

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

Факультет прикладной математики и механики  
Кафедра «Общая физика»



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

Н. В. Лобов

2016 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Физика твёрдого тела»**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Программа академического бакалавриата

Направление 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

Профиль программы бакалавриата

Волоконная оптика

Квалификация выпускника:

бакалавр

Выпускающая кафедра:

Общая физика

Форма обучения:

очная

Курс: 3.

Семестр: 5

Трудоёмкость:

- |                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| - кредитов по рабочему учебному плану: | 4 ЗЕ  |
| - часов по рабочему учебному плану:    | 144 ч |

Виды контроля:

Экзамен: - Дифференцированный  
зачёт: - 5 семестр

Курсовой проект: - Курсовая работа: - 5 семестр

Пермь

2016

**Учебно методический комплекс дисциплины «Физика твёрдого тела» разрабо-  
тан на основании:**

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика» (уровень бакалавриат), утверждённого министерством образования и науки Российской Федерации «3» сентября 2015 г., приказ № 958;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», профилю «Волоконная оптика», утверждённой «14» сентября 2016 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», профилю «Волоконная оптика», утверждённого 28.04.2016 г.

**Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин «Математика», «Физика», «Химия», «Экология», «Электротехника и электроника», «Специальные разделы математики 1», «Специальные разделы математики 2», «Специальные разделы математики 3», «Механика сплошных сред», «Теплофизика», «Спектроскопия и рефрактометрия оптических материалов», «Дифракционная оптика», «Оптическая физика», «Оптическое материаловедение», «Специальные разделы физики», «Нелинейная оптика», «Волоконно-оптические измерения», «Производственная практика (по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности)», «Преддипломная практика», участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.**

Разработчик                      канд. физ.-мат. наук, доцент                                            /Г.Н. Вотинов/

Рецензент                      канд. физ.-мат.наук, доцент      /Д.В. Баяндин/

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей физики  
«21» сентября 2016 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой,  
ведущей дисциплину  
канд. физ.-мат. наук, доцент

/Г.Н. ВОТИНОВ/

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией факультета прикладной математики и механики «22» сентября 2016 г., протокол № 2.

Председатель учебно-методической комиссии  
факультета прикладной математики и механики  
канд. физ.-мат. наук, доцент

/Э.В. Плехова/

СОГЛАСОВАНО

Начальник управления образовательных программ, канд. техн. наук, доцент

/Д.С. Репецкий/

## 1. Общие положения

**1.1. Цель учебной дисциплины** «Физика твёрдого тела» состоит в том, чтобы сформировать у студентов представление об основных положениях физики твердого тела, которые являются естественно-научным базисом подготовки бакалавров по направлению «Фотоника и оптоинформатика», об особенностях структуры кристаллов, о роли, которую играет симметрия при объяснении свойств твёрдых тел, развить у студентов системное понимание.

Наибольшее внимание уделяется двум группам вопросов. В одну входит взаимодействие излучения с веществом, энергетика электронных и колебательных возбуждений, трансформация возбуждений в материалах с разной степенью упорядоченности. Другая группа охватывает рассмотрение разных типов дефектов в материалах и роль дефектов в формировании свойств твёрдых тел.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет части следующих компетенций по направлениям подготовки ВО:

- способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);
- способность к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике (ПК-3)

### 1.2. Задачи дисциплины

В результате изучения дисциплины обучающийся должен (проектируемые результаты освоения дисциплины)

*знать:*

- систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для характеристики структуры и свойств твёрдых тел;
- об особенностях колебательных спектров твёрдых тел, методах их описания и экспериментального исследования;
- об особенностях исследования структуры твёрдых тел с помощью как классических дифракционных, так и новейших микроскопических методов;
- о зонной структуре кристаллов, о квантово-статистических подходах описания их свойств;
- об основных типах дефектов твёрдых тел, о структурных моделях, используемых при описании дефектов и о влиянии дефектов на физические свойства кристаллов;

*уметь:*

- объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических теорий;
- работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;
- использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;

- определять ширину запрещённой зоны полупроводника;
- снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, *p-n*-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник;
- применять физические законы, математические методы и вычислительную технику для решения практических задач;
- применять навыки работы со справочной литературой по физико-химическим свойствам кристаллов для учебно-методических целей или для научной работы;

*владеть:*

- принципами и методами математического описания физических явлений и процессов, построения их математических моделей;
- навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;
- методами обработки и интерпретирования результатов эксперимента;
- методами физического моделирования в инженерной практике.

### **1.3. Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:**

- элементы симметрии структуры и свойства твёрдых тел;
- экспериментальные дифракционные методы;
- сканирующая зондовая микроскопия;
- дефекты в твёрдых телах;
- квантовые статистики для электронного, фотонного и фононного газа;
- колебания в твёрдом теле и их оптические свойства;
- понятие о квантовой теории электропроводности металлов;
- сверхпроводимость;
- зонная теория твёрдых тел;
- полупроводники.

### **1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физика твёрдого тела» относится к вариативной части блока 1 и является дисциплиной по выбору при освоении ОПОП по профилю программы бакалавриата «Волоконная оптика» направления ВО 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика».

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1 – Дисциплины, направленные на формирование компетенций

| Код                                 | Наименование компетенции                                                                                                                                                  | Предшествующие дисциплины                                                                                                                                                                          | Последующие дисциплины (группы дисциплин)                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                |
| ОПК-1                               | способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики | Математика, Физика, химия, Электротехника и электроника, Специальные разделы математики 1, Специальные разделы математики 2, Специальные разделы математики 3, Механика сплошных сред, Теплофизика | Экология, Спектроскопия и рефрактометрия оптических материалов, Дифракционная оптика                                                                                                                           |
| ПК-3                                | способность к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике                                                                                 | Оптическая физика, Специальные разделы физики                                                                                                                                                      | Оптическое материаловедение, Нелинейная оптика, Волоконно-оптические измерения, Производственная практика (по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности), Преддипломная практика |

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

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ОПК-1 и ПК-3.

### 2.1. Дисциплинарная карта компетенции ОПК-1

|                                    |                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Код</b><br>ОПК-1                | <b>Формулировка компетенции:</b><br>способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики            |
| <b>Код</b><br>ОПК-1.<br>Б1.ДВ.04.1 | <b>Формулировка дисциплинарной части компетенции:</b><br>способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов физики твердого тела |

### Требования к компонентному составу части компетенции

| Код                        | Перечень компонентов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Виды учебной работы                                                                               | Средства оценки                                       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                            | <b>В результате освоения компетенции студент</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                   |                                                       |
| ОПК-1-<br>Б1.ДВ.04.1-<br>3 | <b>Знает:</b><br>– систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для характеристики структуры и свойств твёрдых тел;<br>– методы исследования физических свойств оптических материалов;<br>– основные характеристики современных источников излучения;<br>– физические эффекты, принципы, элементы и устройства для управления светом в оптических материалах и волноводных структурах | Лекции.<br>Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.                 | Текущее и рубежное тестирование.<br>Дифф. зачёт.      |
| ОПК-1-<br>Б1.ДВ.04.1-<br>у | <b>Умеет:</b><br>– применять основные типы источников излучения в фотонике;<br>– объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических                                                                                                                                                                                                                     | Самостоятельная работа по подготовке к выполнению лабораторных работ. Выполнение курсовой работы. | Защита лабораторных работ.<br>Защита курсовой работы. |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                   |                                                       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                            | теорий;<br>– работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;<br>– использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                   |                                                       |
| ОПК-1-<br>Б1.ДВ.04.1-<br>в | <b>Владеет:</b><br>– навыками работы со справочной литературой по физико-химическим свойствам кристаллов для учебно-методических целей или для научной работы;<br>– методами математического описания физических явлений и процессов в кристалле, построения их математических моделей;<br>– навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;<br>– современными методиками исследования основных физических свойств материалов в фотонике;<br>– методами обработки результатов эксперимента | Самостоятельная работа по подготовке к выполнению лабораторных работ. Выполнение курсовой работы. | Защита лабораторных работ.<br>Защита курсовой работы. |

