

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

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Физика твердого тела**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f

(подпись)

А.С.

Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f

(подпись)


А.С.

Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(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-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей процессов в наноразмерных системах

ИД-1 Владеет основными методами и подходами, применяемыми при анализе работы наноразмерных систем

2. ПК-4 Способен к разработке наноразмерных материалов и устройств

ИД-2 Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Проверка задания

1. Строение и типы химических связей в твердых телах (Контрольная работа)

2. Фононы в твердом теле и перенос тепла (Контрольная работа)

3. Электроны в кристаллических решетках (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Электроны и дырки в полупроводниках (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	11	15
Строение и типы химических связей в твердых телах					
Типы кристаллов	+	+	+	+	
Типы связей	+	+	+	+	
Электронный газ в кристаллах и зонная теория твердых тел					
Свободный электронный газ	+	+	+	+	
Периодическая зонная структура	+	+	+	+	
Динамика кристаллической решетки и фононы. Элементы теории упругости					

Кристаллическая решетка и фононы	+	+	+	+
Статистика и плотность состояний фононов	+	+	+	+
Теория электро- и теплопроводности твердых тел				
Связь электро- и теплопроводности	+	+	+	+
Магнитные свойства твердых тел	+	+	+	+
Физика полупроводников. Электроны и дырки				
Физические явления в полупроводниках	+	+	+	+
Физические процессы в сверхпроводниках				
Сверхпроводники	+	+	+	+
Вес КМ:	15	25	25	35

\$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-3	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Владеет основными методами и подходами, применяемыми при анализе работы наноразмерных систем	Знать: методы и подходы, применяемых при анализе твердых тел Уметь: оценивать параметры низкоразмерных твердотельных устройств	Строение и типы химических связей в твердых телах (Контрольная работа) Фононы в твердом теле и перенос тепла (Контрольная работа) Электроны в кристаллических решетках (Контрольная работа) Электроны и дырки в полупроводниках (Контрольная работа)
ПК-4	ИД-2 <sub>ПК-4</sub> Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку	Знать: основные свойства твердых тел и способы их применения в низкоразмерных устройствах Уметь: оценивать строение и типы химических связей в твердых телах	Строение и типы химических связей в твердых телах (Контрольная работа) Фононы в твердом теле и перенос тепла (Контрольная работа) Электроны в кристаллических решетках (Контрольная работа) Электроны и дырки в полупроводниках (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Строение и типы химических связей в твердых телах

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают задание в виде теста из нескольких нижеприведенных вопросов. На выполнение отводится заранее установленное время

**Краткое содержание задания:**

Какое из утверждений верно:

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методы и подходы, применяемых при анализе твердых тел</p>	<p>1. Система сильно взаимодействующих частиц характеризуется ... А. Большим параметром взаимодействия; Б. Превышением кинетической энергии частиц над их потенциальной энергией; В. Независимостью от параметра взаимодействия</p> <p>2. А. Дальний порядок характеризуется наличием структуры Б. Дальний порядок характеризуется повторяемостью порядка во всем теле В. Дальний порядок характеризуется повторяемостью структуры на атомных расстояниях</p> <p>3. А. Условие де Бройля задает дальний порядок в кристалле Б. Условие де Бройля определяет классический метод описания тел В. Условие де Бройля определяет квантовый метод описания тел</p> <p>4. А. Температура Дебая – температура перехода к плавлению кристалла Б. Температура Дебая – определяется максимальной частотой колебаний атомов в кристалле В. Температура Дебая характеризует переход от дальнего порядка к ближнему</p> <p>5. А. Размерность обратной решетки такая же, как и прямой решетки Б. Размерность обратной решетки обратная размерности прямой решетки В. Размерность обратной решетки неопределена</p> <p>6. А. Решетка Браве – это кубическая решетка Б. Решетка Браве – это гексагональная решетка В. Решетка Браве – это группа трансляций, которая полностью описывает кристалл</p> <p>7. А. Решетка полностью характеризуется периодами решетки и углами</p>
---	--

