

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 29.11.2021 11:40:41  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины  
ОСНОВЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Направление подготовки

**04.03.01 Химия**

Направленность программы бакалавриата

**Физическая химия и химия материалов**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **общей физики**

Санкт-Петербург

2019

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

| Должность | Подпись | Ученое звание,<br>фамилия, инициалы |
|-----------|---------|-------------------------------------|
| Профессор |         | И.А. Куянов                         |

Рабочая программа дисциплины «Основы физики твердого тела» обсуждена на заседании кафедры общей физики

Протокол от « 04 » марта 2019 г. № 3

Заведующий кафедрой

А.В. Беляков

Одобрено учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета  
протокол от « » 2019 г. №

Председатель

А.П. Сусли

## СОГЛАСОВАНО

|  |  |                     |
|--|--|---------------------|
| Руководитель направления подготовки<br>«Основы физики твердого тела» |  | доцент С.Г. Изотова |
| Директор библиотеки  |  | Т.Н. Старостенко    |
| Начальник методического отдела<br>учебно-методического управления    |  | Т.И. Богданова      |
| Начальник УМУ  |  | С.Н. Денисенко      |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы ..... | 04 |
| 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....   | 05 |
| 3. Объем дисциплины .....   | 05 |
| 4. Содержание дисциплины .....  | 06 |
| 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....  | 06 |
| 4.2. Занятия лекционного типа.....  | 06 |
| 4.3. Занятия семинарского типа.....   | 07 |
| 4.3.1. Семинары, практические занятия .....   | 07 |
| 4.3.2. Лабораторные занятия .....   | 08 |
| 4.4. Самостоятельная работа .....   | 10 |
| 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....                                       | 11 |
| 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....   | 11 |
| 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....  | 12 |
| 8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....  | 12 |
| 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....   | 12 |
| 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....                          | 13 |
| 10.1. Информационные технологии .....   | 13 |
| 10.2. Программное обеспечение .....   | 13 |
| 10.3. Информационные справочные системы .....   | 13 |
| 11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....                                 | 13 |
| 12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....  | 13 |

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

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

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

| Код и наименование компетенции <sup>1</sup>  | Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>  | Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>   |
|--|--|--|
| <b>ПК-3</b><br>Владеет системой фундаментальных химических, физических и математических понятий. | <b>ПК-3.1</b><br>Владение фундаментальными физическими понятиями для описания физических процессов в атомной и электронной структуре твердотельных систем и их физических свойств. | <b>Знать:</b> основные физические явления и понятия, основные теоретические методы физики твердого тела; границы их применимости, назначение и принципы действия важнейших физических приборов.<br><b>Уметь:</b> объяснять основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальной физики твердого тела.<br><b>Владеть:</b> навыками применения основных методов физики твердого тела для решения естественнонаучных задач. |

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

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

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

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы<sup>4</sup>.

Дисциплина «Основы физики твердого тела» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.08) и изучается на 3 курсе в 5 семестре.

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

Полученные в процессе изучения дисциплины «Основы физики твердого тела» знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

| Вид учебной работы   | Всего,<br>ЗЕ/академ. часов |
|--|----------------------------|
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц/ академических часов) | <b>5/180</b>               |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                     | <b>117</b>                 |
| занятия лекционного типа   | 36                         |
| занятия семинарского типа, в т.ч.  | 72                         |
| семинары, практические занятия   | 36                         |
| лабораторные работы  | 36                         |
| курсовое проектирование (КР или КП)  | -                          |
| КСР  | 9                          |
| другие виды контактной работы  | -                          |
| <b>Самостоятельная работа</b>  | <b>27</b>                  |
| <b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)                        | <b>Кр</b>                  |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)                 | <b>Экзамен/36</b>          |