## 2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

|                    |                                                                                                                               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Код</b><br>ПК-3 | <b>Формулировка компетенции:</b><br>способность к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                   |                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Код</b><br>ПК-3.<br>Б1.ДВ.04.1 | <b>Формулировка дисциплинарной части компетенции:</b><br>способность собрать электрическую схему лабораторной установки и оптимально выбрать способ контроля параметров |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Требования к компонентному составу части компетенции

| Код | Перечень компонентов                      | Виды учебной работы | Средства оценки |
|-----|-------------------------------------------|---------------------|-----------------|
|     | В результате освоения компетенции студент |                     |                 |

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                   |                                                                          |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ПК-3-<br>Б1.ДВ.04.1-<br>з | <b>Знает:</b><br>– методы анализа электрических цепей постоянного и переменного тока;<br>– о зонной структуре кристаллов, о квантово-статистических подходах описания их свойств                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Лекции.<br>Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.                 | Текущее и рубежное тестирование. Защита лабораторных работ. Дифф. зачёт. |
| ПК-3-<br>Б1.ДВ.04.1-<br>у | <b>Умеет:</b><br>– пользоваться современными средствами измерения и контроля и обосновывать выбор таких средств для решения конкретных задач;<br>– работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;<br>– использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;<br>– определять ширину запрещённой зоны полупроводника;<br>– снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, <i>p-n</i> -переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник | Самостоятельная работа по подготовке к выполнению лабораторных работ. Выполнение курсовой работы. | Защита лабораторных работ. Защита курсовой работы.                       |
| ПК-3-<br>Б1.ДВ.04.1-<br>в | <b>Владеет:</b><br>– способами применения измерительных приборов электрических цепей постоянного и переменного тока;<br>– навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;<br>– методами обработки результатов эксперимента                                                                                                                                                                                                                                                    | Самостоятельная работа по подготовке к выполнению лабораторных работ. Выполнение курсовой работы. | Защита лабораторных работ. Защита курсовой работы.                       |



### 3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 4 ЗЕ. Количество часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Объём и виды учебной работы

| №<br>п.п. | Виды учебной работы                                                                                        | Трудоёмкость |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|
|           |                                                                                                            | 5 семестр    | всего      |
| 1         | 2                                                                                                          | 3            | 4          |
| 1         | <b>Аудиторная работа (контактная работа)</b>                                                               | 36           | 36         |
|           | -в том числе в интерактивной форме                                                                         | 16           | 16         |
|           | - лекции (Л)                                                                                               | 16           | 16         |
|           | -в том числе в интерактивной форме                                                                         | 16           | 16         |
|           | - лабораторные работы (ЛР)                                                                                 | 18           | 18         |
|           | -в том числе в интерактивной форме                                                                         | 0            | 0          |
|           | Контроль самостоятельной работы (КСР)                                                                      | 2            | 2          |
| 2         | <b>Самостоятельная работа студентов (СРС)</b>                                                              | 108          | 108        |
|           | - изучение теоретического материала                                                                        | 36           | 36         |
|           | - подготовка к выполнению и защите лабораторных работ (ЗЛР)                                                | 36           | 36         |
|           | - курсовая работа                                                                                          | 36           | 36         |
| 3         | Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине:<br><b>дифференцированный зачёт</b> | 0            | 0          |
| 4         | <b>Трудоёмкость дисциплины, всего:</b>                                                                     |              |            |
|           | <b>в часах (ч)</b>                                                                                         | <b>144</b>   | <b>144</b> |
|           | <b>в зачётных единицах (ЗЕ)</b>                                                                            | <b>4</b>     | <b>4</b>   |

## 4 Содержание учебной дисциплины

### 4.1 Модульный тематический план

Таблица 4.1 – Тематический план по модулям учебной дисциплины

| Номер<br>учеб-<br>ного<br>мо-<br>дуля | Номер<br>раз-<br>дела<br>дисци-<br>пли-<br>ны | Номер<br>темы<br>дисциплины | Количество часов (очная форма обучения)<br>и виды занятий |     |    |    |     |               |     | Трудоём-<br>кость,<br>ч / ЗЕ |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----|----|----|-----|---------------|-----|------------------------------|
|                                       |                                               |                             | аудиторная работа                                         |     |    |    |     | Конт-<br>роль | СРС |                              |
|                                       |                                               |                             | всего                                                     | Л   | ПЗ | ЛР | КСР |               |     |                              |
| 1                                     | 2                                             | 3                           | 4                                                         | 5   | 6  | 7  | 8   | 9             | 10  | 11                           |
| 1                                     | 1                                             | Введение                    | 0,5                                                       | 0,5 |    |    |     |               |     | 0,5                          |
|                                       |                                               | 1                           | 7,5                                                       | 3,5 |    | 4  |     |               | 20  | 27,5                         |
|                                       |                                               | 2                           | 3                                                         | 2   |    |    | 1   |               | 4   | 7                            |
|                                       | Итого по модулю:                              |                             | 11                                                        | 6   | -  | 4  | 1   |               | 24  | 35                           |
| 2                                     | 2                                             | 3                           | 3                                                         | 3   |    |    |     |               | 4   | 7                            |
|                                       | 3                                             | 4                           | 3                                                         | 3   |    |    |     |               | 4   | 7                            |
|                                       |                                               | 5                           | 17,5                                                      | 3,5 |    | 14 |     |               | 76  | 93,5                         |
|                                       |                                               | Заключе-<br>ние             | 1,5                                                       | 0,5 |    |    | 1   |               |     | 1,5                          |
|                                       | Итого по модулю:                              |                             | 25                                                        | 10  | -  | 14 | 1   |               | 84  | 109                          |
| Промежуточная<br>аттестация           |                                               |                             |                                                           |     |    |    |     |               |     |                              |
| Всего:                                |                                               |                             | 36                                                        | 16  | -  | 18 | 2   |               | 108 | 144 / 4                      |

### 4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

#### Модуль 1. Элементы кристаллографии

#### Раздел 1. Структура твёрдых тел. Дефекты в твёрдых телах

Л – 6 ч, ЛР - 4 ч, СРС – 24 ч.

**Введение.** Предмет, цели и задачи курса.

Тема 1. Симметрия структуры и свойств твёрдых тел.

Трансляционная симметрия кристаллов. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решётки Браве. Простые и сложные решётки. Элементы точечной симметрии. Ограничения, накладываемые на точечную симметрию кристаллов. Классы кристаллов. Псевдокристаллы. Обратная решётка, связь параметров прямой и обратной решёток. Зоны Бриллюэна. Индексы Миллера. Условия дифракции рентгеновских лучей. Геометрическая интерпретация Эвальда. Формула Вульфа-Брегга.

Экспериментальные дифракционные методы. Метод Лауэ. Метод Дебая. Методики, использующие рассеяние нейтронов и электронов. Характеризация структуры стёкол. Функция радиального распределения.

Ионный проектор. Сканирующая зондовая микроскопия. Туннельные микроскопы.

## Тема 2. Дефекты в твёрдых телах.

Классификация дефектов. Точечные дефекты Вакансии. Равновесные и неравновесные дефекты решётки. Центры окраски. Модель F-центра. Агрегатные центры.

Дислокации. Пластическая деформация, скольжение. Плоскости скольжения. Причины введения представления о дислокациях. Краевые и винтовые дислокации. Экспериментальные методы наблюдения дислокаций. Плотность дислокаций. Упругое поле дислокаций. Остаточные напряжения. Взаимодействие дислокаций. Движение дислокаций. Дислокации и рост кристаллов. Дислокационные границы кристаллических блоков.

## **Модуль 2. Квантово-механическое описание свойств твёрдых тел**

### **Раздел 2. Квантовые статистики**

Л – 3 ч, СРС – 4 ч.

#### Тема 3. Квантовые статистики.

Уравнение Шрёдингера для системы частиц. Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Фермионы и бозоны. Система  $N$  невзаимодействующих тождественных частиц. Принцип Паули.

Квантовые статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Фазовое пространство. Свойства квантовых распределений. Число фазовых ячеек.

Распределение Ферми-Дирака для электронов в металле. Нахождение энергии Ферми.

Фотонный газ в замкнутой полости. Формула Планка для равновесного излучения абсолютно черного тела

Теплоёмкость твёрдых тел. Теории теплоёмкости: классическая, Эйнштейна и Дебая. Фононный газ в кристалле.