	<p>Б. Решетка полностью характеризуется числом атомов, приходящихся на ячейку</p> <p>В. Решетка полностью характеризуется координационным числом</p> <p>8.А. Кристаллы с двумя атомами на ячейку имеют акустическую и оптическую ветви спектра фононов</p> <p>Б. Есть кристаллы с двумя атомами на ячейку без оптической ветви в спектре фононов</p> <p>В. Кристаллы с тремя атомами на ячейку имеют одну оптическую ветвь в спектре фононов</p> <p>9.А. Ячейка Вигнера-Зейтца то же, что и решетка Браве</p> <p>Б. Ячейка Вигнера-Зейтца строится на решетке Браве</p> <p>В. Ячейка Вигнера-Зейтца может иметь любое количество атомов внутри себя</p> <p>10.А. Адиабатическое приближение – условие описания колебаний атомов независимо от электронов</p> <p>Б. Адиабатическое приближение – условие неподвижности атомов в узлах кристаллической решетки</p> <p>В. Адиабатическое приближение – условие существования кристаллической решетки</p>
<p>Знать: основные свойства твердых тел и способы их применения в низкоразмерных устройствах</p>	<p>1.А. Любой газ конденсируется в кристалл</p> <p>Б. Любой газ конденсируется в твердое тело</p> <p>В. Любой газ конденсируется в жидкость</p> <p>2.А. Пространственная решетка – это наличие вектора трансляции</p> <p>Б. Пространственная решетка – это расположение атомов в узлах</p> <p>В. Пространственная решетка – это возможность скольжения вдоль плоскостей с узлами решетки</p> <p>3.А. Трансляция – все возможные симметрии кристалла</p> <p>Б. Трансляции – только часть симметрий кристалла</p> <p>В. Трансляции вообще не относятся к свойствам симметрии кристалла</p> <p>4.А. Идеальный кристалл – это кристалл без дефектов</p> <p>Б. Идеальный кристалл – это кристалл с базисом</p> <p>В. Идеальный кристалл – это кристалл с элементарной ячейкой</p> <p>5.А. Кубическая решетка имеет два атома на ячейку</p> <p>Б. Кубическая решетка имеет четыре атома на ячейку</p> <p>В. Кубическая решетка имеет один атом на ячейку</p> <p>6.А. Атомы в кристалле можно описывать классически, поскольку их масса больше электронной</p> <p>Б. Атомы в кристалле можно описывать классически, т.к. они имеют малую длину волны де Бройля</p> <p>В. Атомы в кристалле можно описывать классически, поскольку они движутся медленно</p> <p>7.А. Кубическая решетка имеет восемь атомов на</p>

	ячейку Б. Кубическая решетка имеет один атом на ячейку В. Кубическая решетка имеет четыре атома на ячейку
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-2. Фононы в твердом теле и перенос тепла**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 25**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают задание в виде теста из нескольких нижеприведенных вопросов. На выполнение отводится заранее установленное время

**Краткое содержание задания:**

Какое из утверждений верно:

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы и подходы, применяемых при анализе твердых тел	1.А. Индексы Миллера задают координационное число в кристалле Б. Индексы Миллера описывают число атомов вдоль кристалла В. Индексы Миллера описывают расположение кристаллографических плоскостей в кристалле 2.А. Индексы Миллера описывают число атомов вдоль кристалла Б. Индексы Миллера описывают расположение кристаллографических плоскостей в кристалле В. Индексы Миллера задают координационное число в кристалле 3.А. Все силы связи атомов в кристалле имеют электромагнитную природу Б. Имеются силы связи атомов в кристалле, которые не имеют электромагнитной природы В. Никакие силы связи в атомов в кристалле не имеют электромагнитной природы 4.А. Условие Вульфа-Брэгга задает расстояние между кристаллографическими плоскостями
--	--