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

| № п/п | Наименование раздела дисциплины   | Занятия лекционного типа, академ. часы | Занятия семинарского типа, академ. часы |                     | Самостоятельная работа, академ. часы | Формируемые компетенции | Формируемые индикаторы |
|-------|---|--|---|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|
|       |   |  | Семинары и/или практические занятия     | Лабораторные работы |                                      |                         |                        |
| 1.    | Кристаллическая структура твердого тела                                 | 6                                      | 6                                       | -                   | 3                                    | ПК-3                    | ПК-3.1                 |
| 2.    | Электронная структура кристаллов. Элементы зонной теории твердого тела. | 8                                      | 8                                       | -                   | 6                                    | ПК-3                    | ПК-3.1                 |
| 3.    | Статистика электронов и дырок в полупроводниках.                        | 6                                      | 6                                       | 18                  | 4                                    | ПК-3                    | ПК-3.1                 |
| 4.    | Фононный спектр кристаллов.   | 8                                      | 8                                       | -                   | 6                                    | ПК-3                    | ПК-3.1                 |
| 5.    | Кинетические явления в кристаллах                                       | 4                                      | 4                                       | 8                   | 4                                    | ПК-3                    | ПК-3.1                 |
| 6.    | Контактные и термоэлектрические явления.                                | 4                                      | 4                                       | 10                  | 4                                    | ПК-3                    | ПК-3.1                 |

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, академ. часы | Инновационная форма <sup>5</sup> |
|----------------------|--|---------------------|----------------------------------|
| 1                    | Кристаллическая структура твердого тела. Кристаллическая решетка. Ближний и дальний порядок. Симметрия кристаллов. Прямая и обратная решетки. Дефекты кристаллической решетки. Химическая связь в кристаллах. Дифракция волн в кристаллах. | 6                   | КОП                              |

<sup>5</sup> Примеры образовательных технологий, способов и методов обучения (с сокращениями): традиционная лекция (Л), лекция-визуализация (ЛВ), проблемная лекция (ПЛ), лекция – пресс-конференция (ЛПК), занятие – конференция (ЗК), тренинг (Т), дебаты (Д), мозговой штурм (МШ), мастер-класс (МК), «круглый стол» (КрСт), активизация творческой деятельности (АТД), регламентированная дискуссия (РД), дискуссия типа форум (Ф), деловая и ролевая учебная игра (ДИ, РИ), метод малых групп (МГ), занятия с использованием тренажеров, имитаторов (Тр), компьютерная симуляция (КтСм), использование компьютерных обучающих программ (КОП), интерактивных атласов (ИА), посещение врачебных конференции, консилиумов (ВК), участие в научно-практических конференциях (НПК), съездах, симпозиумах (Сим), учебно-исследовательская работа студента (УИРС), проведение предметных олимпиад (О), подготовка письменных аналитических работ (АР), подготовка и защита рефератов (Р), проектная технология (ПТ), экскурсии (Э), дистанционные образовательные технологии (ДОТ).

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма <sup>5</sup> |
|----------------------|---|-------------------|----------------------------------|
| 2                    | Электронная структура кристаллов. Элементы зонной теории твердого тела. Приближение сильной связи. Приближение слабой связи. Локализованные состояния электрона в кристалле. Функции Ванье. Движение электрона в поле примеси. Поверхностные состояния. Экситоны. Поляроны                  | 8                 | КтСм                             |
| 3                    | Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность состояний. Функция Ферми. Концентрация электронного газа. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в полупроводниках. Собственный полупроводник. Невырожденный примесный полупроводник. Вырожденный полупроводник. | 6                 | Л                                |
| 4                    | Фононный спектр кристаллов. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке. Акустическая ветвь. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке. Оптическая ветвь. Фононы в трехмерном кристалле. Фонон-фононное взаимодействие                     | 8                 | КтСм                             |
| 5                    | Кинетические явления в кристаллах. Подвижность. Температурная зависимость электропроводности полупроводников. Фотопроводимость. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла. Сверхпроводимость.  | 4                 | Л                                |
| 6                    | Контактные и термоэлектрические явления. Контакт металл – полупроводник. Электронно-дырочный переход. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.   | 4                 | Л                                |