### **Раздел 3. Колебания в твёрдом теле. Электронные возбуждения в твердых телах. Оптические свойства твердых тел**

Л – 7 ч, ЛР - 14 ч, СРС – 80 ч.

#### Тема 4. Колебания в твёрдом теле.

Колебания линейной цепочки с одним и двумя атомами в примитивной ячейке. Оптические и акустические колебания. Классификация колебаний трёхмерной решётки. Спектр колебательных частот твёрдого тела. Модель Дебая. Представление о фононах. Анггармонизм колебаний. Гармоническое приближение. Тепловое расширение. Нормальные колебания и взаимодействие фононов. Тепловое равновесие. Баллистический и диффузионный режимы

распространения фононов. Теплопроводность. Тепловое расширение твёрдых тел. Анггармоническая составляющая.

Тема 5. Электронные возбуждения в твердых телах и их оптические свойства.

Закон Видемана-Франца. Электронная (классическая) теория электропроводности металлов. Понятие о квантовой теории электропроводности металлов.

Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Изотопический эффект. Теория Боголюбова. Теория Купера (БКШ). Сверхпроводники I и II рода. Эффект Джозефсона.

Зонная теория твёрдых тел. Приближения сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории

Уравнение движения электрона в кристалле. Эффективная масса электрона в кристалле. Зависимость эффективной массы электрона от волнового числа.

Полупроводники. Собственная и примесная проводимость. Энергия активации. Энергия и уровень химического потенциала (Ферми). Фотопроводимость. Эффект Холла.

Закон действующих масс. Концентрация собственных носителей.

$p$ - $n$  переход. Физические процессы в  $p$ - $n$  – переходе. Пропускной и запирающий слои. Вольт – амперная характеристика  $p$ - $n$  –перехода. Виды пробоя. Контакт металл – полупроводник. Применение.

**Заключение.**

#### **4.3 Перечень тем практических занятий**

Не предусмотрены.

#### **4.4 Перечень тем лабораторных работ**

Таблица 4.2 – Темы лабораторных работ

| № п.п. | Номер темы дисциплины | Наименование темы лабораторной работы                      |
|--------|-----------------------|------------------------------------------------------------|
| 1      | 2                     | 3                                                          |
| 1      | 1                     | Выращивание кристаллов из растворов                        |
| 2      | 5                     | Определение ширины запрещенной зоны полупроводника         |
| 3      | 5                     | Исследование электропроводности полупроводников и металлов |
| 4      | 5                     | Изучение физических процессов в $p$ - $n$ переходе         |
| 5      | 5                     | Изучение явления туннельного пробоя в $p$ - $n$ переходе   |

|   |   |                                                                                                                                       |
|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | 5 | Изучение физических процессов, возникающих в контакте металл-полупроводник                                                            |
| 7 | 5 | Изучение эффекта Холла в примесных полупроводниках: измерение концентрации и подвижности основных носителей тока, типа полупроводника |

## 5. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Изучение дисциплины осуществляется в течение одного семестра, график изучения дисциплины приводится в п. 7.
5. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

| Номер темы дисциплины | Вид самостоятельной работы студентов                | Трудоёмкость, часов |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|
| 1                     | 2                                                   | 3                   |
| 1 - 5                 | Изучение теоретического материала                   | 36                  |
| 1, 5                  | Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ | 36                  |
| 3 - 5                 | Выполнение курсовой работы                          | 36                  |
|                       | Итого:<br>в ч / в 3Е                                | 108 / 3             |

### 5.1. Изучение теоретического материала.

#### Тематика вопросов, изучаемых самостоятельно

Тема 1. Экспериментальные дифракционные методы. Метод Лауэ. Метод Дебая. Методики, использующие рассеяние нейтронов и электронов. Характеризация структуры стёкол. Функция радиального распределения. Ионный проектор. Сканирующая зондовая микроскопия. Туннельные микроскопы.

Тема 2. Экспериментальные методы наблюдения дислокаций. Плотность дислокаций. Упругое поле дислокаций. Остаточные напряжения.

Взаимодействие дислокаций. Движение дислокаций. Дислокации и рост кристаллов. Дислокационные границы кристаллических блоков.

Тема 3. Уравнение Шрёдингера для системы частиц. Теплоёмкость твёрдых тел. Теории теплоёмкости: классическая и Эйнштейна.

Тема 4. Ангармонизм колебаний атомов в решётке. Гармоническое приближение. Тепловое расширение твёрдых тел. Ангармоническая составляющая.

Тема 5. Закон Видемана-Франца. Электронная (классическая) теория электропроводности металлов. Полупроводники. Собственная и примесная проводимость. Энергия активации. Энергия и уровень химического потенциала (Ферми). Фотопроводимость. Эффект Холла.  $p$ - $n$  переход. Физические процессы в  $p$ - $n$  – переходе. Пропускной и запирающий слои. Вольт – амперная характеристика  $p$ - $n$  –перехода. Виды пробоя. Контакт металл – полупроводник. Применение.

Подготовка к ЛР, оформление отчета, подготовка к сдаче отчета и теории к ЛР

Тема 1. Трансляционная симметрия кристаллов. Прimitивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решётки Браве. Простые и сложные решётки. Элементы точечной симметрии. Ограничения, накладываемые на точечную симметрию кристаллов. Классы кристаллов.

Тема 5. Зонная теория твёрдых тел. Приближения сильной и слабой связи. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории. Собственная и примесная проводимость. Энергия активации. Фотопроводимость. Эффект Холла.  $p$ - $n$  переход. Физические процессы в  $p$ - $n$  – переходе. Пропускной и запирающий слои. Вольт – амперная характеристика  $p$ - $n$  –перехода. Виды пробоя. Контакт металл – полупроводник. Применение.

Подготовка к контрольным работам, тестированию  
Теория тем 1 - 5.

## **5.2. Курсовая работа**

Примерные темы курсовых работ:

1. Экспериментальное изучение спектра спонтанного излучения оптоволоконного, легированного эрбием.
2. Сборка и определение характеристик волоконного лазера.
3. Сборка волоконного усилителя и определение оптимальной длины активного волокна.
4. Экспериментальное исследование двоконверсионных свойств кристалла ниобата лития.
5. Экспериментальное изучение эффекта Фарадея в оптоволокне: определение зависимости постоянной вращения от величины магнитного поля.
6. Экспериментальное изучение эффекта Поккельса в оптоволокне.

7. Экспериментальное изучение эффекта Керра в оптоволокне.
8. Волоконные Брэгговские решётки и изоляторы. Экспериментальное определение их спектральных характеристик.
9. Скалывание и сварка различных типов оптоволокна. Экспериментальное определение коэффициента поглощения сварного шва.
10. Экспериментальное измерение изгибных потерь в оптоволокне.
11. Экспериментальное изучение спектральных характеристик различных типов оптоволокна.
12. Экспериментальное изучение влияния внешних факторов на поляризационно-модовую дисперсию.

### **5.3. Реферат**

Не предусмотрен

### **5.4 Расчётно-графические работы**

Не предусмотрены

### **5.5. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций**

Виды образовательных технологий, используемые для формирования компетенций:

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором учащиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности учащихся на достижение целей занятия.

## **6 Фонд оценочных средств дисциплины**

### **6.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций**

Текущий контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится в следующих формах:

- опрос, проверочная работа для анализа усвоения материала предыдущей лекции, тестирование;
- оценка работы студента на лекционных и лабораторных занятиях.

## 6.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Рубежный контроль освоения дисциплинарных компетенций проводится по окончании модулей дисциплины в следующих формах:

- защита лабораторных работ (модуль 1: тема 1; модуль 2: тема 5);
- контрольная работа (модуль 1, 2);
- компьютерное тестирование (модуль 1, 2);
- защита курсовой работы (модуль 2).

## 6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

### 1) Дифференцированный зачёт по дисциплине

- зачёт с оценкой по дисциплине проводится в виде собеседования по двум, случайно выбранным, вопросам из списка (см. ниже). Допуск к зачёту: выполнение и защита всех лабораторных работ, положительная оценка за контрольную работу.

### 2) Дифференцированный зачёт по курсовой работе

- зачёт с оценкой выставляется отдельно по результатам защиты курсовой работы.

