

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

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА


| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.08 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 7 семестр - 6; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 216 часов |
| Лекции | 7 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 7 семестр - 64 часа; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 7 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 7 семестр - 117,5 часов; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: | |
| Контрольная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 7 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2020

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

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)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: систематизация полученных при изучении базовых дисциплин знаний по основам физики твердого тела – строение и типы химических связей в твердых телах, электронная зонная теория твердых тел, динамика кристаллической решетки, теория электро- и теплопроводности, магнитные свойства твердых тел, физика полупроводников и сверхпроводимость, а также с теория упругости и плазменное состояние конденсированного вещества

Задачи дисциплины

- изучение строения и типов химических связей в твердых телах;
- изучение электронная зонная теория твердых тел;
- изучение динамики кристаллической решетки;
- изучение теории упругости и фононы;
- изучение теории электро- и теплопроводности твердых тел;
- изучение магнитных свойств твердых тел;
- изучение физики полупроводников;
- изучение физических процессов в сверхпроводниках;
- приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

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-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей процессов в наноразмерных системах | ИД-1 _{ПК-3} 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. |
| ПК-4 Способен к разработке наноразмерных материалов и устройств | ИД-2 _{ПК-4} 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. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Математика
- знать Физика (общая)
- знать Физика специальная
- знать Термодинамика
- знать Тепломассобмен

- знать Физика конденсированного состояния

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 6 зачетных единиц, 216 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 | Строение и типы химических связей в твердых телах | 24 | 7 | 4 | - | 8 | - | - | - | - | - | 12 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Строение и типы химических связей в твердых телах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 111-148 [2], 5-12 |
| 1.1 | Типы кристаллов | 12 | | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 1.2 | Типы связей | 12 | | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 2 | Электронный газ в кристаллах и зонная теория твердых тел | 24 | | 4 | - | 8 | - | - | - | - | - | 12 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Электронный газ в кристаллах и зонная теория твердых тел" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 307-350 [2], 5-12 |
| 2.1 | Свободный электронный газ | 12 | | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 2.2 | Периодическая зонная структура | 12 | | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 3 | Динамика кристаллической решетки и фононы. Элементы теории упругости | 32 | | 6 | - | 10 | - | - | - | - | - | 16 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Динамика кристаллической решетки и фононы. Элементы теории упругости" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 171-198 [2], 19-29 |
| 3.1 | Кристаллическая решетка и фононы | 16 | | 3 | - | 5 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 3.2 | Статистика и плотность состояний фононов | 16 | | 3 | - | 5 | - | - | - | - | - | 8 | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|-------|------|--|
| 4 | Теория электро- и теплопроводности твердых тел | 36 | 6 | - | 14 | - | - | - | - | - | 16 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теория электро- и теплопроводности твердых тел" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 249-294 [2], 36-56, 64-78 |
| 4.1 | Связь электро- и теплопроводности | 18 | 3 | - | 7 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 4.2 | Магнитные свойства твердых тел | 18 | 3 | - | 7 | - | - | - | - | - | 8 | - | |
| 5 | Физика полупроводников. Электроны и дырки | 38 | 8 | - | 16 | - | - | - | - | - | 14 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Физика полупроводников. Электроны и дырки" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 419-464 [2], 77-92 |
| 5.1 | Физические явления в полупроводниках | 38 | 8 | - | 16 | - | - | - | - | - | 14 | - | |
| 6 | Физические процессы в сверхпроводниках | 26 | 4 | - | 8 | - | - | - | - | - | 14 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Физические процессы в сверхпроводниках" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 171-198 [2], 19-29 |
| 6.1 | Сверхпроводники | 26 | 4 | - | 8 | - | - | - | - | - | 14 | - | |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Всего за семестр | 216.0 | 32 | - | 64 | - | 2 | - | - | 0.5 | 84 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 216.0 | 32 | - | 64 | 2 | - | - | - | 0.5 | 117.5 | | |

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. Строение и типы химических связей в твердых телах

1.1. Типы кристаллов

Кристаллические и аморфные тела. Кристаллы инертных газов. Ионные кристаллы и связи. Ковалентные кристаллы.

1.2. Типы связей

Металлическая связь. Водородные связи. Атомные радиусы.

2. Электронный газ в кристаллах и зонная теория твердых тел

2.1. Свободный электронный газ

Статистика Ферми-Дирака. Плотность числа состояний. Теплоемкость электронного газа. Модель почти свободных электронов. Блоховские волны.

2.2. Периодическая зонная структура

Металлы. Полуметаллы. Диэлектрики. Полупроводники.

3. Динамика кристаллической решетки и фононы. Элементы теории упругости

3.1. Кристаллическая решетка и фононы

Колебания кристаллической решетки: один и два атома в ячейке. Акустические и оптические моды в кристалле. Фононы в конденсированном теле и их основные свойства.

3.2. Статистика и плотность состояний фононов

Теплоемкость кристаллической решетки. Элементы теории упругости.