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
| 1                    | Кристаллическая структура твердого тела. Кристаллическая решетка. Ближний и дальний порядок. Симметрия кристаллов. Прямая и обратная решетки. Дефекты кристаллической решетки. Химическая связь в кристаллах. Дифракция волн в кристаллах. | 6                 |                     |

| №<br>раздела<br>дисциплины | Наименование темы<br>и краткое содержание занятия   | Объем,<br>акад. часы | Иновационная<br>форма |
|----------------------------|---|----------------------|-----------------------|
| 2                          | Электронная структура кристаллов. Элементы зонной теории твердого тела. Приближение сильной связи. Приближение слабой связи. Локализованные состояния электрона в кристалле. Функции Ванье. Движение электрона в поле примеси. Поверхностные состояния. Экситоны. Поляроны                  | 8                    |                       |
| 3                          | Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность состояний. Функция Ферми. Концентрация электронного газа. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в полупроводниках. Собственный полупроводник. Невырожденный примесный полупроводник. Вырожденный полупроводник. | 6                    |                       |
| 4                          | Фононный спектр кристаллов. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке. Акустическая ветвь. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке. Оптическая ветвь. Фононы в трехмерном кристалле. Фонон-фононное взаимодействие                     | 8                    |                       |
| 5                          | Кинетические явления в кристаллах. Подвижность. Температурная зависимость электропроводности полупроводников. Фотопроводимость. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла. Сверхпроводимость.  | 4                    |                       |
| 6                          | Контактные и термоэлектрические явления. Контакт металл – полупроводник. Электронно-дырочный переход. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.   | 4                    |                       |



#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Примечание |
|----------------------|---|-------------------|------------|
| 3                    | Статистика электронов и дырок в полупроводниках.<br>Лабораторная работа № 60: «Изучение внутреннего фотоэффекта».<br>Целью работы является определение концентрации электронов фотосопротивления, исследование зависимости концентрации электронов от освещенности фотосопротивления, а также определение коэффициента рекомбинации электронов и дырок.                                   | 8                 |            |
| 3                    | Статистика электронов и дырок в полупроводниках.<br>Лабораторная работа № 24: «Изучение зависимости электропроводности полупроводников от температуры, определение ширины запрещенной зоны».<br>Целью работы является изучение зависимости электропроводности полупроводника от температуры, и вычисление на основе опытных данных ширины запрещенной зоны.                               | 10                |            |
| 5                    | Кинетические явления в кристаллах.<br>Лабораторная работа № 27: «Изучение термоэлектрических свойств металлов. Градуировка термопары»<br>Целью работы является определение зависимости термоЭДС термопары от разности температур ее спаев и построение градуировочной кривой.   | 8                 |            |
| 6                    | Контактные и термоэлектрические явления.<br>Лабораторная работа № 25: «Исследование полупроводникового диода»<br>Целью работы является практическое ознакомление с устройством и работой полупроводникового диода, изучение его свойств, построение вольтамперной характеристики, определение динамических сопротивлений проводимости и запирающего, вычисление коэффициента выпрямления. | 10                |            |