### Вопросы для подготовки к зачёту по дисциплине

1. Агрегатное состояние вещества. Кристаллические и аморфные твёрдые тела, их принципиальные отличия. Моно и поликристаллы. Кристаллическая решётка. Элементарная кристаллическая ячейка. Примитивная ячейка. Простая и сложная решётка. Ячейка Вигнера-Зейтца, её особенность. Понятие трансляционной и точечной симметрии.
2. Элементы точечной симметрии. Ограничения, накладываемые на точечную симметрию кристаллов. Понятие группы точечной симметрии, класса симметрии и пространственной группы симметрии кристаллов. Решётки Браве, условия для их выбора.
3. Кристаллографические индексы направлений. Индексы узлового направления. Индексы Миллера. Обратная решётка, связь параметров прямой и обратной решёток. Свойства обратной решётки.
4. Обратная решётка. Условия дифракции рентгеновских лучей (по Лауэ и через вектор обратной решётки). Геометрическая интерпретация Эвальда. Формула Вульфа-Брегга.
5. Экспериментальные дифракционные методы, их принципиальное различие. Как по дифракционной картине качественно различить монокристаллическое, поликристаллическое и аморфное состояние вещества. Метод Лауэ. Метод Дебая.
6. Ионный проектор. Сканирующая зондовая микроскопия, технические сложности. Техника сканирующей зондовой микроскопии (схема орга-



- низации системы обратной связи зондового микроскопа; сканеры; устройства для прецизионных перемещений зонда и образца).
7. Сканирующая зондовая микроскопия, технические сложности. Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий (от вибраций, акустических шумов, стабилизация термодрейфа положения зонда над поверхностью). Сканирующий туннельный микроскоп, атомно-силовой микроскоп и их методы.
  8. Дефекты. Классификация точечных дефектов. Центры окраски: схема и модель  $F$ -центра. Термодинамически равновесные и неравновесные дефекты. Классификация линейных дефектов. Дислокации, их виды. Экстраплоскость, плоскость скольжения, плоскость сдвига. Движение краевой дислокации. Причины введения представления о дислокациях. Плотность дислокаций.
  9. Дефекты: точечные, линейные, поверхностные, объёмные. Термодинамически равновесные и неравновесные дефекты. Классификация поверхностных и объёмных дефектов. Образование дефектов. Экспериментальные методы наблюдения дислокаций.
  10. Уравнение Шрёдингера для системы частиц. Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Фермионы и бозоны. Система  $N$  невзаимодействующих тождественных частиц. Принцип Паули.
  11. Квантовые статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Фазовое пространство. Свойства квантовых распределений. Число фазовых ячеек.
  12. Распределение Ферми-Дирака для электронов в металле. Нахождение энергии Ферми.
  13. Фотонный газ в замкнутой полости. Формула Планка для равновесного излучения абсолютно черного тела
  14. Теплоёмкость твёрдых тел. Классическая, Эйнштейна и Дебая. Фононный газ в кристалле.
  15. Сила отталкивания и потенциальная энергия взаимодействия атомов. Физические типы кристаллов. Колебания и волны в простой одномерной решётке.
  16. Колебания и волны в сложной одномерной решётке. Оптические и акустические колебания (ветви дисперсии). Частные случаи, следствия (для длинных и коротких волн в оптической и акустической ветвях)
  17. Нормальные моды колебаний в кристалле. Условия Борна-Кармана. Нормальные координаты.
  18. Тепловое расширение твёрдых тел. Ангармоническая составляющая. Коэффициент линейного теплового расширения.
  19. Теплопроводность твёрдых тел. Механизмы переноса тепла в диэлектриках и металлах. Баллистический и диффузионный режимы распространения фононов. Нормальный процесс и процесс переброса. Зависимость теплопроводности фононного газа от температуры .
  20. Закон Видемана-Франца. Электронная (классическая) теория электропроводности металлов. Понятие о квантовой теории электропроводно-

сти металлов.

- 21.Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Изотопический эффект. Теория Боголюбова. Теория Купера (БКШ). Сверхпроводники I и II рода. Эффект Джозефсона.
- 22.Зонная теория твёрдых тел. Приближения сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории
- 23.Уравнение движения электрона в кристалле. Эффективная масса электрона в кристалле. Зависимость эффективной массы электрона от волнового числа.
- 24.Полупроводники. Собственная и примесная проводимость. Энергия активации. Энергия и уровень химического потенциала (Ферми). Фотопроводимость. Применение.
- 25.Закон действующих масс. Концентрация собственных носителей.
- 26.*p-n* переход. Физические процессы в *p-n* – переходе. Пропускной и запирающий слои. Вольт – амперная характеристика *p-n* –перехода. Виды пробоя. Контакт металл – полупроводник. Применение.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы оценки, критерии оценивания, перечень контрольных точек и таблица планирования результатов обучения, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входят в состав РПД в виде приложения.

#### 6.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1 - Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

| Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)                                                                           | Вид контроля |    |          |    |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----|----------|----|-------------|
|                                                                                                                                | ТТ           | РТ | Курс раб | ЛР | Дифф. зачёт |
| <b>В результате освоения компетенции студент</b>                                                                               |              |    |          |    |             |
| <b>Знает:</b>                                                                                                                  |              |    |          |    |             |
| – систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для характеристики структуры и свойств твёрдых тел | +            | +  |          |    | +           |
| – методы исследования физических свойств оптических материалов                                                                 | +            | +  |          |    | +           |
| – основные характеристики современных источников излучения                                                                     | +            | +  |          |    | +           |
| – физические эффекты, принципы, элементы и устройства для управления светом в оптических материалах и волноводных структурах   | +            | +  |          |    | +           |
| – методы анализа электрических цепей по-                                                                                       |              |    |          | +  |             |

|                                                                                                                                            |   |   |   |   |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|
| стоянного и переменного тока                                                                                                               |   |   |   |   |   |
| – о зонной структуре кристаллов, о квантово-статистических подходах описания их свойств                                                    | + | + |   |   | + |
| <b>Умеет:</b>                                                                                                                              |   |   |   |   |   |
| – применять основные типы источников излучения в фотонике                                                                                  |   |   | + |   |   |
| – объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических теорий;                    |   |   | + |   |   |
| – работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;                                                                 |   |   | + | + |   |
| – использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;                                               |   |   | + | + |   |
| – пользоваться современными средствами измерения и контроля и обосновывать выбор таких средств для решения конкретных задач                |   |   | + | + |   |
| – определять ширину запрещённой зоны полупроводника;                                                                                       |   |   |   | + |   |
| – снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, р-п-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник       |   |   |   | + |   |
| <b>Владеет:</b>                                                                                                                            |   |   |   |   |   |
| – навыками работы со справочной литературой по физико-химическим свойствам кристаллов для учебно-методических целей или для научной работы |   |   | + |   |   |
| – методами математического описания физических явлений и процессов в кристалле, построения их математических моделей                       |   |   | + |   |   |
| – навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;                                    |   |   | + | + |   |
| – современными методиками исследования основных физических свойств материалов в фотонике                                                   |   |   | + |   |   |
| – методами обработки результатов эксперимента;                                                                                             |   |   | + | + |   |
| – способами применения измерительных приборов электрических цепей постоянного и переменного тока                                           |   |   |   | + |   |

\*ТТ – текущее тестирование (контроль знаний по теме);

РТ – рубежное тестирование по модулю (автоматизированная система контроля знаний);

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине

[illegible]

## 8. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 8.1 Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

|                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Б1.ДВ4.1 Физика твёрдого тела</b><br><small>(индекс и полное название дисциплины)</small>                                                                                               | <b>Блок 1. Дисциплины (модули)</b>                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/> базовая часть блока<br><input checked="" type="checkbox"/> вариативная часть блока                                                                                                                                     | <input type="checkbox"/> обязательная<br><input checked="" type="checkbox"/> по выбору студента                                                                                                                                            |
| <b>12.03.03</b><br><small>(код направления подготовки / специальности)</small>                                                                                                             | <b>Фотоника и оптоинформатика / Волоконная оптика</b><br><small>(полное название направления подготовки / специальности)</small>                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>ФОП</b><br><small>(аббревиатура направления / специальности)</small>                                                                                                                    | Уровень подготовки: <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;"> <input type="checkbox"/> специалист<br/> <input checked="" type="checkbox"/> бакалавр<br/> <input type="checkbox"/> магистр         </div> | Форма обучения: <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> очная<br/> <input type="checkbox"/> заочная<br/> <input type="checkbox"/> очно-заочная         </div> |
| <b>2016</b><br><small>(год утверждения учебного плана ОПОП)</small>                                                                                                                        | Семестр: <u>5</u>                                                                                                                                                                                                                               | Количество групп: <u>1</u><br>Количество студентов: <u>15</u>                                                                                                                                                                              |
| <b>Вотинов Г.Н.</b><br><small>(фамилия, имя, отчество преподавателя)</small><br>Прикладной математики и механики<br><small>(факультет)</small><br>Общей физики<br><small>(кафедра)</small> |                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>доцент</b><br><small>(должность)</small><br><br><b>89028347973</b><br><small>(контактная информация)</small>                                                                                                                            |