4. Теория электро- и теплопроводности твердых тел

4.1. Связь электро- и теплопроводности

Электропроводность электронного газа и закон Ома. Теплопроводность электронов и закон Видемана-Франца. Фононная теплопроводность и механизмы рассеяния. Общая теплопроводность кристаллов.

4.2. Магнитные свойства твердых тел

Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.

5. Физика полупроводников. Электроны и дырки

5.1. Физические явления в полупроводниках

Собственная проводимость полупроводников. Закон действующих масс. Электроны и дырки в полупроводниках. Перенос заряда и энергии в полупроводниках. Поглощение и отражение света в полупроводниках. Транзисторный эффект.

6. Физические процессы в сверхпроводниках

6.1. Сверхпроводники

Сверхпроводники и их свойства. Эффект Мейснера. Сверхпроводники первого рода. Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние. Уравнение Лондонов.

Микроскопическая модель Бардина-Купера-Шриффера. Теория Гинзбурга Ландау и сверхпроводники второго рода. Вихри Абрикосова.

3.3. Темы практических занятий

1. Кристаллографический анализ и типы кристаллических решеток;
2. Электроны в кристаллических решетках;
3. Фононы в твердых телах;
4. Задачи теории упругости;
5. Электропроводность электронного газа и закон Ома;
6. Магнитные свойства твердых тел;
7. Фононная теплопроводность и механизмы рассеяния;
8. Электроны и дырки в полупроводниках;
9. Поглощение и отражение света в полупроводниках;
10. Сверхпроводники первого рода. Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние;
11. Теория Гинзбурга Ландау и сверхпроводники второго рода. Вихри Абрикосова.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Строение и типы химических связей в твердых телах"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электронный газ в кристаллах и зонная теория твердых тел"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Динамика кристаллической решетки и фононы. Элементы теории упругости"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теория электро- и теплопроводности твердых тел"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физика полупроводников. Электроны и дырки"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физические процессы в сверхпроводниках"

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 | 5 | 6 | |
| Знать: | | | | | | | | |
| методы и подходы, применяемых при анализе твердых тел | ИД-1пк-3 | | | | + | + | + | Контрольная работа/Строение и типы химических связей в твердых телах Контрольная работа/Фононы в твердом теле и перенос тепла |
| основные свойства твердых тел и способы их применения в низкоразмерных устройствах | ИД-2пк-4 | + | + | + | | | | Контрольная работа/Строение и типы химических связей в твердых телах Контрольная работа/Фононы в твердом теле и перенос тепла |
| Уметь: | | | | | | | | |
| оценивать параметры низкоразмерных твердотельных устройств | ИД-1пк-3 | | | | + | + | + | Контрольная работа/Электроны в кристаллических решетках Контрольная работа/Электроны и дырки в полупроводниках |
| оценивать строение и типы химических связей в твердых телах | ИД-2пк-4 | + | + | + | | | | Контрольная работа/Электроны в кристаллических решетках Контрольная работа/Электроны и дырки в полупроводниках |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

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

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://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=9682;
2. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела : пер. с англ. / Ч. Киттель . – 2-е изд., стер перепеч. с изд. 1978г . – М. : МедиаСтарт, 2006 . – 792 с.;
3. Дмитриев, А. С. Основы криофизики конденсированных систем : учебное пособие по курсу "Криофизика", по направлению "Техническая физика" / А. С. Дмитриев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 132 с. - ISBN 5-903072-78-X ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office;
2. Windows.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>

4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|---|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Помещения для самостоятельной работы | М-411/1, Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования | М-423/1, Аудитория каф. "НТ" | стул, стол письменный |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | М-407/1, Кладовая | стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика твердого тела

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

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

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

КМ-3 Электроны в кристаллических решетках (Контрольная работа)

КМ-4 Электроны и дырки в полупроводниках (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 11 | 15 |
| 1 | Строение и типы химических связей в твердых телах | | | | | |
| 1.1 | Типы кристаллов | | + | + | + | + |
| 1.2 | Типы связей | | + | + | + | + |
| 2 | Электронный газ в кристаллах и зонная теория твердых тел | | | | | |
| 2.1 | Свободный электронный газ | | + | + | + | + |
| 2.2 | Периодическая зонная структура | | + | + | + | + |
| 3 | Динамика кристаллической решетки и фононы. Элементы теории упругости | | | | | |
| 3.1 | Кристаллическая решетка и фононы | | + | + | + | + |
| 3.2 | Статистика и плотность состояний фононов | | + | + | + | + |
| 4 | Теория электро- и теплопроводности твердых тел | | | | | |
| 4.1 | Связь электро- и теплопроводности | | + | + | + | + |
| 4.2 | Магнитные свойства твердых тел | | + | + | + | + |
| 5 | Физика полупроводников. Электроны и дырки | | | | | |
| 5.1 | Физические явления в полупроводниках | | + | + | + | + |
| 6 | Физические процессы в сверхпроводниках | | | | | |

| | | | | | |
|-----|-----------------|----|----|----|----|
| 6.1 | Сверхпроводники | + | + | + | + |
| | Вес КМ, %: | 15 | 25 | 25 | 35 |