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения   | Объем, акад. часы | Форма контроля                  |
|----------------------|---|-------------------|---------------------------------|
| 1                    | Кристаллическая структура твердого тела. Кристаллическая решетка. Ближний и дальний порядок. Симметрия кристаллов. Прямая и обратная решетки. Дефекты кристаллической решетки. Химическая связь в кристаллах. Дифракция волн в кристаллах.  | 3                 | проверка индивидуальных заданий |
| 2                    | Электронная структура кристаллов. Элементы зонной теории твердого тела. Приближение сильной связи. Приближение слабой связи. Локализованные состояния электрона в кристалле. Функции Ванье. Движение электрона в поле примеси. Поверхностные состояния. Экситоны. Поляроны                  | 6                 | проверка индивидуальных заданий |
| 3                    | Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность состояний. Функция Ферми. Концентрация электронного газа. Концентрация носителей заряда и положение уровня Ферми в полупроводниках. Собственный полупроводник. Невырожденный примесный полупроводник. Вырожденный полупроводник. | 4                 | проверка индивидуальных заданий |
| 4                    | Фононный спектр кристаллов. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке. Акустическая ветвь. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке. Оптическая ветвь. Фононы в трехмерном кристалле. Фонон-фононное взаимодействие                     | 6                 | проверка индивидуальных заданий |
| 5                    | Кинетические явления в кристаллах. Подвижность. Температурная зависимость электропроводности полупроводников. Фотопроводимость. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла. Сверхпроводимость.  | 4                 | проверка индивидуальных заданий |
| 6                    | Контактные и термоэлектрические явления. Контакт металл – полупроводник. Электронно-дырочный переход. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.   | 4                 | проверка индивидуальных заданий |

#### 4.4.1. Темы контрольных работ.

Элементы зонной теории твердого тела.

Кинетические явления в кристаллах.

### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков). *а задача ? должна быть в билете*

При сдаче экзамена студент получает три вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 45 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

#### Вариант № 1

1. Определить для кристаллов кубической системы угол между нормальными к плоскостям с индексами (001) и (110), (110) и (111), (001) и (111), (111) и (111), (110) и (112), (111) и (112).
2. Энергетический спектр электронов в кристалле. Приближение сильной и слабой связи.
3. Квантовый эффект Холла.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно»<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Для промежуточной аттестации в форме зачёта – «зачёт».

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

### **а) печатные издания:**

1. Мейлахс, А. П., Вуль, А. Я., Физика твердого тела: учебное пособие / А. П. Мейлахс, А. Я. Вуль ; СПбГТИ(ТУ). Каф. физ. химии. - СПб. : [б. и.], 2015. - 83 с.
2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела: учебное пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков, СПб.: Изд. Лань, 2010. - 224 с.
3. Винтайкин, Б.Е., Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов по техническим направлениям подготовки и спец. / Б. Е. Винтайкин. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. - 359 с.
4. Мартинсон, Л.К. Квантовая физика: учебное пособие для вузов по техническим направлениям и спец./ Л.К. Мартинсон, Е.В. Смирнов. - 3-е изд. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. - 527 с. - (Физика в техническом университете)
5. Мартинсон, Л.К. Квантовая физика: Учебник для вузов / Л.К. Мартинсон, Е.В. Смирнов. – М.: Изд. МГТУ им.Баумана, 2004. – 495 с.
6. Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев. – СПб. – М. – Краснодар: Лань, 2004. – 664 с.
7. Исследование полупроводникового диода : Методические указания к лабораторной работе № 25 / Т.А. Дудникова, В.Б. Осташев, Ю.А. Иванов, В.В. Кашмет; СПбГТИ(ТУ). Каф. общ. физики. – СПб.: [б.и.], 2005. – 20 с.
8. Изучение зависимости электропроводности полупроводников от температуры, определение ширины запрещенной зоны: Методические указания к лабораторной работе № 24 / В.Г. Данильченко, А.К. Мынбаева; СПбГТИ(ТУ). Каф. общ. физики. – СПб.: [б.и.], 1999. – 11 с.
9. Изучение термоэлектрических свойств металлов. Градуировка термопары : Методические указания к лабораторной работе № 27 / Л.М. Шаршина, А.К. Мынбаева; Г.Е. Дмитриева; СПбГТИ(ТУ). Каф. общ. физики. – СПб.: [б.и.], 1999. – 13 с.
10. Оптика и атомная физика. Часть 2. Атомная физика : Методические указания к лабораторным работам. / под ред. В.В. Кашмета ; СПбГТИ(ТУ). Каф. общ. физики. – СПб.: [б.и.], 1995. – 139 с.