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

| №                                          | Библиографическое описание<br>(автор, заглавие, вид издания, место, издательство,<br>год издания, количество страниц)                                                                                         | Количество<br>экземпляров<br>в библиотеке |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1                                          | 2                                                                                                                                                                                                             | 3                                         |
| <b>1. Основная литература</b>              |                                                                                                                                                                                                               |                                           |
| 1                                          | Физика твердого тела: учебное пособие для втузов / И. К. Верещагин [и др.]; Под ред. И.К. Верещагина.— М.: МЭИ, 2010.                                                                                         | 48                                        |
| 2                                          | Физическое материаловедение Т. 1 Физика твёрдого тела / Елманов Г. Н., Залужный А. Г., Скрытний В. И., Смирнов Е. А. Москва : Изд-во МИФИ, 2012.                                                              | 1                                         |
| <b>2. Дополнительная литература</b>        |                                                                                                                                                                                                               |                                           |
| <b>2.1. Учебные и научные издания</b>      |                                                                                                                                                                                                               |                                           |
| 1                                          | Павлов, П.В. Физика твердого тела: учебник для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов.— М.: Высш. шк., 2000.                                                                                                        | 102                                       |
| 2                                          | Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников: учебное пособие для вузов / А.И. Ансельм.— 3-е изд., стер.— СПб : Лань, 2008.— 618 с.: ил.                                                                   | 8                                         |
| 3                                          | Гинзбург И.Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела: учебное пособие / И. Ф. Гинзбург.— СПб: Лань, 2007.— 537 с.: ил. | 5                                         |
| 4                                          | Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие для вузов / В.А. Гуртов, Р. Н. Осауленко; Под ред. Л.А. Алешиной.— Москва: Техносфера, 2007.— 518 с.: ил.                                    | 12                                        |
| <b>2.2. Периодические издания</b>          |                                                                                                                                                                                                               |                                           |
|                                            | Не используются                                                                                                                                                                                               |                                           |
| <b>2.3. Нормативно-технические издания</b> |                                                                                                                                                                                                               |                                           |
|                                            | Не используются                                                                                                                                                                                               |                                           |
| <b>2.4. Официальные издания</b>            |                                                                                                                                                                                                               |                                           |
|                                            | Не используются                                                                                                                                                                                               |                                           |

| <b>2.5. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                     | <b>Электронная библиотека</b> Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014- . – Режим доступа: <a href="http://elib.pstu.ru/">http://elib.pstu.ru/</a> . – Загл. с экрана. |
| 2                                                                                                                     | <b>Электронный каталог</b> Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [библиогр. база данных о всех видах лит., поступивших в фонд НБ ПНИПУ]. – Электрон. текстовые дан. – Пермь, 2015. – Режим доступа: <a href="http://zgate.pstu.ru">http://zgate.pstu.ru</a> , свободный. – Загл. с экрана.   |
| 3                                                                                                                     | <b>Научная Электронная Библиотека eLibrary</b> [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных : электрон. журн. на рус., англ., нем. яз. : реф. и наукометр. база данных] / <a href="#">Науч. электрон. б-ка</a> . – Москва, 1869- . – Режим доступа: <a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a> . – Загл. с экрана.                                         |

### Основные данные об обеспеченности «14» ноября 2016 г..

(дата составления рабочей программы)

Основная литература

☒

обеспечена

☐

не обеспечена

Дополнительная литература

☒

обеспечена

☐

не обеспечена

Зав. отделом комплектования  
научной библиотеки



Н.В. Тюрикова

Данные об обеспеченности на

\_\_\_\_\_ (дата контроля литературы)

Основная литература

☐

обеспечена

☐

не обеспечена

Дополнительная литература

☐

обеспечена

☐

не обеспечена

Зав. отделом комплектования  
научной библиотеки

\_\_\_\_\_

Н.В. Тюрикова

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

8.3.1. Перечень программного обеспечения, в том числе компьютерные обучающие и контролирующие программы

Таблица 8.1 – Используемые аудио- и видео-пособия

| Вид аудио-, видео-пособия |            |        |               | Наименование учебного пособия |
|---------------------------|------------|--------|---------------|-------------------------------|
| теле-фильм                | кино-фильм | слайды | аудио-пособие |                               |
| 1                         | 2          | 3      | 4             | 5                             |
|                           |            | +      |               | Курс лекций                   |

СПИСОК ИЗДАНИЙ  
АКТУАЛИЗИРОВАН  
14.11.16   
дата подпись

## 9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

### 9.1 Специализированные лаборатории и классы

Таблица 9.1 – Специализированные лаборатории и классы

| № п.п. | Помещения                                       |                          |                 | Площадь, м <sup>2</sup> | Количество посадочных мест |
|--------|-------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------|
|        | Название                                        | Принадлежность (кафедра) | Номер аудитории |                         |                            |
| 1      | 2                                               | 3                        | 4               | 5                       | 6                          |
| 1      | Лаборатория фотоники (с комплектом компьютеров) | ОФ                       | 252, гл.к.      | 48                      | 20                         |
| 2      | Мультимедийная учебная аудитория                | ОФ                       | 253, гл.к.      | 34                      | 30                         |

### 9.2 Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

| № п.п. | Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката) | Кол-во, ед. | Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.) | Номер аудитории |
|--------|-------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1      | 2                                                           | 3           | 4                                                                                    | 5               |
| 1      | Модульный учебный комплекс МУК-ТТ1 "Физика твердого тела"   | 6           | Оперативное управление                                                               | 252, гл.к.      |



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Физика твердого тела»**  
основной профессиональной образовательной программы высшего  
образования – программы академического бакалавриата

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Направление подготовки:** 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

**Профиль программы  
бакалавриата:** Волоконная оптика

**Квалификация  
выпускника:** «Бакалавр»

**Выпускающая кафедра:** Общая физика

**Форма обучения:** Очная

**Курс:** 3

**Семестр:** 5

**Трудоёмкость:**

|                                      |     |    |
|--------------------------------------|-----|----|
| Кредитов по рабочему учебному плану: | 4   | ЗЕ |
| Часов по рабочему учебному плану:    | 144 | ч. |

**Виды промежуточного контроля:**

Дифференцированный зачёт: 5 семестр

Курсовая работа: - 5 семестр

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «**Физика твердого тела**» и разработан на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.;
- приказа ПНИПУ от 03.12.2015 № 3363-В «О введении структуры ФОС»;

## **1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения**

### **1.1. Формируемые части компетенций**

Согласно КМВ ОПОП учебная дисциплина Б1.В.11 «Физика твердого тела» участвует в формировании 2-х компетенций: ОПК-1, ПК-3. В рамках учебного плана образовательной программы в 5-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. **ОПК-1.Б1.ДВ.04.1.** Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов физики твердого тела.
2. **ПК-3.Б1.ДВ.04.1.** Способность собрать электрическую схему лабораторной установки и оптимально выбрать способ контроля параметров.