	<p>Б. Условие Вульфа-Брэгга задает длину волны рентгеновского излучения</p> <p>В. Условие Вульфа-Брэгга задает угол упругого рассеяния рентгеновского излучения</p> <p>5.А. Зона Бриллюэна – ячейка Вигнера Зейтца в обратной решетке</p> <p>Б. Зона Бриллюэна – ячейка Вигнера Зейтца в прямой решетке</p> <p>В. Зона Бриллюэна – ячейка Браве в обратной решетке</p>
<p>Знать: основные свойства твердых тел и способы их применения в низкоразмерных устройствах</p>	<p>1.А. Оптические фононы могут быть только продольными</p> <p>Б. Оптические фононы могут быть только поперечными</p> <p>В. Оптические фононы могут быть продольными и поперечными</p> <p>2.А. Оптические фононы могут быть только продольными</p> <p>Б. Оптические фононы могут быть только поперечными</p> <p>В. Оптические фононы могут быть продольными и поперечными</p> <p>3.А. Оптическая ветвь спектра фононов может лежать ниже ветви акустических фононов</p> <p>Б. Оптическая ветвь спектра фононов может лежать выше ветви акустических фононов</p> <p>В. Оптическая ветвь спектра фононов всегда лежит выше ветви акустических фононов</p> <p>4.А. Звуковые моды кристалла имеют место при малых длинах волн фононов</p> <p>Б. Звуковые моды кристалла имеют место при любых длинах волн фононов</p> <p>В. Звуковые моды кристалла имеют место при больших длинах волн фононов</p> <p>5.А. Гранецентрированная и гексоганальная плотноупакованная решетки имеют одинаковое координационное число</p> <p>Б. Гранецентрированная решетка имеет координационное число больше, чем гексоганальная</p> <p>В. Гранецентрированная решетка имеет координационное число меньше, чем гексоганальная</p> <p>6.А. Акустические и оптические фоновые спектры всегда пересекаются</p> <p>Б. Акустические и оптические ветви спектра никогда не пересекаются</p> <p>В. Акустические и оптические ветви спектра имеют одну точку пересечения</p> <p>7.А. Пространственная симметрия – одинаковость атомов в кристалле</p> <p>Б. Пространственная симметрия – возможность поворота кристалла вокруг какой-либо оси</p> <p>В. Пространственная симметрия – наличие векторов</p>

	<p>трансляции в теле</p> <p>8.А. Объемноцентрированная решетка имеет один атом на ячейку</p> <p>Б. Объемноцентрированная решетка имеет два атома на ячейку</p> <p>В. Объемноцентрированная решетка имеет три атома на ячейку</p> <p>9.А. Акустические фононы могут быть только продольными</p> <p>Б. Акустические фононы могут быть только поперечными</p> <p>В. Акустические фононы могут быть продольными и поперечными</p> <p>10.А. Примитивная решетка симметричнее объемноцентрированной</p> <p>Б. Примитивная решетка симметричнее кубической</p> <p>В. Кубическая решетка симметричнее примитивной</p> <p>11.А. Кристаллы с двумя атомами на ячейку имеют акустическую и оптическую ветви спектра фононов</p> <p>Б. Есть кристаллы с двумя атомами на ячейку без оптической ветви в спектре фононов</p> <p>В. Кристаллы с тремя атомами на ячейку имеют одну оптическую ветвь в спектре фононов</p> <p>12.А. Все кристаллы имеют акустическую ветвь спектра фононов</p> <p>Б. Существуют кристаллы, у которых нет акустической ветви в спектре фононов</p> <p>В. Все кристаллы имеют оптическую ветвь в спектре фононов</p> <p>13.А. Вектор обратной решетки равен вектору прямой решетки</p> <p>Б. Вектор обратной решетки строится по векторам прямой решетки</p> <p>В. Вектор обратной решетки строится по векторам обратной решетки</p> <p>14.А. Объемноцентрированная решетка имеет два атома на ячейку</p> <p>Б. Объемноцентрированная решетка имеет четыре атома на ячейку</p> <p>В. Объемноцентрированная решетка имеет три атома на ячейку</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-3. Электроны в кристаллических решетках

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают задание в виде теста из нескольких нижеприведенных вопросов. На выполнение отводится заранее установленное время

**Краткое содержание задания:**

Решите задачу:

