неогранич. доступ.
3. Епифанов Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]. – 2011. Режим доступа: ЭБС «Издательство «Лань». – Неогранич. доступ.

1) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: интернет ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ [www.isu.ru](http://www.isu.ru) и физического факультета ИГУ.

2) программное обеспечение:

QTI-plot Пакет для построения графиков. Лицензия GPL

#### **базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:**

1. интернет ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ [www.isu.ru](http://www.isu.ru)
2. Сайт кафедры экспериментальной физики <http://medphysics-irk.ru>
3. Hamamatsu «Handbook of photomultipliers» [Электронный ресурс]: [https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT\\_handbook\\_v3aE.pdf](https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/PMT_handbook_v3aE.pdf)

### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Стандартные средства для представления и демонстрации презентаций.

### **10. Образовательные технологии:**

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности бакалавров для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций: на лекционных занятиях – дискуссии, индивидуальное обучение и обучение на основе опыта; на практических занятиях – дискуссия, работа в команде, индивидуальное обучение, обучение на основе опыта, исследовательский метод.

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных и интерактивных технологий;

- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Интернет-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;

- закрепление теоретического материала при проведении практических занятий с использованием демонстрационного и наглядного (графического) материалов, специальной литературы, выполнение индивидуальных заданий.

Занятия проводятся с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Имеется комплект компьютерных презентаций по всем разделам курса (авт. Шалаев А.А).

## **11. Оценочные средства (ОС):**

Фонд оценочных средств представлен в Приложении к программе

**11.1. Оценочные средства** для входного контроля (могут быть в виде тестов с закрытыми или открытыми вопросами).

**11.2. Оценочные средства текущего контроля** формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета.

Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Структура кристаллов
2. Химические связи и энергия решетки
3. Упругость кристаллов
4. Электронная теория металлов
5. Зонная структура кристаллов.
6. Полупроводники
7. Контактные явления. Потенциальные барьеры. Работа выхода
8. Точечные дефекты. Диффузия в твердых телах.
9. Неупорядоченные материалы. Атомная структура.

**Примечание:** Студент готов к экзамену, если он знает и понимает основные формулы и законы, умеет их применять для решения задач, знает методы решения задач.

## **11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации в форме экзамена.**

**Вопросы к экзамену:**

1. С какой силой взаимодействуют между собой соседние ионы цезия и хлора в кристалле хлористого цезия ?
2. Сколько атомов содержится в каждой элементарной ячейке кристалла, если она является:  
а) простой; б) объемно центрированной; в) гранецентрированной кубической ячейкой?
3. Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, объемноцентрированной и гранецентрированной кубической структурой?
4. Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой и плотноупакованной гексагональной структурой?
5. Показать, что для идеальной гексагональной структуры с плотной упаковкой  $c/a = 1,633$ .

6. Доказать, что направление  $[hkl]$  в кубической решетке нормально к плоскости  $(hkl)$ .
7. Какие плоскости в структуре гранцентрированного куба и объемноцентрированного куба имеют наибольшую плотность упаковки атомов? В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
8. Вычислить минимальную длину волны Дебая в титане, если его характеристическая температура  $5^\circ\text{C}$ , а скорость распространения звука  $6 \cdot 10^3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .
9. Какова максимальная энергия фононов в кристалле свинца, если характеристическая температура его  $94 \text{ K}$ ?
10. Какова удельная теплоемкость цинка при  $100^\circ\text{C}$ ?
11. Удельная теплоемкость алюминия при  $20^\circ\text{C}$  равна  $840 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Выполняется ли при этой температуре для него закон Дюлонга и Пти?
12. Вычислить удельную теплоемкость алмаза при температуре  $30\text{K}$ .
13. Как образуются зоны разрешенных энергий электронов в кристаллах?
- 14. Каковы длины волн де Бройля для электрона, движущегося у верхнего или нижнего края свободной зоны?**
15. В чем смысл адиабатического и одноэлектронного приближений при решении уравнения Шредингера для электрона в кристалле? Вид волновой функции и энергии в рамках этих приближений.
16. Что такое зона Бриллюэна? Сформулируйте правило построения зон Бриллюэна.
17. Сущность приближений почти свободных и почти связанных электронов. Какие основные выводы можно сделать из решения уравнения Шредингера этими методами. Какие еще методы решения вы знаете?
18. Чем отличаются зонные схемы для полупроводников, диэлектриков и металлов?
19. Перечислите различные типы локальных уровней энергии электронов в запрещенной зоне.
20. Что понимается под идеальной кристаллической решеткой? Как идеальная решетка воздействует на движение электрона по кристаллу?
21. Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл.
22. Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом
23. Понятие полупроводника, металла, диэлектрика в зонной теории.
24. Что такое водородоподобная модель примесных состояний?
- 25. В кристалле кремния массой  $120 \text{ г}$  равномерно по объему распределены  $25,7 \mu\text{кг}$  фосфора и  $38,2 \mu\text{кг}$  галлия. Считая, что атомы примеси полностью ионизированы, вычислить удельное сопротивление кристалла.**
26. Объясните, как вычисляется концентрация электронов в зоне проводимости собственного полупроводника или диэлектрика. Какова зависимость этой концентрации от температуры?
27. Как влияет температура на концентрацию свободных электронов в примесном полупроводнике?
28. Сопротивление кристалла  $\text{PbS}$  при температуре  $20^\circ\text{C}$  равно  $10^4 \text{ Ом}$ . Определить его сопротивление при температуре  $+80^\circ\text{C}$ .
29. Каковы особенности заполнения электронами локальных уровней в запрещенной зоне?
30. Вычислите плотность тока термоэлектронной эмиссии  $j$  (при равном нулю электрическом поле) для вольфрама при температуре  $2500\text{K}$ .
31. Начертите зонную схему, соответствующую контакту металл - полупроводник  $n$ -типа для случая, когда термодинамическая работа выхода электрона из полупроводника больше, чем из металла.
32. Чем объясняется искривление энергетических зон у поверхности полупроводника?

**Разработчик:**



к.ф.-м.н., доцент С.М. Зубрицкий

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

«\_16\_» \_\_июня\_\_2016 г.

Протокол № 1 Зав. кафедрой



д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.