### **1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (5-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты дисциплинарных компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачете. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

| Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Вид контроля |          |     |                   |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-----|-------------------|----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Текущи<br>й  | Рубежный |     | Промежуточн<br>ый |    |
| Усвоенные знания. Знает:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | С, ТО        | Т        | ОЛР | Дифф.<br>зачет    | КР |
| <b>3.1</b> – систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для характеристики структуры и свойств твёрдых тел; методы исследования физических свойств оптических материалов; основные характеристики современных источников излучения; физические эффекты, принципы, элементы и устройства для управления светом в оптических материалах и волноводных структурах                                                                                                                        | +            | +        |     | +                 | +  |
| <b>3.2</b> – методы анализа электрических цепей постоянного и переменного тока; о зонной структуре кристаллов, о квантово-статистических подходах описания их свойств                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | +            | +        |     | +                 | +  |
| <b>Освоенные умения. Умеет:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |          |     |                   |    |
| <b>У.1</b> – применять основные типы источников излучения в фотонике; объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических теорий; работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных;                                                                                                                                                      |              |          | +   |                   |    |
| <b>У.2</b> – пользоваться современными средствами измерения и контроля и обосновывать выбор таких средств для решения конкретных задач; работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных; определять ширину запрещённой зоны полупроводника; снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, р-п-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник                    |              |          | +   |                   |    |
| <b>Приобретенные владения. Владеет:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |          |     |                   |    |
| <b>В.1</b> – навыками работы со справочной литературой по физико-химическим свойствам кристаллов для учебно-методических целей или для научной работы; методами математического описания физических явлений и процессов в кристалле, построения их математических моделей; навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории; современными методиками исследования основных физических свойств материалов в фотонике; методами обработки результатов эксперимента |              |          | +   |                   | +  |
| <b>В.2</b> – способами применения измерительных приборов электрических цепей постоянного и переменного тока; навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории; методами обработки результатов эксперимента                                                                                                                                                                                                                                                       |              |          | +   |                   |    |

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т – рубежное тестирование; КР – курсовая работа.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## 2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

### 2.1. Текущий контроль

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### 2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты лабораторных работ и рубежных тестирований (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### 2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 7 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС бакалаврской программы.

#### 2.2.2. Рубежное тестирование

Согласно РПД запланировано 2 рубежных тестирования после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первое тестирование по модулю 1 «Элементы кристаллографии», второе тестирование – по модулю 2 «Квантово-механическое описание свойств твёрдых тел».

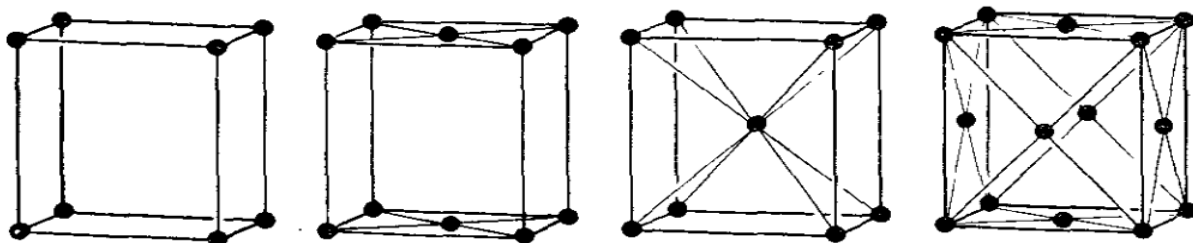
Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения по дисциплине, формирующих дисциплинарные части компетенций

### Вопросы для контроля усвоенных знаний:

*а) перечень вопросов для оценивания дисциплинарной части компетенции ОПК-1.Б1.ДВ.04.1:*

#### Модуль 1.

##### 1. Базоцентрированная ячейка кристалла.

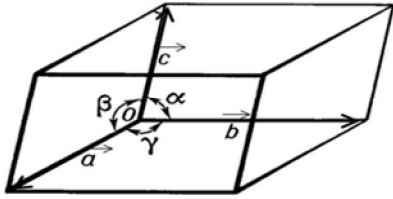


- а)                                      б)                                      в)                                      г)

2. Осям симметрии какого порядка не бывает?

- а)  $L_2$ ;                      б)  $L_3$ ;                      в)  $L_4$ ;                      г)  $L_5$ ;                      д)  $L_6$ .

3. Общий вид элементарной ячейки.



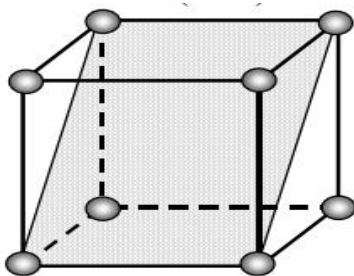
Для моноклинной системы справедливо:

- а)  $a \neq b \neq c \neq a, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq \alpha \neq 90^\circ$ ;      б)  $a \neq b \neq c \neq a, \alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma \neq 120^\circ$ ;  
 в)  $a \neq b \neq c \neq a, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ;                      г)  $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ;  
 д)  $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma < 120^\circ \neq 90^\circ$

4. Вид кристаллографической системы, у которой ось симметрии третьего порядка.

- а) тетрагональная; б) моноклинная; в) орторомбическая;  
 г) триклинная;                      д) тригональная

5. Индексы Миллера для выделенной плоскости



- а) (100);      б) (200);      в) (012);      г) (111);      д) (101)

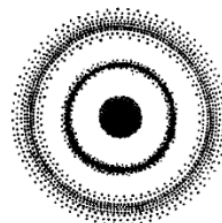
6. Какое из перечисленных свойств обратной решётки неверно?

- а) плоскость, имеющая индексы Миллера  $(h, k, l)$ , перпендикулярна вектору обратной решётки  $h\vec{b}_1 + k\vec{b}_2 + l\vec{b}_3$ ;  
 б) объём элементарной ячейки обратной решётки обратно пропорционален объёму элементарной ячейки прямой решётки;  
 в) прямая решётка является обратной по отношению к своей обратной;  
 г) обратная решётка является зеркальным отражением своей прямой решётки;

д) элементарная ячейка обратной решётки не обязательно представляет собой параллелепипед.

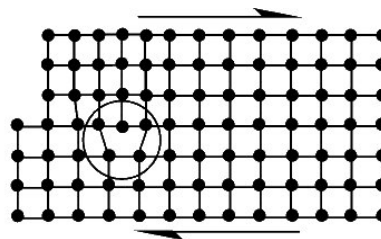
7. Изучив угловое распределение интенсивности рассеяния исследуемым веществом излучения, определите – в каком состоянии находится твердое тело:

- а) в монокристаллическом;
- б) в поликристаллическом;
- в) в аморфном;
- г) данных недостаточно.



8. Опишите принцип работы туннельного микроскопа. Методы постоянного тока и постоянной высоты.

9. Укажите вид дислокации и направление её движения (влево, вправо, вверх, вниз) при указанных касательных нагрузках.



10. Приведите пример поверхностных дефектов.

## Модуль 2. Вариант 1

1. Сформулируйте Принцип неразличимости тождественных частиц.
2. Чему равен спин фонона?
3. Какие частицы описываются симметричными волновыми функциями?
4. Объекты изучения квантовых статистик.
5. Как определить среднее число частиц в одной фазовой ячейке с энергией  $E_i$  для бозонов? Пример.
6. Какая средняя энергия приходится на одну степень свободы частицы в классической теории теплоёмкости твёрдого тела?
7. Сформулируйте физическую идею (Дебая), позволившую уточнить теорию (Эйнштейна) теплоёмкости твёрдых тел.
8. Существуют ли фононы в вакууме? Почему?

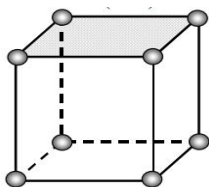
б) перечень вопросов для оценивания дисциплинарной части компетенции ПК-3.Б1.ДВ.04.1:

1. Как рассматривается Механизм переноса тепла в диэлектриках согласно квантовой теории
2. Год открытия явления сверхпроводимости
  - а) 1908;
  - б) 1911;
  - в) 1928;
  - г) 1934;
  - д) 1945.
3. Эффект Мейснера
4. Чему равен заряд куперовской пары
5. В чем заключается *Адиабатическое приближение* в Зонной теории твердых тел
6. В чем заключается *приближение слабой связи* в Зонной теории твердых тел
7. Теорема Блоха
8. Валентная зона
9. Какие полупроводники называются собственными?

