

**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

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.09.01.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 5;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>180 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>2 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 113,5 часов;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>2 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	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

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Цели дисциплины  
 – обучение методам оценки характеристик технологических процессов, использующих твердые тела в качестве рабочего тела;  
 – приобретение навыков проведения физического и численного эксперимента, в области прикладной физики твердого тела с целью разработки соответствующих технологических узлов и компьютерных программ.

### Задачи дисциплины

- ознакомить студентов с основами физики твердого тела, необходимыми для практической деятельности инженеров теплофизиков, и методами экспериментального исследования систем, использующих твердые тела в качестве рабочего тела;  
 - дать базовые сведения о свойствах твердых тел и соответствующие источники информации..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике	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>- 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-1<sub>ПК-1</sub>);;</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>- выбирать методы экспериментального и теоретического исследования систем, использующих твердые тела в качестве рабочего тела, и соответствующие источники информации. (ИД-1<sub>ПК-1</sub>);;</li> <li>- выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в твердом состоянии (ПК-2);;</li> <li>- использовать справочную литературу о физики твердого тела для поиска информации о свойствах веществ в твердом состоянии..</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика и молекулярная физика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать - базовые сведения о уравнении состояния, о свободных электронах и дырках. (ПК-7); - базовые сведения о свойствах веществ и соответствующие источники информации (ПК-1);
- знать – возможности решения уравнения Шрёдингера для электронов (ИД-1ПК-1);
- знать – базовые сведения о статистической физике (ПК-7); (ПК-1)
- знать - базовые сведения о термодинамике (ПК-3).
- уметь – уметь оценивать типы связей в атомах (ПК-7);
- уметь – уметь решать линейные уравнения (ПК-2);
- уметь – уметь использовать различные статистики (ПК-7);

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла.	40	2	10	-	10	-	-	-	-	-	20	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Термодинамика фононной подсистемы (модели Эйнштейна и Дебая).</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Обосновать использование обратной решетк и зоны Бриллюэна.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Колебание кристаллической решетки. Нормальные моды. Звуковые и оптические фононы, их энергия и импульс. Статистика фононов. Бозоны и их свойства.</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> Зона Бриллюэна. Теорема Блоха и распределения собственных значений энергии по зоне Бриллюэна.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Элементарная ячейка, решетка Бравэ. Ячейка Вигнера – Зейтца.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> 1. Оценить степень заполнения веществом в простой кубической решетке. 2. Оценить степень заполнения веществом в ране центрированной кубической решетке. 3. Оценить степень заполнения веществом в объемно центрированной кубической решетке.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p>	
1.1	1. Кристаллическая решетка и её свойства.	18		4	-	4	-	-	-	-	-	-	10		-
1.2	2. Фононная подсистема кристаллаи и её свойства.	22		6	-	6	-	-	-	-	-	-	10		-

														[1], 16-66 [2], 24--88
2	Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники	36	8	-	8	-	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение материалов по разделам; Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники.
2.1	Электронная подсистема кристалла	18	4	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В качестве тем задания применяются следующие: Для 10 молей металла, находящегося при комнатной температуре и давлении 1 атм, построить график изменения коэффициента термического расширения при изоэнтропическом ( $S = S(P,T) = \text{const}$ ) сжатии вещества от давления 1 атм до давления 100 атм. 2. Для 1 кг металла в диапазоне температур (0-1.5)TD К построить зависимости от температуры теплоемкости $C_v$ : при $P = 1$ атм и $P = 10$ атм, $P = \text{const}$ .
2.2	Диэлектрики. Полупроводники	18	4	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Оценить вклады электронной и фононной подсистем в коэффициента объемного сжатия при изоэнтропическом ( $S = S(P,T) = \text{const}$ ) сжатии вещества <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Термодинамика полупроводников. Вклад дырок в свойства переноса теплоты и электрического заряда. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Теория возмущения: сильная и слабая связь. <b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам

														<p>предлагаются следующие варианты:  Квантовое уравнение Больцмана для электронов в твердом теле и представление интеграл столкновений в форме Батнагара – Гроса – Крука (тау-приближение).  <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Пример задания: Для 10 молей металла, находящегося при комнатной температуре и давлении 1 атм, рассчитать, учитывая вклад электронной и фоновой подсистем, изменения: а) температуры <math>T = T(P)</math>, б) коэффициента термического расширения, в) коэффициента объемного сжатия при изэнтропическом (<math>S = S(P, T) = \text{const}</math>) сжатии вещества от давления 1 атм до давления 100 атм.  <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Для полупроводника <math>\text{Ag Ga}</math> в диапазоне температур от 0 К до <math>0.85T_1</math>, где <math>T_1</math> - температура плавления кристалла, построить зависимости от температуры коэффициента электропроводности электронов и дырок (<math>P = \text{const} = 1 \text{ атм}</math> и <math>P = 10 \text{ атм}</math>).  <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: 1. Термодинамика полупроводников. 2. Изменение концентрации электронов и дырок с ростом температуры.  <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

