

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Физика твердого тела**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                                |
|--|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец                                           | Синкевич О.А.                  |
|  | Идентификатор                                      | Rb5988e66-SinkevichOA-cb34fce7 |

О.А.  
Синкевич

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                             |
|--|----------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец                                           | Яньков Г.Г.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc |

Г.Г. Яньков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец                                           | Герасимов Д.Н.                |
|  | Идентификатор                                      | Ra5495398-GerasimovDN-6b58615 |

Д.Н.  
Герасимов

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике

ИД-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Теплємкость фононов. (Контрольная работа)
2. Тестирование по темам: 1. Спектры акустических и оптических фононов. (Контрольная работа)
3. Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников. (Контрольная работа)
4. Энергетический спектр свободных электронов. (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка качества оформления задания

1. Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока. (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

### 2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тестирование по темам: 1. Спектры акустических и оптических фононов. (Контрольная работа)
- КМ-2 Теплємкость фононов. (Контрольная работа)
- КМ-3 Энергетический спектр свободных электронов. (Контрольная работа)
- КМ-4 Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока. (Контрольная работа)
- КМ-5 Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников. (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |

|                                                                                                                                                                                                                  | Срок КМ: | 3  | 5  | 7  | 10 | 13 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----|----|----|----|----|
| Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла.                                                                                                                                                          |          |    |    |    |    |    |
| 1. Кристаллическая решетка и её свойства.                                                                                                                                                                        |          | +  | +  | +  | +  | +  |
| 2. Фононная подсистема кристалла и её свойства.                                                                                                                                                                  |          | +  | +  | +  | +  | +  |
| Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники                                                                                                                                                    |          |    |    |    |    |    |
| Электронная подсистема кристалла                                                                                                                                                                                 |          | +  | +  | +  | +  | +  |
| Диэлектрики. Полупроводники                                                                                                                                                                                      |          | +  | +  | +  | +  | +  |
| Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел.                                                                                                          |          |    |    |    |    |    |
| Кинетическая теория твердого тела.                                                                                                                                                                               |          |    | +  | +  | +  | +  |
| Дефекты и дислокации в кристалле.                                                                                                                                                                                |          | +  | +  | +  |    | +  |
| Поверхностные эффекты твердых тел.                                                                                                                                                                               |          |    | +  |    | +  | +  |
| Коллективные явления в твердом теле. Наночастицы и их свойства                                                                                                                                                   |          |    |    |    |    |    |
| Сверхпроводимость в металлах.                                                                                                                                                                                    |          |    | +  |    | +  |    |
| Наночастицы и их свойства Механизмы образования и структуры наночастиц. Основные характеристики наночастиц. Процессы переноса теплоты и электрического заряда в наноструктурах. Применение наночастиц в технике. |          |    |    |    | +  |    |
| Вес КМ:                                                                                                                                                                                                          |          | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                     | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | ИД-1ПК-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– базовые сведения о физики твердого тела , необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);</li> <li>– методы расчета теплофизических параметров твердых тел, основанные на использовании молекулярно-кинетической и квантовой теорий (ИД-1ПК-1);</li> </ul> <p>– оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы по физики твердого тела(ПК-1)</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать методы экспериментального и теоретического исследования систем,</li> </ul> | <p>КМ-1 Тестирование по темам: 1. Спектры акустических и оптических фононов. (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 Теплоемкость фононов. (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 Энергетический спектр свободных электронов. (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока. (Контрольная работа)</p> <p>КМ-5 Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников. (Контрольная работа)</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>использующих твердые тела в качестве рабочего тела, и соответствующие источники информации. (ИД-1ПК-1);</p> <p>–выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в твердом состоянии (ПК-2);</p> <p>–использовать справочную литературу о физики твердого тела для поиска информации о свойствах веществ в твердом состоянии.</p> |  |
|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

### **КМ-1. Тестирование по темам: 1. Спектры акустических и оптических фононов.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа 1 ч. 30 м.  
Теоретический вопрос и задача.

#### **Краткое содержание задания:**

Спектры акустических фононов.

Спектры оптических фононов.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: –базовые сведения о физики твердого тела ,<br>необходимые для практической деятельности<br>инженеров теплофизиков (ПК-1); | 1. Чем отличаются спектры<br>акустических фононов при<br>нулевой частоте и на границе ?<br>Чем отличаются спектры<br>оптических фононов при нулевой<br>частот и на границе? |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильная оценка вклада акустических и оптических фононов в термодинамику кристалла.