#### Задания для контроля усвоенных умений:

а) перечень вопросов для оценивания дисциплинарной части компетенции ОПК-1.Б1.ДВ.04.1:

1. Определите индексы Миллера для выделенной плоскости



2. Как связана концентрация частиц в интервале энергий  $[E, E + \delta E]$  с числом фазовых ячеек в единице объёма?
3. Определите интервал импульсов электронов, соответствующий интервалу энергий  $[E, E + \delta E]$ .
4. Определите интервал импульсов фотонов, соответствующий интервалу энергий  $[E, E + \delta E]$ .
5. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий  $[E, E + \delta E]$  для электронов.
6. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий  $[E, E + \delta E]$  для фотонов.
7. Определите число фазовых ячеек в интервале энергий  $[E, E + \delta E]$  для фононов.

б) перечень вопросов для оценивания дисциплинарной части компетенции ПК-3.Б1.ДВ.04.1:

1. Начертить электрические схемы для проведения измерений электрического сопротивления полупроводника с использованием генератора тока и с использованием генератора напряжения. В каком случае необходимо использовать ограничивающее сопротивление и почему?

2. Как экспериментально определить ширину запрещённой зоны полупроводника?

3. Как снимать вольт-амперную характеристику металлов, полупроводников, р-п-переходов (прямых и обратных), контактов металл-полупроводник.

4. Как зависит собственная электропроводность полупроводников от температуры (количественно).

5. Как зависит электропроводность металлов от температуры.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежного тестирования приведены в общей части ФОС бакалаврской программы.

### **2.3. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации в форме дифференцированного зачета осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.3.1. Процедура промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета и защиты курсовой работы. Зачет проводится в устной форме по билетам. Билет включает два теоретических вопроса.

#### **2.3.2. Типовые вопросы для дифференцированного зачета по дисциплине:**

27. Агрегатное состояние вещества. Кристаллические и аморфные твёрдые тела, их принципиальные отличия. Моно и поликристаллы. Кристаллическая решётка. Элементарная кристаллическая ячейка. Прimitивная ячейка. Простая и сложная решётка. Ячейка Вигнера-Зейтца, её особенность. Понятие трансляционной и точечной симметрии.
28. Элементы точечной симметрии. Ограничения, накладываемые на точечную симметрию кристаллов. Понятие группы точечной симметрии, класса симметрии и пространственной группы симметрии кристаллов. Решётки Браве, условия для их выбора.
29. Кристаллографические индексы направлений. Индексы узлового направления. Индексы Миллера. Обратная решётка, связь параметров прямой и обратной решёток. Свойства обратной решётки.
30. Обратная решётка. Условия дифракции рентгеновских лучей (по Лауэ и через вектор обратной решётки). Геометрическая интерпретация Эвальда. Формула Вульфа-Брегга.



31. Экспериментальные дифракционные методы, их принципиальное различие. Как по дифракционной картине качественно различить монокристаллическое, поликристаллическое и аморфное состояние вещества. Метод Лауэ. Метод Дебая.
32. Ионный проектор. Сканирующая зондовая микроскопия, технические сложности. Техника сканирующей зондовой микроскопии (схема организации системы обратной связи зондового микроскопа; сканеры; устройства для прецизионных перемещений зонда и образца).
33. Сканирующая зондовая микроскопия, технические сложности. Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий (от вибраций, акустических шумов, стабилизация термодрейфа положения зонда над поверхностью). Сканирующий туннельный микроскоп, атомно-силовой микроскоп и их методы.
34. Дефекты. Классификация точечных дефектов. Центры окраски: схема и модель  $F$ -центра. Термодинамически равновесные и неравновесные дефекты. Классификация линейных дефектов. Дислокации, их виды. Экстраплоскость, плоскость скольжения, плоскость сдвига. Движение краевой дислокации. Причины введения представления о дислокациях. Плотность дислокаций.
35. Дефекты: точечные, линейные, поверхностные, объёмные. Термодинамически равновесные и неравновесные дефекты. Классификация поверхностных и объёмных дефектов. Образование дефектов. Экспериментальные методы наблюдения дислокаций.
36. Уравнение Шрёдингера для системы частиц. Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Фермионы и бозоны. Система  $N$  невзаимодействующих тождественных частиц. Принцип Паули.
37. Квантовые статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Фазовое пространство. Свойства квантовых распределений. Число фазовых ячеек.
38. Распределение Ферми-Дирака для электронов в металле. Нахождение энергии Ферми.
39. Фотонный газ в замкнутой полости. Формула Планка для равновесного излучения абсолютно черного тела
40. Теплоёмкость твёрдых тел. Классическая, Эйнштейна и Дебая. Фононный газ в кристалле.
41. Сила отталкивания и потенциальная энергия взаимодействия атомов. Физические типы кристаллов. Колебания и волны в простой одномерной решётке.
42. Колебания и волны в сложной одномерной решётке. Оптические и акустические колебания (ветви дисперсии). Частные случаи, следствия (для длинных и коротких волн в оптической и акустической ветвях)
43. Нормальные моды колебаний в кристалле. Условия Борна-Кармана. Нормальные координаты.
44. Тепловое расширение твёрдых тел. Ангармоническая составляющая.

- Коэффициент линейного теплового расширения.
45. Теплопроводность твёрдых тел. Механизмы переноса тепла в диэлектриках и металлах. Баллистический и диффузионный режимы распространения фононов. Нормальный процесс и процесс переброса. Зависимость теплопроводности фононного газа от температуры.
  46. Закон Видемана-Франца. Электронная (классическая) теория электропроводности металлов. Понятие о квантовой теории электропроводности металлов.
  47. Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Изотопический эффект. Теория Боголюбова. Теория Купера (БКШ). Сверхпроводники I и II рода. Эффект Джозефсона.
  48. Зонная теория твёрдых тел. Приближения сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Металлы, диэлектрики и полупроводники по зонной теории
  49. Уравнение движения электрона в кристалле. Эффективная масса электрона в кристалле. Зависимость эффективной массы электрона от волнового числа.
  50. Полупроводники. Собственная и примесная проводимость. Энергия активации. Энергия и уровень химического потенциала (Ферми). Фотопроводимость. Применение.
  51. Закон действующих масс. Концентрация собственных носителей.
  52.  $p$ - $n$  переход. Физические процессы в  $p$ - $n$  – переходе. Пропускной и запирающий слои. Вольт – амперная характеристика  $p$ - $n$  – перехода. Виды пробоя. Контакт металл – полупроводник. Применение.

### 2.3.3. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета и курсовой работы для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС бакалаврской программы.

### 3. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются следующие критерии.

$$ОЗ = 0.5 \cdot ОЗЗ + 0.3 \cdot ОЗР + 0.2 \cdot ОЗТ,$$

где ОЗ – общая оценка уровня сформированности знаний, ОЗЗ – оценка знаний при ответе на билет зачета, ОЗР – средняя оценка знаний при рубежных тестированиях, ОЗТ – оценка знаний при текущем контроле

(Все оценки по 4-х бальной шкале 2,3,4,5)

$$ОУ = ОУЛ,$$

где ОУ - общая оценка уровня сформированности умений, ОУЛ – оценка умений по итогам защиты лабораторных работ

$$ОВ = ОВЛ,$$

где ОВ – общая оценка уровня сформированности владений, ОВЛ – оценка владений по итогам защиты лабораторных работ.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется по следующей формуле:

$$О = 0,6 \cdot ОЗ + 0,2 \cdot ОУ + 0,2 \cdot ОВ.$$



Кафедра Общая Физика

**«Физика твердого тела»**

Экзамен: - Дифференцированный Курсовой проект: - Курсовая работа: - **5 семестр**  
зачёт: - **5 семестр**

**Методические указания по освоению дисциплины** обучающимися являются частью УМК (приложением 2 к рабочей программе) дисциплины **«Физика твердого тела»** и разработаны на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного «29» апреля 2014 г.;

### **1. Рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса**

Учебно-методический комплекс дисциплины (УМК) включает в себя:

- рабочую программу дисциплины (РПД);
- фонд оценочных средств (ФОС) – Приложение 1 к РПД;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины – Приложение 2 к РПД (настоящий документ);
- учебно-методические разработки: методические рекомендации по изучению теоретического материала и выполнению практических работ, электронные образовательные ресурсы.

РПД – учебная программа, утвержденная научно-методическим советом направления (НМСН) для изучения дисциплины. Она определяет цели и задачи дисциплины, формируемые в ходе ее изучения компетенции и их компоненты, содержание изучаемого материала, виды занятий и объем выделяемого учебного времени, а также порядок изучения и преподавания учебной дисциплины.