														<p>разделу "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: 1. Рассчитать энергетический спектр, исходя из теории возмущения при слабой связи (невырожденный случай). 2. Рассчитать энергетический спектр, исходя из теории возмущения при слабой связи (вырожденный случай).</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники"</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Образование зонной структуры. Заполнение зон: металлы, диэлектрики.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно обосновать подготовленный ответ на вопрос студенту предлагаются следующие варианты: 1. Объяснить механизм образования зонной структуры твердых тел. 2. Показать как происходит заполнение зон в металлах 3. Показать как происходит заполнение зон в диэлектриках.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

[1], 69-122



3	Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел.	41		8	-	8	-	-	-	-	-	25	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Равновесная и неравновесная функции распределений электронов в электрическом поле.</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> Коэффициенты переноса в кристалле.</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> Дефекты и дислокации в кристалле.</p>
3.1	Кинетическая теория твердого тела.	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции "Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока."</p>
3.2	Дефекты и дислокации в кристалле.	14		2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел."</p>
3.3	Поверхностные эффекты твердых тел.	9		2	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<p><b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: 1. Квантовое уравнение Больцмана для электронов в твердом теле. 2. Интеграл столкновений в форме Батнагара – Гроса – Крука (тау-приближение).</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Поверхностные эффекты твердых тел. и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> Изучение материала по разделу " Поверхностные эффекты твердых тел."</p>

														<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> В рамках самостоятельной работы студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме и обосновать ответ на поставленные вопросы. Студенту предлагаются следующие вопросы: 1. Как рассчитать коэффициенты переноса в кристалле. 2. Объяснить характер влияния магнитного поля на коэффициенты переноса. 3. В чем заключается суть эффектов Холла и Риги - Людока.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел."</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. ."</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 123-222 [4], 221-234</p>
4	Коллективные явления в твердом	27		6	-	6	-	-	-	-	-	15	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу</p>

	теле. Наночастицы и их свойства													"Коллективные явления в твердом теле. " <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Термодинамика сверхпроводников.
4.1	Сверхпроводимость в металлах.	18	4	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Изменение энтропия при переход к сверх проводимости.
4.2	Наночастицы и их свойства Механизмы образования и структуры наночастиц. Основные характеристики наночастиц. Процессы переноса теплоты и электрического заряда в наноструктурах. Применение наночастиц в технике.	9	2	-	2	-	-	-	-	-	-	5	-	<b><u>Подготовка реферата:</u></b> Роль магнитного поля в термодинамике сверхпроводников. <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Процессы переноса теплоты и электрического заряда в наноструктурах. <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Явление сверхпроводимости и сверхтекучести. Типы сверхпроводников <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Элементы высокотемпературной сверхпроводимости. <b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Термодинамика сверхпроводников. <b><u>Подготовка реферата:</u></b> Пример задания: 1. Уравнения Гинзбурга – Ландау, 2. Уравнение Лондонов. <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу " Эффект Мейснера. " <b><u>Подготовка реферата:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию: 1. Куперовские пары. 2. Эффект Мейснера. 3. Уравнения Гинзбурга – Ландау, уравнение Лондонов <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Коллективные явления в твердом теле." <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Коллективные явления в твердом теле. Наночастицы и их свойства и подготовка к контрольной работе <b><u>Самостоятельное изучение</u></b>

															<p><b><u>теоретического материала:</u></b> Задания ориентированы на проработку лекций по разделу "Коллективные явления в твердом теле. Наночастицы и их свойства". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: 1. Качественно объяснить образование куперовских пар. 2. Качественно объяснить эффект Мейснера.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 221-228 [3], 31-49</p>
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5			
	Всего за семестр	180.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	80	33.5			
	Итого за семестр	180.0	32	-	32		2		-	0.5		113.5			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### 3.2 Краткое содержание разделов

#### 1. Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла.

##### 1.1. 1. Кристаллическая решетка и её свойства.

1. Кристаллическая решетка и её свойства^ Понятие о кристаллической структуре конденсированного состояния вещества. Симметрия и классификация кристаллов. Элементарная ячейка, решетка Бравэ. Ячейка Вигнера – Зейтца. Типы связей в кристаллах. Обратная решетка. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха и распределения собственных значений энергии по зоне Бриллюэна..