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: оценивать параметры низкоразмерных твердотельных устройств	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Определить электропроводность германия, который содержит индий с концентрацией <math>2 \cdot 10^{21}</math> м<sup>-3</sup> и сурьму с концентрацией <math>1,4 \cdot 10^{21}</math> м<sup>-3</sup>.</li><li>2. Оценить температуру Дебая для железа, полагая скорости распространения продольных и поперечных волн одинаковыми и равными 5 км/сек.</li><li>3. Определить величину плотности тока в примесном полупроводнике, если число электронов равно <math>5,8 \cdot 10^{28}</math> м<sup>-3</sup>, а подвижность электронов и дырок одинакова и составляет 2,32 См/м.</li><li>4. Определить скорость звука в алмазе, если дебаевская температура алмаза равна 1860 К, а межатомное расстояние 1,54 А</li><li>5. Определить величину плотности тока в собственном полупроводнике, если число носителей равно <math>5,8 \cdot 10^{28}</math> м<sup>-3</sup>, а подвижность составляет 2,32 См/м.</li><li>6. Определить величину квазиимпульса фонона, соответствующего частоте, равной 0,1 от максимальной частоты; усредненная скорость звука в кристалле равна 1380 м/сек, температура Дебая 100К, дисперсией звука в кристалле пренебречь</li></ol>
Уметь: оценивать строение и типы химических связей в твердых телах	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Определить число электронных состояний в единице объема металла с энергией 0,3-0,4 эВ.</li><li>2. Вычислить положение уровня Ферми относительно дна зоны проводимости при температуре <math>T = 400</math> К для кристалла германия, содержащего <math>5 \cdot 10^{16}</math> атомов сурьмы в 1 см<sup>3</sup>.</li><li>3. Найти максимальную энергию электронов в металле при <math>T=0</math>К.</li><li>4. Какова вероятность найти электрон на нижнем уровне зоны проводимости в собственном германии, если температура образца равна: а) 30 К; б) 300 К.</li><li>5. Определить температуру Ферми и скорость</li></ol>

	<p>электронов на уровне Ферми в натрии, если их концентрация равна <math>2,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}</math></p> <p>6. Нарисуйте графики плотности числа состояний как функции энергии для электронов и дырок</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-4. Электроны и дырки в полупроводниках**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Необходимо выбрать билет с задачей и с места устно начать решать ее, попутно объясняя ход решения

**Краткое содержание задания:**

Решите задачу:

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: оценивать параметры низкоразмерных твердотельных устройств</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить температуры вырождения электронного газа в металле, если концентрация электронов равны <math>5,3 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}</math> и <math>5,8 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}</math>.</li> <li>2. Образец германия нагревают от температур 0 С до 17 С. Определить, насколько возрастет его удельная проводимость, если ширина запрещенной зоны равна 0,72 эВ.</li> <li>3. Вычислить величину тока в образце полупроводника прямоугольной формы с размерами <math>0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,05 \text{ см}^3</math> с плотностью электронов <math>10^{21} \text{ м}^{-3}</math> при 20 0С, если к двум противоположным узким граням приложено напряжение 20 В; подвижность заряда равна 0,03 м<sup>2</sup>/В·сек.</li> <li>4. Определить электропроводность германия, который содержит сурьму с концентрацией <math>10^{21} \text{ м}^{-3}</math>.</li> <li>5. Вычислить величину тока в образце полупроводника прямоугольной формы с размерами <math>0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,05 \text{ см}^3</math> с плотностью электронов <math>10^{21} \text{ м}^{-3}</math> при 20 0С, если к двум противоположным узким граням приложено напряжение 20 В; подвижность</li> </ol>
--	--

	<p>заряда равна <math>0,03 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{сек}</math>.</p> <p>6.Образец кремния нагревают от температур <math>10 \text{ }^\circ\text{C}</math> до <math>25 \text{ }^\circ\text{C}</math>. Определить, насколько возрастет его удельная проводимость, если ширина запрещенной зоны равна <math>1,12 \text{ эВ}</math>.</p> <p>7.Определить время релаксации электронов, считая что ее электропроводность равна <math>6 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}</math>, а плотность отвечает одному электрону на атом в зоне проводимости.</p>
<p>Уметь: оценивать строение и типы химических связей в твердых телах</p>	<p>1.Определить отношение импульса фотонов с энергией <math>5 \text{ МэВ}</math> к среднеквадратичному импульсу атомов аргона при температуре <math>420 \text{ К}</math>.</p> <p>2.Какова вероятность найти электрон на нижнем уровне зоны проводимости в собственном германии, если температура образца равна: а) <math>30 \text{ К}</math>; б) <math>300 \text{ К}</math>.</p> <p>3.Найти число электронов и дырок в германии при температурах <math>250 \text{ К}</math> и <math>350 \text{ К}</math></p> <p>4.Найти число электронов и дырок в арсениде галлия при температурах <math>100 \text{ К}</math> и <math>300 \text{ К}</math></p> <p>5.Найти число электронов и дырок в кремнии при температурах <math>100 \text{ К}</math> и <math>200 \text{ К}</math></p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Электроны в твердом теле. Свободные электроны и электроны в периодической решетке. Блоховские волны (состояния)
2. Фотоэлектрические преобразователи и солнечная энергетика
3. Вычислить длину свободного пробега электронов в меди при комнатной температуре и температуре 200 С, исходя из теплопроводности, теплоемкости и скорости электронного газа