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

1. Мейлахс, А. П., Вуль, А. Я., Физика твердого тела: учебное пособие / А. П. Мейлахс, А. Я. Вуль; Электрон. текстовые дан., СПбГТИ(ТУ). Каф. физ. химии. - СПб. : [б. и.], 2019. - 109 с.

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

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

электронно-библиотечные системы:

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

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

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

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

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

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКВД. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

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

СТП СПбГТИ 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

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

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

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

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

Microsoft Office (Microsoft Excel): Office 2007 Russian OLP NL AE (Государственный контракт № 24 от 14.09.2007, срок действия – бессрочно), Office Std 2013 Rus OLP NL (Контракт № 02(03)15 от 15.01.2015, срок действия -20 лет).

### **10.3. Информационные справочные системы.**

Базы данных Scopus и Web of Science.

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

Кафедра общей физики располагает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов занятий. В распоряжении студентов имеются:

1. две аудитории для проведения семинарских и лабораторных занятий, оснащенные интерактивными досками;
2. компьютерный класс, состоящий из 10 компьютеров с выходом в Интернет;
3. оборудованная лаборатория для проведения лабораторных занятий.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

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

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

| <b>Компетенции</b> |  |                                      |
|--------------------|--|--------------------------------------|
| <b>Индекс</b>      | <b>Формулировка<sup>7</sup></b>  | <b>Этап формирования<sup>8</sup></b> |
| ПК-3               | <b>Владеет системой фундаментальных химических, физических и математических понятий.</b> | промежуточный                        |

<sup>7</sup> **жирным шрифтом** выделена та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты)

<sup>8</sup> этап формирования компетенции выбирается по п.2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие.)

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

| Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Показатели сформированности (дескрипторы)<br><i>Предполагаю, что в образце из УМУ ошибка. В шапке таблицы сказано дескрипторы, следовательно, здесь повторение формулировок из последней колонки первой таблицы. Только вместо знать, уметь, владеть пишем знает, умеет, владеет. Но не настаиваю, посмотрим, что Вам скажет Н.В.Климова из УМУ</i> | Критерий оценивания  | Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)  |   |   |
|---|---|--|---|---|---|
|   |   |  | «удовлетворительно» (пороговый)   | «хорошо» (средний)  | «отлично» (высокий)   |
| ПК-3.1<br>Владение фундаментальными физическими понятиями для описания физических процессов в атомной и электронной структуре твердотельных систем и их физических свойств. | <p><b>Дает определения</b> основным физическим явлениям и понятиям.</p> <p><b>Называет</b> основные теоретические методы физики твердого тела; границы их применимости.</p>   | <p>Правильные ответы на вопросы № 1-5, 73-91 к экзамену.</p> <p>Правильные ответы на вопросы № 18-34, 73-77 к экзамену</p> | <p>Правильно называет основные физические явления и понятия, не видит взаимосвязи между ними. Делает ошибки в описании явления.</p> <p>Имеет общие представления об основных теоретических приближениях, используемых в физике твердого тела, Слабо ориентируется в</p> | <p>Правильно перечисляет основные физические явления и понятия, указывает взаимосвязь между ними, но с наводящими вопросами.</p> <p>Понимает основные приближения, используемые в физике твердого тела, ошибается в границах их применимости.</p> | <p>Правильно перечисляет основные физические явления и понятия, указывает взаимосвязь между ними на конкретных примерах.</p> <p>Понимает основные приближения, используемые в физике твердого тела, и границы их применимости. Правильно выбирает</p> |

