

**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  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

О.А.

Синкевич

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

Д.Н.

Герасимов

(расшифровка  
подписи)

## 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. Теплоемкость 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

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	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

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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-1 <sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–методы расчета теплофизических параметров твердых тел, основанные на использовании молекулярно-кинетической и квантовой теорий (ИД-1<sub>ПК-1</sub>);</li> <li>–базовые сведения о физики твердого тела , необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);</li> <li>–оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы по физики твердого тела(ПК-1)</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>–использовать справочную литературу о физики твердого тела для поиска информации о свойствах</li> </ul>	<p>Тестирование по темам: 1. Спектры акустических и оптических фононов. (Контрольная работа)</p> <p>Теплоемкость фононов. (Контрольная работа)</p> <p>Энергетический спектр свободных электронов. (Контрольная работа)</p> <p>Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока. (Контрольная работа)</p> <p>Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников. (Контрольная работа)</p>

		<p>веществ в твердом состоянии.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– выбирать методы экспериментального и теоретического исследования систем, использующих твердые тела в качестве рабочего тела, и соответствующие источники информации. (ИД-1ПК-1);</li><li>– выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в твердом состоянии (ПК-2);</li></ul>	
--	--	--	--

## 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:

Знать: –базовые сведения о физики твердого тела, необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);	1. Чем отличаются спектры акустических фононов при нулевой частоте и на границе ? Чем отличаются спектры оптических фононов при нулевой 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:

Знать: –базовые сведения о физики твердого тела, необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);	1.Теплоемкость фононов при нелевой температуре .
Знать: –методы расчета теплофизических параметров	1.Теплоемкость фононов при температуре Дебая.

твердых тел, основанные на использовании молекулярно-кинетической и квантовой теорий (ИД-1ПК-1);	
Уметь: –использовать справочную литературу о физике 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:**

Знать: –базовые сведения о физике 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:**

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:**

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	1.Оценить глубину проникновения магнитного поля в сверхпроводник.

соответствующие источники информации. (ИД-1ПК-1);	
---	--

**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-1<sub>ПК-1</sub> 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 ширинызоны.  
 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 ячейки 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.