### Процедура проведения

Студенты по очереди вытягивают билеты, расположенные на столе текстом вниз. Записывается номер билета и время начала подготовки ответа. Через определенное время (по умолчанию час) студенты с расписанными ответами подходят к преподавателю и начинают рассказывать билет своими словами. Задача должна быть решена или хотя бы должен быть показан верный ход решения

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-3</sub> Владеет основными методами и подходами, применяемыми при анализе работы наноразмерных систем

### Вопросы, задания

1. Найти де-бройлевскую длину электронов при температурах 1К, 5К и 100К
2. Вычислить частоты колебаний кристаллической решетки меди при волновых числах, близких к  $\pi/a$
3. Найти де-бройлевскую длину атомов гелия при температурах 10К, 50К и 300К
4. Вычислить частоты колебаний кристаллической решетки серебра при волновых числах, близких к нулю
5. Найти де-бройлевскую длину атомов водорода при температурах 1К, 10К и 300К
6. Вычислить частоты колебаний кристаллической решетки графита при волновых числах, близких к  $\pi/a$
7. Вычислить длину свободного пробега фононов в графите при комнатной температуре и температуре 200 С, исходя из теплопроводности, теплоемкости и скорости звука
8. Найти де-бройлевскую длину атомов углерода при температурах 10К, 50К и 300К
9. Найти максимальную оптическую частоту для кристаллов поваренной соли
10. Вычислить частоты колебаний кристаллической решетки меди при волновых числах, близких к  $\pi/a$
11. Вычислить длину свободного пробега фононов в кристалле водорода при 10К
12. Найти дебаевскую (максимальную) частоту для кристаллов фосфора
13. Электроны в твердом теле. Свободные электроны и электроны в периодической решетке. Блоховские волны (состояния)
14. Вырожденный электронный газ. Статистика Ферми-Дирака. Импульс и энергия Ферми. Плотность числа состояний электронов
15. Термодинамика электронного газа и теплоемкость металлов
16. Электроны в кристаллической решетке. Теорема Блоха

17. Электронная зонная структура твердого тела
18. Электроны в металле. Модель Друде и закон Ома
19. Электроны и дырки в полупроводниках
20. Кинетика и проводимость носителей в полупроводниках
21. Электрон во внешнем магнитном поле и частота Лармора
22. Сверхпроводимость. Основные экспериментальные факты. Критическая температура, критическое магнитное поле и критический ток
23. Тепловые свойства сверхпроводников. Нормальная и сверхпроводящая фазы
24. Магнитные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Магнитная левитация
25. Виды кристаллических решеток
26. Зоны Бриллюэна
27. Акустические фононы
28. Кристаллическая решетка. Базис кристалла. Обратная решетка

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое вектор трансляции?

Ответы:

вектор, при сдвиге на который свойства рассматриваемой системы не изменяются  
 вектор, при сдвиге на который свойства рассматриваемой системы изменяются  
 базисный вектор кристаллической решетки

Верный ответ: вектор, при сдвиге на который свойства рассматриваемой системы не изменяются

2. Что такое адиабатическое приближение?

Ответы:

интерполяция адиабатического процесса  
 метод приближенного решения сложных задач квантовой механики, согласно которому в ходе рассматриваемого физического процесса некоторая величина полагается постоянной

сближение молекул газа в отсутствие обмена теплотой с окружающей средой

Верный ответ: метод приближенного решения сложных задач квантовой механики, согласно которому в ходе рассматриваемого физического процесса некоторая величина полагается постоянной

3. Сколько степеней свободы у одномерной цепочки атомов?