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Ртсутствие оценки вклада акустических и оптических фононов в термодинамику кристалла.

### **КМ-2. Теплоемкость фононов.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Провести расчет и построение графика зависимости теплоемкость фононов от температуры .

#### **Краткое содержание задания:**

Теплоемкость фононов при температуре Дебая.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                        | Вопросы/задания для проверки                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Знать: –базовые сведения о физики твердого тела ,<br>необходимые для практической деятельности инженеров | 1.Теплоемкость фононов<br>при нелевой температуре . |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                  | Вопросы/задания для проверки                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| теплофизиков (ПК-1);                                                                                                                               |                                                             |
| Знать: –методы расчета теплофизических параметров твердых тел, основанные на использовании молекулярно-кинетической и квантовой теорий (ИД-1ПК-1); | 1.Теплоемкость фононов при температуре Дебая.               |
| Уметь: –использовать справочную литературу о физики твердого тела для поиска информации о свойствах веществ в твердом состоянии.                   | 1.Как оценить теплоемкость фононов при нулевой температуре? |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильная оценка величины теплоемкость фононов при нулевой температуре.

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Нет оценки величины теплоемкость фононов при нулевой температуре.

**КМ-3. Энергетический спектр свободных электронов.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В часы, отведенные на самостоятельную работу.

**Краткое содержание задания:**

Описать вид энергетического спектра свободных электронов.

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                  | Вопросы/задания для проверки                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Знать: –базовые сведения о физики твердого тела , необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);                         | 1.Значение энергии свободных электронов на границе зоны.              |
| Знать: –методы расчета теплофизических параметров твердых тел, основанные на использовании молекулярно-кинетической и квантовой теорий (ИД-1ПК-1); | 1.Значение энергии свободных электронов при нулевом волновом числе.   |
| Уметь: –выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в твердом состоянии (ПК-2);                                                  | 1.Чему равна энергия свободных электронов при нулевом волновом числе? |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильное значение энергия свободных электронов при нулевом волновом числе.

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Не правильное значение энергия свободных электронов при нулевом волновом числе.



**КМ-4. Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока.**

**Формы реализации:** Проверка качества оформления задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Оценка правильности и объема выполненной работы.

**Краткое содержание задания:**

Оценить влияние магнитного поля на коэффициенты переноса?

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                         | Вопросы/задания для проверки                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Знать: –оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы по физики твердого тела(ПК-1) | 1.В чем заключается влияние магнитного поля на коэффициенты переноса? |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильная оценка параметр Холла при заданном магнитном поле и времени релаксации.

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Отсутствует оценка параметр Холла при заданном магнитном поле и времени релаксации.

**КМ-5. Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников.**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение в часы, отведенные для самостоятельных занятий.

**Краткое содержание задания:**

В чем суть эффект Мейснера?

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                         | Вопросы/задания для проверки                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Знать: –базовые сведения о физики твердого тела , необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);                                                                | 1.Проникает ли магнитное поле в сверхпроводник второго рода?      |
| Уметь: – выбирать методы экспериментального и теоретического исследования систем, использующих твердые тела в качестве рабочего тела, и соответствующие источники информации. (ИД-1ПК-1); | 1.Оценить глубину проникновения магнитного поля в сверхпроводник. |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Правильная оценка глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник.

*Оценка:* «не зачтено»

*Описание характеристики выполнения знания:* Не правильная оценка глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник.

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Билет № 15

1. Типы сил, приводящих к образованию кристаллов. Симметрия и структуры кристаллов. Элементарная и примитивная ячейки. Прямая и обратная решетки. Ячейка Вигнера - Зейтца. Зона Бриллюэна.

2. Уравнения сохранения импульса в твердом теле и распространение звука. Продольные и поперечные звуковые волны.

3. Задача

Билет № 3.

1. Фононы, их свойства. Функция распределения фононов по энергиям.

Плотность состояний фононов. Модели Дебая и Эйнштейна.

2. Феноменологическая термодинамика твердого тела. Тензоры скоростей деформаций и напряжений. Связь между напряжениями и деформациями.

3. Задача.

### Процедура проведения

1. Выбор билета.
2. Подготовка ответа, время 1 час.
3. Ответ экзаминатору, время 16 минут.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

### Вопросы, задания

1. Вопрос: Чем отличаются элементарная и примитивная ячейки?
2. Как построить ячейку Вигнера - Зейтца и зону Бриллюэна для кубического кристалла?
3. Чем отличаются продольные и поперечные звуковые волны в твердом теле?
4. Оценить энергию Ферми при заданном значении концентрации электронов
5. Рассчитать ширину первой и второй запрещенных зон при взаимодействии электронов с решеткой.
6. Рассчитать эффективные массы электронов при их взаимодействии с решеткой.
7. В чем заключается эффект Риги – Людока?
8. Механизмы образования дефектов Шотки .
9. Виды эмиссии с поверхности.
10. В чем заключается эффект Мейснера?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Оценить объем элементарной ячейки в кубическом кристалле размером 100 нанометров.

Ответы:

Правильная оценка объема элементарной ячейки в кубическом кристалле размером 100 нанометров

Верный ответ: Объем элементарной ячейки в кубическом кристалле размером 1000000 кубических нанометров

2.Какая из скоростей звука продольная или поперечная больше?

Ответы:

Правильная оценка скоростей звука продольной и поперечной волн?

Верный ответ: Продольная скорость больше

3.Оценить энергию Ферми при заданном значении концентрации электронов.

Ответы:

Правильное значение энергии Ферми при заданном значении концентрации электронов

Верный ответ: Энергия Ферми 5 эВ.

4.Рассчитать ширину первой запрещенной зоны при взаимодействии электронов с решеткой.

Ответы:

Правильное значение ширины зоны.

Верный ответ: Значение ширины 1.5 эВ.

5.Рассчитать ширину второй запрещенной зоны при взаимодействии электронов с решеткой.

Ответы:

Правильное значение ширины зоны.

Верный ответ: Значение ширины 0.85 эВ.

6.Рассчитать эффективные массы электронов при их взаимодействии с решеткой.

Ответы:

Правильное значение эффективные массы.

Верный ответ: Значение эффективные массы 0.9 от массы электрона.

7. В чем заключается эффект Риги – Людока?

Ответы:

Правильное объяснение эффект Риги – Людока.

Верный ответ: Эффект Риги – Людока состоит в возникновении потока, перпендикулярного градиенту температуры.

8.Механизмы образования дефектов Шоттки .

Ответы:

Правильное объяснение образования дефектов Шоттки .

Верный ответ: Механизмы образования дефектов Шоттки связан с уходом атома из узла решетки.

9.Перечисление видов эмиссии с поверхности.

Ответы:

Виды эмиссии с поверхности.

Верный ответ: Термоэмиссия и электронная эмиссии

10.В чем заключается эффект Мейснера?

Ответы:

Правильное объяснение эффекта Мейснера?

Верный ответ: Эффект Мейснера заключается с выталкиванием магнитного поля из сверхпроводника.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Устный вопрос: 1. Как определить размер ячейка Вигнера - Зейтца для кубическом кристалле размером 100 нанометров. 2. Чем отличаются продольные и поперечные звуковые волны в твердом теле? 3. Как построить

ячейку Вигнера - Зейтца и зону Бриллюэна для кубического кристалла? 4. Как зависит энергию Ферми от концентрации электронов? 5. Влияет ли магнитное поле на термодинамические функции сверхпроводников?

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* 1. Не правильная оценка размера ячейка Вигнера - Зейтца для кубическом кристалле размером 100 нанометров. 2. Не правильная оценка продольные и поперечные звуковые волны в твердом теле . 3. Не правильная построение зонаы Бриллюэна м ячейки Вигнера - Зейтца в обратной решетке. 4. Энергия Ферми пропорциональна концентрации электронов степени  $1/3$ . 5. Магнитное поле не влияет на термодинамические функции сверхпроводников.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

1. Оценка 5 при 75 - 100 % ответа на билет. 2. Оценка 4 при 60 -75 ответа на билет. 3. Оценка 3 при 40 - 60 % ответа на теоретические вопросы и нерешенную задачу. 4. Оценка 2 при 40 % ответа на теоретические вопросы и нерешенную задачу.