|  |   |   |  |   |   |
|--|---|---|--|---|---|
|  | <p><b>Понимает</b> назначение и принципы действия важнейших физических приборов.</p> <p><b>Объясняет</b> основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальной физики твердого тела.</p> <p><b>Владет:</b> навыками применения основных методов физики твердого тела для решения естественнонаучных задач.</p> | <p>Правильные ответы на вопросы № 50-73 к экзамену.</p> <p>Правильные ответы на вопросы № 46-66, 73-91 к экзамену.</p> <p>Правильные ответы на вопросы № 6-17, 36-45, 67-73 к экзамену.</p> | <p>границах их применимости.</p> <p>Рассказывает о назначении приборов без пояснения физических принципов, на которых основано их действие.</p> <p>Поверхностно объясняет основные наблюдаемые явления и эффекты физики твердого тела, или делает это с ошибками.</p> <p>В целом показывает применение основных методов физики твердого тела для решения естественнонаучных задач, но делает это с ошибками.</p> | <p>Понимает назначение и принципы действия важнейших физических приборов, но ошибается в границах их применения.</p> <p>Объясняет основные наблюдаемые явления и эффекты физики твердого тела, но с наводящими вопросами.</p> <p>Демонстрирует навыки применения основных методов физики твердого тела для решения естественнонаучных задач, но с наводящими вопросами или подсказками преподавателя.</p> | <p>теоретический подход для описания конкретного явления.</p> <p>Понимает назначение и принципы действия важнейших физических приборов.</p> <p>Корректно анализирует и объясняет основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальной физики твердого тела.</p> <p>Корректно применяет основные методы физики твердого тела для решения естественнонаучных задач.</p> |
|--|---|---|--|---|---|

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):



По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания – балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).

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

1. Кристаллическая решетка. Симметрия кристаллов. Кристаллическая структура. Решетки Бравэ.
2. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Уравнение Лауэ и Вульфа-Брэгга.
3. Обратная решетка и ее свойства. Зоны Бриллюэна.
4. Атомный фактор рассеяния.
5. Дефекты в кристаллах: дефекты упаковки и дислокации.
6. Найти угол между нормальными к плоскостям  $(h_1k_1l_1)$  и  $(h_2k_2l_2)$  для кубической тетрагональной и ромбической систем.
7. Определить для кристаллов кубической системы угол между нормальными к плоскостям с индексами  $(001)$  и  $(110)$ ,  $(110)$  и  $(111)$ ,  $(001)$  и  $(111)$ ,  $(111)$  и  $(111)$ ,  $(110)$  и  $(112)$ ,  $(111)$  и  $(112)$ .
8. Доказать, что если  $[uvw]$  - индексы оси кристаллографической зоны и  $(hkl)$  – одной из плоскостей зоны, то  $hu+kv+lw=0$ .
9. Доказать, что ОЦК прямой решетке соответствует ГЦК обратная, а ГЦК прямой – ОЦК обратная.
10. Определить, у каких из 14 решеток Бравэ обратная решетка не относится к тому же типу, что и прямая.
11. Построить ячейки Вигнера – Зейтца для ОЦК, ГЦК и ГПУ решеток.
12. Определить отношения расстояний от центра ячейки Вигнера – Зейтца, построенной в п.6, до наиболее и наименее удаленных точек на ее границе.
13. Найти объем элементарной ячейки в обратном пространстве для кристаллов кубической системы.
14. Определить межплоскостные расстояния в кубической решетке в семействах плоскостей с индексами  $(100)$ ,  $(110)$ ,  $(111)$ ,  $(112)$ .
15. Доказать свойства обратной решетки.
16. Показать связь между уравнением Лауэ и Вульфа-Брэгга.
17. Построить сечение обратной решетки и проиндексировать дифракционную картину в следующих случаях: а) ГЦК-структура; ось зоны (направление пучка):  $[113]$ ;  $[110]$   $[132]$ ;  $[200]$ ;  $[120]$ ;  $[100]$ ; б) ОЦК-структура; ось зоны:  $[113]$ ;  $[110]$ ;  $[123]$ ;  $[200]$ ;  $[120]$ ;  $[110]$ ;  $[332]$ .
18. Уравнение Шредингера для электронов в твердом теле. Различные приближения для решения уравнения.
19. Определитель Слэтера. Методы Хартри и Хартри-Фока.
20. Запишите полный гамильтониан для атома  ${}^3\text{Li}$ .
21. Запишите многоэлектронную волновую функцию для атома  ${}^3\text{Li}$ .
22. Запишите определитель Слэтера для атома с электронной конфигурацией  $1s^22s^22p^1$ .
23. Теорема Блоха. Блоховские волны в кристалле. Зоны Бриллюэна в кристалле. Условие периодичности. Оператор трансляции.
24. Свойства волнового вектора  $k$  в кристалле.
25. Энергия, групповая скорость и эффективная масса электрона в I зоне Бриллюэна.
26. Эффективная масса. Метод эффективной массы.
27. Дать определение функции плотности состояний для электронов и дырок (в  $k$ - и  $p$ -пространстве), для тензорной и скалярной эфф. массы. Как подсчитать эффективное число состояний в разрешенных зонах?
28. Энергетический спектр электронов в кристалле. Приближение сильной и слабой связи.
29. Локализованные состояния электрона в кристалле.
30. Функции Ванье.
31. Движение электрона в поле примеси.

32. Поверхностные состояния.
33. Экситоны.
34. Поляроны.
35. Вычислить постоянную Маделунга для линейной цепочки равноудаленных ионов с чередующимися положительными и отрицательными зарядами.
36. Вычислить приближенное значение постоянной Маделунга для NaCl по методу Эвьена.
37. Чему равно расстояние между ближайшими соседями в решетке NaCl, при котором оба потенциала отталкивания дадут одинаковый вклад в энергию решетки.
38. Что такое зона Бриллюэна?
39. Записать Блоховскую волновую функцию.
40. Что такое плотность состояний?
41. Чем отличается зонная структура проводников и диэлектриков, проводников и полупроводников?
42. Энергия электрона в S-зоне объемноцентрированной кубической решетки равна:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - C - 8A \cos \frac{ak_x}{2} \cos \frac{ak_y}{2} \cos \frac{ak_z}{2}$$

Найти ширину зоны, точки *max* и *min* энергии, разложить  $\varepsilon(\mathbf{k})$  в ряд вблизи *min* энергии и найти  $m^*$  (в разложении оставить слагаемые порядка  $k^2$ ).

43. Базисные вектора решетки имеют координаты  $a_1, a_2, a_3$  (где  $a$  - длина ребра куба). Является ли вектор  $\mathbf{k}$  вектором обратной решетки?  
 а)  $a_1=a/2(0,1,1); a_2=a/2(1,0,1); a_3=a/2(1,1,0); k=4\pi/a(1,-1,1)$ . ГЦК-решетка.  
 б)  $a_1=a/2(1,1,-1); a_2=a/2(1,-1,1); a_3=a/2(-1,1,1); k=4\pi/a(1,1,0)$ . ОЦК-решетка
44. Базисные вектора решетки имеют координаты  $a_1, a_2, a_3$  (где  $a$  - длина ребра куба). Принадлежит ли вектор  $\mathbf{k}$  первой зоне Бриллюэна?  
 а)  $a_1=a/2(0,1,1); a_2=a/2(1,0,1); a_3=a/2(1,1,0); k=4\pi/a(2,0,1)$ . ГЦК-решетка.  
 б)  $a_1=a/2(1,1,-1); a_2=a/2(1,-1,1); a_3=a/2(-1,1,1); k=4\pi/a(2,0,1)$ . ОЦК-решетка.
45. Вблизи экстремума энергии кристаллический электрон/дырка имеет эффективную массу  $0,02m_e$ . Записать импульс и энергию такого электрона/дырки.
46. Чем отличается зонная структура проводников, полупроводников и диэлектриков?
47. Уровни в запрещенной зоне. Энергия ионизации примесных уровней. Расщепление уровней энергии в твердом теле при наличии дефектов и примесей.
48. Поверхностные состояния в кристалле. Уровни Тамма.
49. Вблизи максимума энергии кристаллический электрон имеет эффективную массу  $0,02m_e$ . Запишите его импульс и энергию.
50. Классификация твердых тел по электропроводности. Подвижность электронов. Закон Ома в дифференциальной форме.
51. Функция распределения частиц по энергиям. Свойства. Применение. Функция Ферми-Дирака для электронов, дырок, связанных носителей.
52. Функция распределения для вырожденного и невырожденного полупроводника.
53. Распределений носителей заряда по состояниям в разрешенных зонах и на примесных уровнях. Вес состояния. Фактор  $g$  в функции распределения.
54. Запишите и поясните смысл уравнения электронейтральности в общем случае.
55. Энергия активации проводимости (энергия активации образования носителей заряда).
56. Что такое скомпенсированный и некомпенсированный полупроводник?
57. Температурная область истощения примеси.
58. Покажите, что в сильно легированном или вырожденном п/п концентрация электронов не зависит от температуры.
59. Условие вырождения. Температура вырождения. Критическая концентрация примеси.

60. Как экспериментально найти ширину запрещенной зоны и энергию ионизации примесных уровней.
61. Покажите графическую температурную зависимость концентрации носителей заряда для: вырожденного и невырожденного полупроводника (р и n- типа).
62. Покажите графическую температурную зависимость концентрации носителей заряда для: частично скомпенсированного полупроводника.
63. Покажите графическую температурную зависимость концентрации носителей заряда для: полупроводника с донорными и акцепторными уровнями.
64. Какое свойство носителей заряда описывает функция  $f(E, T)$ ? Какие типы функций  $f(E, T)$  могут описывать состояние электронов?
65. Какая связь между функциями  $f_n(E, T)$  и  $f_p(E, T)$ ? Найдите их вид для вырожденного и невырожденного полупроводников.
66. Дайте определение функции плотности состояний для электронов и дырок; чему она равна в  $k$  – пространстве и  $p$  - пространстве; (для квадратичного закона дисперсии при скалярной, при тензорной эффективной массе?)
67. Дайте графическую иллюстрацию выражений для концентрации электронов и дырок в случае вырожденного и невырожденного полупроводников  $n$ -или  $p$ -типа.
68. Что такое интеграл Ферми порядка  $1/2$ ? Как можно приближенно вычислить его?
69. Как подсчитать эффективное число состояний в разрешенных зонах?
70. Покажите, что в сильно вырожденном полупроводнике концентрация электронов не зависит от температуры.
71. Запишите и поясните смысл уравнения электронейтральности в общем случае.
72. Чем отличается распределение носителей заряда по состояниям в разрешенных зонах и на примесных уровнях? Что учитывает фактор  $g_i$  в функции распределения?
73. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке. Акустическая ветвь.
74. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке. Оптическая ветвь.
75. Фононы в трехмерном кристалле.
76. Фонон-фононное взаимодействие.
77. Электрон-фононное взаимодействие.
78. Подвижность носителей заряда.
79. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.
80. Фотопроводимость.
81. Эффект Холла.
82. Квантовый эффект Холла.
83. Сверхпроводимость.
84. Контакт металл – полупроводник для случая собственного полупроводника.
85. Контакт металл – полупроводник для случая примесного полупроводника.
86.  $p$ - $n$  переход. Искривление зон.
87. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Интегральная и дифференциальная (удельная) термо-э. д. с. Составляющие термо-э. д. с. Причины различия термо-э. д. с. металлов и полупроводников. Термопары.
88. Образование контактной разности потенциалов между двумя проводниками в модели потенциальной ямы и свободных квантовых электронов. Условие контакта двух тел.
89. Объясните механизмы образования объемной, контактной и фононной составляющих термо-э.д.с.
90. Эффект Пельтье.
91. Эффект Томсона.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 45 мин.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб

СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.