##### 1.2. 2. Фононная подсистема кристалла и её свойства.

2. Фононная подсистема кристалла Колебание кристаллической решетки. Нормальные моды. Звуковые и оптические фононы, их энергия и импульс. Статистика фононов. Бозоны и их свойства. Термодинамика фононной подсистемы (модели Эйнштейна и Дебая). Термодинамические функции фононной подсистемы (низкие и высокие температуры). Теплоемкость кристалла при низких температурах. Уравнение состояния в форме Ми-Грюнаизена. Роль ангармонизма колебаний..

#### 2. Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники

##### 2.1. Электронная подсистема кристалла

3. Электронная подсистема кристалла Свободные электроны. Термодинамика электронной подсистемы кристалла. Фермионы и их свойства Взаимодействие электронов с решеткой. Теория возмущения: сильная и слабая связь. Энергетического спектра, теория возмущения при слабой связи (невыврожденный и вырожденный случаи). Образование зонной структуры. Заполнение зон: металлы, диэлектрики. 4. Полупроводники Заполнение зон в полупроводниках. Свободная и валентная зоны. Свободные электроны и дырки и их функции распределения. Собственные и несобственные полупроводники Термодинамика полупроводников. Вклад дырок в свойства переноса теплоты и электрического заряда. 5. Кинетическая теория твердого тела.

##### 2.2. Диэлектрики. Полупроводники

Заполнение зон: металлы, диэлектрики и полупроводники. Особенности заполнения зон в диэлектриках и полупроводниках. Свободная и валентная зоны. Свободные электроны и дырки и их функции распределения. Собственные и несобственные полупроводники Термодинамика полупроводников. Вклад дырок в свойства переноса теплоты и электрического заряда. 5. Кинетическая теория твердого тела.

#### 3. Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел.

##### 3.1. Кинетическая теория твердого тела.

Кинетика явлений переноса в кристаллах. Квантовое уравнение Больцмана для электронов в твердом теле. Интеграл столкновений в форме Батнагара – Гроса – Крука (тау-приближение). Равновесная и неравновесная функции распределений. Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока. Перенос теплоты в быстропротекающих процессах (волновое уравнение для температуры)..

##### 3.2. Дефекты и дислокации в кристалле.

Классификации дефектов. Механизмы образования дефектов. Дефект Шотки, дефект Френкеля. Зависимость концентрации дефектов от температуры. Диффузия дефектов. Вклад дефектов в механические, термодинамические и переносные свойства кристаллов. Дислокации и их роль в механических свойствах твердых тел. Вектор Бюргера и энергия дислокации..

### 3.3. Поверхностные эффекты твердых тел.

Поверхностные эффекты твердых тел Явления на границе раздела твердых тел с вакуумом, газами и жидкостями. Поверхностные состояния. Различные виды эмиссии с поверхности: термоэлектронная эмиссия, автоэлектронная эмиссия. Процессы на границе при воздействии концентрированных потоков энергии..

## 4. Коллективные явления в твердом теле. Наночастицы и их свойства

### 4.1. Сверхпроводимость в металлах.

Коллективные явления в твердом теле Роль коллективных явления в твердом теле. Явление сверхпроводимости и сверхтекучести. Типы сверхпроводников. Куперовские пары. Эффект Мейснера. Уравнения Гинзбурга – Ландау, уравнение Лондонов. Термодинамика сверхпроводников. Элементы высокотемпературной сверхпроводимости. Элементарные понятия о магнетизме. Диамагнетики и парамагнетики..

### 4.2. Наночастицы и их свойства Механизмы образования и структуры наночастиц.

Основные характеристики наночастиц. Процессы переноса теплоты и электрического заряда в наноструктурах. Применение наночастиц в технике.

### 9. Наночастицы и их свойства Механизмы образования и структуры наночастиц.

Основные характеристики наночастиц. Процессы переноса теплоты и электрического заряда в наноструктурах. Применение наночастиц в технике..

## **3.3. Темы практических занятий**

1. 2. Колебания атомов в решетке (10 часа).;
2. 3. Термодинамические функции фононной подсистемы (10 часа).
- ∴
3. 1. Объемно- и гранецентрированные элементарная ячейки для кристаллов, решетка Бравэ (4 часа).;
4. 4. Энергетический спектр свободных электронов, заполнение уровней. Энергия Ферми (14 часа)..

## **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

## **3.5 Консультации**

### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла."
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые

консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Поверхностные эффекты твердых тел."

3. Эффект Мейснера. Уравнения Гинзбурга – Ландау, уравнение Лондонов.

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по разделу "Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла."
2. Консультации проводятся по разделу "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел."
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Наночастицы и их свойства"
6. Основные характеристики наночастиц. Процессы переноса теплоты и электрического заряда в наноструктурах

Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Консультации не предусмотрена учебным планом

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделам "Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла."
2. "Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Свободные электроны. Термодинамика электронной подсистемы кристалла. Фермионы и их свойства ."
4. Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффекты Холла и Риги - Людока.
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу " Дефекты и дислокации в кристалле."
6. Явление сверхпроводимости и сверхтекучести. Типы сверхпроводников.
7. Термодинамика сверхпроводников.

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
–оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы по физики твердого тела(ПК-1)	ИД-1ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа/Коэффициенты переноса в кристалле. Влияние магнитного поля на коэффициенты переноса. Эффект Холла. Эффект Риги - Людока.
–методы расчета теплофизических параметров твердых тел, основанные на использовании молекулярно-кинетической и квантовой теорий (ИД-1ПК-1);	ИД-1ПК-1			+		Контрольная работа/Теплоемкость фононов. Контрольная работа/Энергетический спектр свободных электронов.
–базовые сведения о физики твердого тела , необходимые для практической деятельности инженеров теплофизиков (ПК-1);	ИД-1ПК-1	+	+	+		Контрольная работа/Теплоемкость фононов. Контрольная работа/Тестирование по темам: 1. Спектры акустических и оптических фононов. Контрольная работа/Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников. Контрольная работа/Энергетический спектр свободных электронов.
<b>Уметь:</b>						
–использовать справочную литературу о физики твердого тела для поиска информации о свойствах веществ в твердом состоянии.	ИД-1ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа/Теплоемкость фононов.
–выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в твердом состоянии (ПК-2);	ИД-1ПК-1	+	+	+		Контрольная работа/Энергетический спектр свободных электронов.
– выбирать методы экспериментального и теоретического исследования систем, использующих твердые тела в качестве рабочего тела, и	ИД-1ПК-1	+	+	+		Контрольная работа/Типы сверхпроводников. Эффект Мейснера. Термодинамика сверхпроводников.



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

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**2 семестр**

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №2)

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.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Синкевич, О. А. Физика твердого тела : учебное пособие по курсам "Физика твердого тела", "Термодинамика", "Статистическая физика" по направлению "Теплофизика" / О. А. Синкевич, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 244 с. - ISBN 978-5-7046-1817-1 .

<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=9682>;

2. Синкевич, О. А. Акустические волны в плазме и твердом теле : учебное пособие по курсам "Физика твердого тела", "Физика плазмы", "Волны и неустойчивости в сплошных средах" по направлению "Техническая физика" / О. А. Синкевич ; Ред. В. В. Глазков ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 92 с. - ISBN 978-5-383-00005-2 .;

3. Дмитриев, А. С. Учебное пособие по курсу "Физические основы методов прямого преобразования энергии": Кооперативные явления в твердых телах / А. С. Дмитриев, Р. Г. Минц, О. А. Синкевич ; Ред. Ю. М. Смирнов ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1984 . – 87 с.;

4. Герасимов В.Г.- "Электротехнический справочник. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы", Издательство: "МЭИ", Москва, 2007 - (440 с.)

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383000823.html>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

2. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>

3. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Физика твердого тела

(название 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 Теплоемкость 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.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	3	5	7	10	13
1	Кристаллическая решетка. Фононная подсистема кристалла.						
1.1	1. Кристаллическая решетка и её свойства.		+	+	+	+	+
1.2	2. Фононная подсистема кристалла и её свойства.		+	+	+	+	+
2	Электронная подсистема кристалла. Диэлектрики. Полупроводники						
2.1	Электронная подсистема кристалла		+	+	+	+	+
2.2	Диэлектрики. Полупроводники		+	+	+	+	+
3	Кинетическая теория твердого тела. Дефекты и дислокации в кристалле. Поверхностные эффекты твердых тел.						
3.1	Кинетическая теория твердого тела.			+	+	+	+
3.2	Дефекты и дислокации в кристалле.		+	+	+		+
3.3	Поверхностные эффекты твердых тел.			+		+	+
4	Коллективные явления в твердом теле. Наночастицы и их свойства						
4.1	Сверхпроводимость в металлах.			+		+	

4.2	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