Для самостоятельной учебной работы студента важное значение имеют разделы «Содержание дисциплины» и «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины». В первом указываются разделы и темы изучаемой дисциплины, а также виды занятий и планируемый объем (в академических часах), во втором – рекомендуемая литература и электронные образовательные ресурсы. Работая с РПД, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемой учебной литературе и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля, приведенных в учебно-методических материалах;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего и промежуточного контроля;

- каждому часу аудиторных занятий в РПД соответствует 2 часа самостоятельной работы для выполнения домашнего задания.

ФОС дисциплины предназначены для использования обучающимися и вузом при оценивании результативности и качества учебного процесса, образовательных программ, степени их адекватности условиям будущей профессиональной деятельности.

ФОС текущего контроля используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) студентов. В условиях рейтинговой системы контроля результаты текущего оценивания студента используются как показатель его текущего рейтинга.

ФОС промежуточной (семестровой) аттестации обучающихся по модулю (дисциплине) предназначен для оценки степени достижения запланированных ре-

зультатов обучения по завершению изучения дисциплины в установленной учебным планом форме: экзамен, зачет, курсовая работа (проект).

Учебно-методические разработки – учебные материалы различного вида и назначения, разработанные сотрудниками кафедры или взятые из внешних источников, которые рекомендуются для использования студентами при изучении теоретического курса, решении практических задач. Эти материалы доступны студенту в электронной форме в режиме чтения. Сканировать фрагменты учебно-методических разработок и вставлять в свою работу запрещается.

Следует понимать, что учебно-методические разработки отражают лишь основное содержание изучаемой дисциплины и без проработки учебной литературы не могут обеспечить требуемый объем знаний. Особое внимание следует уделять выполняемым практическим работам и соответствующим комментариям, изложенным в методических рекомендациях.

## **2. Описание последовательности действий студента**

Приступая к изучению дисциплины необходимо в первую очередь ознакомиться содержанием РПД, где в разделе «Содержание дисциплины» приведено общее распределение часов аудиторных занятий и самостоятельной работы по темам дисциплины и видам занятий.

Залогом успешного освоения дисциплины является посещение лекционных и практических занятий, лабораторных работ. Пропуск одного, а тем более, нескольких занятий может осложнить освоение разделов курса.

Лекции имеют целью дать систематизированные основы научных знаний по содержанию дисциплины. При изучении и проработке теоретического материала необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- при самостоятельном изучении теоретической темы подготовить конспект, используя рекомендованные в РПД литературные источники и электронные образовательные ресурсы (ЭОР);
- ответить на контрольные вопросы по теме, представленной в учебно-методической разработке, входящей в состав УМК;
- при подготовке к текущему контролю использовать материалы ФОС;
- при подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы ФОС (раздел "Вопросы для проведения промежуточной аттестации").

Практические занятия (лабораторные работы, семинары, занятия по решению задач) проводятся с целью углубления и закрепления знаний, полученных на лекциях и в процессе самостоятельной работы над нормативными документами, учебной и научной литературой, посредством выполнения экспериментальных исследований и других практических работ.

При подготовке к практическому занятию необходимо:

- изучить или повторить лекционный материал по соответствующей теме;
- изучить материалы учебно-методических разработок лабораторного практикума по заданной теме, уделяя особое внимание методике экспериментального измерения;
- при выполнении домашних расчетных заданий изучить, повторить типовые задания, выполнявшиеся на аудиторных занятиях.

Просмотр учебных видеофильмов может проводиться в ходе любых видов занятий. Он имеет целью дать наглядное представление об изучаемых явлениях и технических разработках, основанных на этих явлениях.

### **3. Виды контроля, контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

#### **3.1. Текущий контроль**

Текущий контроль осуществляется в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

Результаты оценки успеваемости заносятся в книжку преподавателя и доводятся до сведения студентов. Студентам, не получившим зачетное количество баллов по текущему контролю, выдаются дополнительные задания на зачетном занятии в промежуточную аттестацию.

В случае пропусков занятий студенты должны представить конспект пропущенного занятия и пройти собеседование по его теме.

#### **3.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания уровня знаний, умений и владений студентов проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в формах выполнения и защиты лабораторных работ, а также проведения контрольной работы или тестирования после изучения каждого модуля учебной дисциплины.

##### **3.2.1. Защита лабораторных работ**

Защита лабораторных работ позволяет оценить умение и владение обучающегося излагать суть поставленной задачи, самостоятельно ставить эксперимент, проводить анализ результата работы, обрабатывать экспериментальные данные. Трудоемкость лабораторных работ указана в РПД. По результатам выполнения лабораторных работ обучающийся формирует письменный отчет. Оценка уровня сформированности компетенций производится путем проверки содержания и качества оформления отчета по каждой лабораторной работе и индивидуальной защиты полученных результатов. Шкалы и критерии оценки приведены в ФОС.

##### **3.2.2. Рубежное тестирование и контрольная работа**

Являются средством проверки умений применять полученные знания при решении задач определенного типа по разделу или модулю учебной дисциплины.

Количество проводимых контрольных мероприятий и их темы указаны в РПД. Примеры материалов для проведения рубежного контроля, шкалы и критерии оценки его результатов приведены в ФОС.

#### **3.3. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация проводится в виде выполнения и защиты курсовой работы и сдачи дифференцированного зачета.

##### **3.3.1. Курсовая работа**

Защита курсовой работы – форма промежуточной аттестации учебно-исследовательской работы студента за пройденный этап обучения по учеб-

ной дисциплине. Выполнение курсовой работы призвано выявить способности студентов на основе полученных знаний самостоятельно решать конкретные практические задачи или проводить исследование по одному из разделов (модулей) дисциплины, а также направлено на формирование соответствующих компетенций студента.

Примерный перечень тем курсовых работ, а также задание на выполнение курсовой работы приведены в РПД учебной дисциплины. Критерии и шкалы оценивания даны в ФОС.

По результатам защиты курсового проекта (работы) выставляется интегральная оценка по 4-х балльной шкале оценивания, которая распространяется на все запланированные образовательные результаты.

Обучающиеся получают тему курсовой работы из числа тем, предложенных преподавателем или предложенных в инициативном порядке. Защита курсовой работы происходит в индивидуальном порядке в виде доклада с презентацией.

### **3.3.2. Дифференцированный зачет**

Условием допуска к дифференцированному зачету является успешная сдача всех лабораторных работ, а также положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Дифференцированный зачёт проводится письменно в форме теоретических вопросов с развернутым ответом. Билет содержит 2 теоретических вопроса для проверки усвоенных знаний и умений. Полный перечень теоретических вопросов хранится на выпускающей кафедре.

Шкалы и критерии оценки результатов промежуточной аттестации приведены в ФОС. Итоговая оценка по дисциплине определяется как сумма оценок, полученных в ходе текущего и рубежного контроля, а также результатов ответа на вопросы теста. Проверка ответов и объявление результатов производится в день сдачи теста. Результаты аттестации заносятся в зачетную ведомость и зачетную книжку студента (при получении оценки). Студенты, не прошедшие промежуточную аттестацию по графику сессии, должны ликвидировать задолженность в установленном порядке.

## **4. Критерии оценивания уровня сформированности дисциплинарных компетенций и их компонентов**

### **4.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций**

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля на экзамене считается, что полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.

### **4.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций**

Общая оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и



рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

### **5. Рекомендации по работе с литературой и источниками**

Работу с литературой следует начинать с анализа РПД, содержащей список основной и дополнительной литературы, а также знакомства с учебно-методическими разработками, входящими в состав УМК.

В случае возникновения затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, где изложение может оказаться более доступным.

Работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

## Лист регистрации изменений

| №<br>п.п. | Содержание изменения                                                                                                                                                                                          | Дата,<br>номер протокола<br>заседания<br>кафедры.<br>Подпись<br>заведующего<br>кафедрой                                            |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 2                                                                                                                                                                                                             | 3                                                                                                                                  |
| 1         | <i>Обновлен состав профессиональных баз данных, информационных справочных систем и состав лицензионного программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине</i> | 01.09.2017,<br>Протокол №1<br><br>А.В. Перминов |
| 2         |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                    |
| 3         |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                    |
| 4         |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                    |