Ответы:

3

$3N$ , где  $N$  - число атомов в цепочке

1

0

Верный ответ:  $3N$ , где  $N$  - число атомов в цепочке

4. Что такое оптические колебания атомов решетки?

Ответы:

соседние атомы колеблются в противофазе и с разными амплитудами

все атомы колеблются с одной и той же частотой и амплитудой

Верный ответ: соседние атомы колеблются в противофазе и с разными амплитудами

5. В каком случае носителем заряда в твердом теле являются дырки?

Ответы:

донорный примесный атом

акцепторный примесный атом

Верный ответ: акцепторный примесный атом

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-4 Знает методы определения параметров эффективных низкоразмерных устройств и способен провести их оценку

### **Вопросы, задания**

1. Вычислить длину свободного пробега электронов в меди при комнатной температуре и температуре 200 С, исходя из теплопроводности, теплоемкости и скорости электронного газа
2. Вычислить длину свободного пробега электронов в алюминии и температуре 500 С при комнатной температуре, исходя из теплопроводности, теплоемкости и скорости электронного газа
3. Вычислить длину свободного пробега электронов в золоте при комнатной температуре и температуре 400 С, исходя из теплопроводности, теплоемкости и скорости электронного газа
4. Собственные и примесные (легированные) полупроводники; полупроводники n-типа и p-типа
5. Процессы рекомбинации электронно-дырочных пар
6. Транспорт носителей в полупроводниках (уравнения Шокли)
7. Оптические переходы в твердом теле (полупроводниках); сохранение импульса и энергии
8. Твердотельная электроника. Структура и основные направления
9. Физика работы фотодиода
10. Фотоэлектрические преобразователи и солнечная энергетика
11. Полупроводниковый лазерный диод
12. Магнитные свойства твердых тел. Магнитные моменты, спины и орбитальный магнитный момент
13. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм
14. Взаимодействие магнитных моментов. Магнитное диполь-дипольное взаимодействие
15. Ферромагнетики. Модель Вейсса для ферромагнетизма
16. Электродинамика сверхпроводников. Теория Лондонов
17. Сверхпроводники I и II рода и их особенности
18. Физика низкоразмерных и наноразмерных твердых тел (эффекты малой размерности в твердом теле)
19. Плотность числа энергетических состояний в низкой размерности
20. Наноразмерные твердые тела и их особенности (1D, 2D и 3D кристаллы)
21. Нанокристаллы и подобные структуры (фуллерены, нанотрубки, графен и другие)
22. Оптические фононы

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Что такое дифракция рентгеновского излучения на кристаллах?

Ответы:

генерация рентгеновских лучей кристаллами

изменение длины волны рентгеновских лучей при попадании на кристаллическую решетку

рассеяние рентгеновских лучей кристаллами, при котором из начального пучка лучей возникают вторичные отклонённые пучки той же длины волны

Верный ответ: рассеяние рентгеновских лучей кристаллами, при котором из начального пучка лучей возникают вторичные отклонённые пучки той же длины волны

2. Что такое фотодиод?

Ответы:

класс светодиодов, применяющихся в фототехнике



приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд

Верный ответ: приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд

3. Какой из приведенных элементов при определенных температурах является антиферромагнетиком?

Ответы:

железо

кобальт

хром

Верный ответ: хром

4. Что такое вихрь Абрикосова?

Ответы:

вихрь несверхпроводящего тока, циркулирующий вокруг сверхпроводящего ядра

вихрь сверхпроводящего тока, циркулирующий вокруг нормального

(несверхпроводящего) ядра

Верный ответ: вихрь сверхпроводящего тока, циркулирующий вокруг нормального (несверхпроводящего) ядра, индуцирующий магнитное поле с магнитным потоком, эквивалентным кванту магнитного потока

5. В каком направлении графит характеризуется высокой электропроводностью?

Ответы:

вдоль базисных плоскостей

поперек базисных плоскостей

Верный ответ: вдоль базисных плоскостей

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

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

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент