Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА (ЧАСТЬ 1)

Направление подготовки (специальность) [1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

| Семестр | Трудоемкость, кред. | Общий объем курса, час. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | Лаборат. работы, час. | В форме практической подготовки, час. | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 3 | 108 | 30 | 30 | 0 | | 48 | 0 | З |
| Итого | 3 | 108 | 30 | 30 | 0 | 0 | 48 | 0 | |

## АННОТАЦИЯ

Курс является одним из центральных в обучении бакалавра по профилям, связанным с физикой твердого тела. Даются современные представления о конденсированном состоянии вещества, теоретические модели явлений, методы исследования, применение твердотельных эффектов в основных методах и достижениях экспериментальной физики.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные задачи курса – показать многообразие физических явлений, протекающих в конденсированной фазе вещества. Научить оценивать характерные энергии, длины, времена релаксации различных физических взаимодействий в веществе, познакомить с основными подсистемами кристаллического состояния – решеткой Браве, фононной и электронной подсистемами. Дать ориентацию в различных экспериментальных методиках и теоретических описаниях, исследующих твердое тело.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина читается на старших курсах. Ожидается, что студент уже освоил курсы общей физики, высшей математики, ТФКП, изучил или начал изучение квантовой механики и статистической физики.

## 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора достижения компетенции** |
|---|---|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| **Задача профессиональной деятельности (ЗПД)** | **Объект или область знания** | **Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)** | **Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции** |
|---|---|---|---|
| научно-исследовательский | | | |
| выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, | модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного | ПК-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в | З-ПК-2[1] - Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной |

| | | | |
|---|---|---|---|
| аналитические и численные расчеты | моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства | избранной предметной области<br><br>*Основание:* Профессиональный стандарт: 25.035, 40.011 | предметной области. ;<br>У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области ;<br>В-ПК-2[1] - Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. |
| разработка математических моделей, технологий для решения инженерных, технических и информационных задач | модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства | ПК-3 [1] - Способен применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач<br><br>*Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001, 40.011 | З-ПК-3[1] - Знать численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач. ;<br>У-ПК-3[1] - Уметь применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач.;<br>В-ПК-3[1] - Владеть навыками решения дифференциальных и интегральных уравнений численными методами для физико-технических задач. |

## 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| **Направления/цели воспитания** | **Задачи воспитания (код)** |
|---|---|
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска |

| | |
|---|---|
| | нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19) |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22) |

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *6 Семестр* | | | | | | |
| 1 | Часть 1 | 1-8 | 16/20/0 | | 25 | КИ-8 | З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3 |
| 2 | Часть 2 | 9-15 | 14/10/0 | | 25 | КИ-15 | З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3 |
| | *Итого за 6 Семестр* | | 30/30/0 | | 50 | | |
| | **Контрольные мероприятия за 6 Семестр** | | | | 50 | З | З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3 |

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|---|---|
| КИ | Контроль по итогам |

| | |
|---|---|
| З | Зачет |

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели | Темы занятий / Содержание | Лек., час. | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|---|---|---|---|---|
| | *6 Семестр* | 30 | 30 | 0 |
| **1-8** | **Часть 1** | 16 | 20 | 0 |
| 1 - 2 | **Тема 1. Кристаллические структуры**<br>Твердая фаза вещества. Корреляционная функция.. Основные определения, решетка Браве, элементарная ячейка, примитивная ячейка, ячейка Вигнера-Зейтца, базисные векторы. Оси симметрии. Пространственные группы, оси инверсии, классификация решеток. Примеры ОЦК и ГЦК решеток, координационные сферы, коэффициент заполнения. Сложные многоатомные структуры. | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | <br>4<br><br>0 | <br>0<br><br>0 |
| 3 - 4 | **Тема 2. Обратная решетка и условие дифракции**<br>Определение, базисные векторы, объем, атомная плоскость, индексы Миллера. Условие дифракции. Построение Эвальда, Бриллюэна. Основные методы определения кристаллических структур из рентгеновского рассеяния (Лауэ, качаний, Дебай-Шерер). Лауэграммы и дебаеграммы. | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | <br>4<br><br>0 | <br>0<br><br>0 |
| 5 - 6 | **Тема 3. Типы химических связей в твердых телах.**<br>Классификация твердых тел по типу связей. Молекулярные кристаллы, их основные физические свойства. Потенциал Леннарда-Джонса, когезионная энергия, модуль всестороннего сжатия, коэффициент линейного расширения. Ионные кристаллы, их основные физические свойства. Потенциал Борна-Майера, постоянная Маделунга, модуль всестороннего сжатия. Ковалентные и полупроводниковые кристаллы, их основные физические свойства. Обзор металлические кристаллов, их основных физических свойств. Кристаллы с водородной связью, квантовые кристаллы. | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | <br>6<br><br>0 | <br>0<br><br>0 |
| 7 - 8 | **Тема 4. Дефекты в кристаллах.**<br>Фононы. Дефекты по Шоттки, по Френкелю. F – центры. Дефекты в ионных кристаллах. Дислокации. Поляроны и экситоны. | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | <br>6<br><br>0 | <br>0<br><br>0 |
| **9-15** | **Часть 2** | 14 | 10 | 0 |
| 9 - 10 | **Тема 5. Фононы – колебания кристаллической решетки.**<br>Гармоническое приближение для энергии кристалла. Спектры фононов. Основные свойства фононных мод. Оптические, акустические ветви, поляризация. Основные симметрийные направления трехмерного кристалла. Расчеты фононных мод. Поперечные, продольные ветви колебаний. Способы определения фононных спектров из нейтронного рассеяния. Метод постоянного переданного | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | <br>2<br><br>0 | <br>0<br><br>0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | импульса, постоянной переданной энергии. Взаимодействие с электромагнитной волной. Рассеяние Бриллюэна, Рамана. | | | |
| 11 - 12 | **Тема 6. Теплоемкость кристаллической решетки. Модели Дебая и Эйнштейна**<br>Модели Дебая и Эйнштейна для колебаний кристаллической решетки. Классическая модель теплоемкости. Теплоемкость и способы ее определения. Температурная зависимость. Фононная плотность состояний. Дебаевское приближение. Особенности Ван-Хова. Экспериментальное определение фононной плотности состояний. | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | 2<br><br>0 | 0<br><br>0 |
| 13 | **Тема 7. Ангармонические явления.**<br>Решеточная теплопроводность кристаллов. Температурная зависимость. Процессы переброса. Тепловое расширение. Параметры Грюнайзена. | Всего аудиторных часов<br>2<br>Онлайн<br>0 | 2<br><br>0 | 0<br><br>0 |
| 14 - 15 | **Тема 8. Амплитуда рассеяния.**<br>Взаимодействие излучения с периодически расположенными в пространстве центрами рассеяния. Атомный, стуктурный форм-факторы. Влияние разупорядочения. Фактор Дебая-Валлера. Температурная зависимость. Влияние геометрии. | Всего аудиторных часов<br>4<br>Онлайн<br>0 | 4<br><br>0 | 0<br><br>0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| **Обозначение** | **Полное наименование** |
|---|---|
| ЭК | Электронный курс |
| ПМ | Полнотекстовый материал |
| ПЛ | Полнотекстовые лекции |
| ВМ | Видео-материалы |
| АМ | Аудио-материалы |
| Прз | Презентации |
| Т | Тесты |
| ЭСМ | Электронные справочные материалы |
| ИС | Интерактивный сайт |

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

| **Недели** | **Темы занятий / Содержание** |
|---|---|
| | *6 Семестр* |
| 1 | **Тема 1. Фазовая диаграмма однокомпонентного вещества**<br>Фазовое равновесие, агрегатные состояния и аллотропные фазы. Кривые возгонки-сублимации, плавления-затвердевания, кипения-конденсации. Тройная точка. Критическое состояние. Пример фазовой диаграммы простого металла. Фазовая диаграмма гелия. Кристаллы и аморфные вещества, жидкости, газы, жидкие кристаллы. Методы выращивания кристаллов: спонтанная кристаллизация, вытягивание из расплава, гидротермальный синтез, электрохимическое осаждение, зонная плавка. |
| 2 | **Тема 2. Атом как основа твердого тела.**<br>Строение атома: размер ядра, внутренние и внешняя оболочки, радиус атома, радиус иона, ковалентный радиус. Потенциал ионизации, край поглощения, |

| | |
|---|---|
| | характеристическое излучение, рост энергии внутренних электронных оболочек с увеличением атомного номера. Количество частиц в твердом теле, эффективность статистического усреднения процессов. Общее выражение для энергии кристалла и ее разделение на энергию решетки и энергию электронной системы. Приближение, используемые для описания этих энергий и взаимодействия решетки с электронной системой. Концепция квазичастиц или элементарных возбуждений. |
| 3 - 4 | **Тема 3. Трансляционная инвариантность как основа описания свойств твердых тел**<br>Кристаллическая структура: решетка и базис. Простые и сложные структуры. Основные типы структур однокомпонентных веществ (анализ структуры элементов периодической таблицы): ПК, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура алмаза. Построение их примитивных ячеек, расчет координационных чисел и радиусов первой координационной сферы. Построение ячейки Вигнера-Зейтца на примере ОЦК структуры. |
| 5 - 6 | **Тема 4. Обратная решетка.**<br>Параметры решетки и межатомные расстояния. Определение плотности вещества по параметрам элементарной ячейки. Атомные плоскости и направления кристаллической решетки. Семейства и системы плоскостей, эквивалентные направления. Главные направления в кубических решетках. Обратная решетка как следствие трансляционной инвариантности кристаллической структуры. Основные соотношения, связывающие параметры прямой и обратной решеток. Связь векторов обратной решетки с атомными плоскостями: построение плоскости по индексам Миллера и нахождение индексов Миллера плоскости, проходящей через заданные узлы решетки. Связь межплоскостного расстояния с длиной вектора обратной решетки. Выражение межплоскостных расстояний кубической решетки через индексы Миллера. |
| 7 - 8 | **Тема 5. Дифракционные методы изучения кристаллической структуры**<br>Рентгеноструктурный анализ, нейтронные исследования магнитных веществ, дифракция медленных электронов в тонких слоях. Оценка энергии используемого рентгеновского излучения, нейтронов и электронов. Методы получения рентгеновского излучения: тормозное, характеристическое и синхротронное излучение. Формула Брэгга-Фульфа. Применение метода Лауэ для определения типа симметрии кристаллической структуры основных направлений кристалла. Порошковый метод определения параметров кристаллической структуры. Основные факторы, определяющие интенсивность и уширение дифракционных пиков, статические и динамические искажения решетки. Устройство дифрактометра и основные погрешности измерения параметров решетки. Определение числа дифракционных пиков с помощью построения Эвальда. |
| 9 - 10 | **Тема 6. Энергия связи кристалла**<br>Потенциал парного взаимодействия атомов/ионов. Решеточная сумма и энергия взаимодействия атома/иона с решеткой. Положение равновесия и межатомные расстояния. Вычисление сил взаимодействия атома/иона с решеткой. Влияние давления на межатомные расстояния. Модуль всестороннего сжатия. Методы создания высокого давления. |
| 11 | **Тема 7. Ангармонизм**<br>Разложение потенциала взаимодействия атома/иона с решеткой вблизи положения равновесия. Ангармонизм и его влияние на динамические и статические параметры решетки. Расчет коэффициента линейного расширения и оценка его величины на примере потенциала Леннарда-Джонса. Дилатометрия и регистрация структурных переходов при измерении температурного поведения коэффициента линейного расширения |
| 12 | **Тема 8. Дефекты** |

| | |
|---|---|
| | Энтропия решетки и точечные дефекты в кристаллах. Равновесные концентрации дефектов по Шоттки и по Френкелю. Независимость энергии точечного дефекта от положения в идеальном кристалле. Диффузия дефектов. Центры окраски в ионных кристаллах. Механизм образования и диффузии F – центров. |
| 13 | **Тема 9. Фононы**<br>Разложение потенциала взаимодействия атома/иона с решеткой вблизи положения равновесия: описание динамики решетки в гармоническом приближении. Особенности оптических колебаний ионных кристаллов. Поляризация и средний дипольный момент, их зависимость от частоты, соотношение Клазиуса-Мосотти. Инфракрасное поглощение ионных кристаллов. Соотношение Лиддана-Сокса-Теллера. Взаимодействие фононных мод ковалентных кристаллов с электромагнитным излучением. Рамановское и бриллюэновское рассеяние. Температурная зависимость амплитуд стоксовой и антистоксовой компонент рамановского рассеяния. Соотношение волновых векторов излучения и фононов. Роль электронных процессов в рамановском и бриллюэновском рассеянии. |
| 14 | **Тема 10. Термодинамика фононов**<br>Энергия колебаний решетки в приближении независимых классических осцилляторов. Температурная зависимость теплоемкости как тест описания динамики решетки. Крах классического описания теплоемкости. Энергия колебаний решетки в приближении независимых квантовых осцилляторов. Вычисление температурной зависимости теплоемкости в модели Эйнштейна. Высокотемпературный и низкотемпературный пределы. Применение модели Эйнштейна для описания теплоемкости оптических мод колебаний. Энергия колебаний решетки в модели Дебая. Анализ модели Дебая на примере расчета теплоемкости цепочки осцилляторов. Граничные условия Борна-Кармана и число состояний в зоне Бриллюэна. Плотность фононных состояний. Температура Дебая. Связь параметров модели Дебая с экспериментально измеряемыми характеристиками кристалла. Ангармонизм и линейный рост высокотемпературной теплоемкости. |
| 15 | **Тема 11. Ангармонизм**<br>Скорость звука. Продольные и поперечные моды звуковой волны, зависимость скорости от направления в кристалле, средняя скорость. Затухание звуковой волны. Теплопроводность диэлектриков. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности. Длина свободного пробега фононов, теплопроводность кристаллов и стекол. Величины теплопроводности теплоизоляторов и сапфира. |

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, изучении пройденного материала. Для того чтобы показать современное физическое состояние физики конденсированного состояния вещества, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| **Компетенция** | **Индикаторы освоения** | **Аттестационное мероприятие (КП 1)** |
|---|---|---|
| ПК-2 | З-ПК-2 | З, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-2 | З, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-2 | З, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-3 | З-ПК-3 | З, КИ-8, КИ-15 |
| | У-ПК-3 | З, КИ-8, КИ-15 |
| | В-ПК-3 | З, КИ-8, КИ-15 |

**Шкалы оценки образовательных достижений**

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

<table>
<tr><th>Сумма баллов</th><th>Оценка по 4-х балльной шкале</th><th>Отметка о зачете</th><th>Оценка ECTS</th></tr>
<tr><td>90-100</td><td>5 – «отлично»</td><td rowspan="7">«зачтено»</td><td>A</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td rowspan="3">4 – «хорошо»</td><td>B</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>65-69</td><td rowspan="2">3 – «удовлетворительно»</td></tr>
<tr><td>60-64</td><td>E</td></tr>
<tr><td>ниже 60</td><td>2 – «неудовлетворительно»</td><td>«не зачтено»</td><td>F</td></tr>
</table>

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и

навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ С 89 Дифракционный структурный анализ : учебное пособие для вузов, Суворов Э. В., Москва: Юрайт, 2021

2. 53 И83 Задачи по общей физике : учебное пособие для вузов, Иродов И.Е., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014

3. ЭИ Е 92 Квантовая механика : учебное пособие для вузов, Ефремов Ю. С., Москва: Юрайт, 2022

4. 53 И83 Квантовая физика : основные законы, Иродов И.Е., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014

5. ЭИ К 93 Курс физики Т. 3 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, , : , 2022

6. ЭИ Д 30 Математические основы квантовой механики : учебное пособие, Демидович Б. П., Санкт-Петербург: Лань, 2022

7. ЭИ К31 Методы Монте-Карло для физических систем : учебное пособие, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

8. ЭИ К31 Методы точной диагонализации в квантовой физике : учебное пособие, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

9. ЭИ С 12 Основы теоретической физики. В 2-х тт. Том 2. Квантовая механика : учебное пособие, Савельев И. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022

10. ЭИ И 85 Расшифровка кристаллической структуры материала по дифракционному спектру методом Ритвельда : Лабораторная работа, Крымская О.А., Перлович Ю.А., Исаенкова М.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2019

11. ЭИ Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : , Маймистов А.И., Николаев И.Н., Москва: МИФИ, 2009

12. ЭИ С50 Сборник задач по физике конденсированного состояния : учебное пособие для вузов, Исаенкова М.Г., Елманов Г.Н., Смирнов Е.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

13. ЭИ З-24 Сборник задач по физическому материаловедению : учебно-методическое пособие, Залужный А.Г., Исаенкова М.Г., Елманов Г.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2021

14. ЭИ К31 Современные проблемы физики конденсированного состояния : , Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: МИФИ, 2008

15. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, Кашурников В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

16. 539.2 С 87 Структура и свойства твердых тел : учеб. пособие, Рудаков С.Г. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2018

17. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2024

18. 53 Л22 Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика.Ч.1, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2013

19. 539.2 Н 62 Технология конструкционных материалов. Анализ поверхности методами атомной физики : учеб. пособие для вузов, Никитенков Н.Н., Москва: Юрайт, 2020

20. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.1 Физика твердого тела, , : МИФИ, 2007

21. 536 К31 Численные методы квантовой статистики : , Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: Физматлит, 2010

22. ЭИ К 31 Численные методы квантовой статистики : учебное пособие, Красавин А. В., Кашурников В. А., Москва: Физматлит, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч., М.: МедиаСтар, 2006

2. 538.9 Б87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : , Кульбачинский В.А., Брандт Н.Б., Москва: Физматлит, 2016

3. ЭИ К 89 Материаловедение: монокристаллические жаропрочные никелевые сплавы : учебное пособие для вузов, Кузнецов В. П.  [и др.], Москва: Юрайт, 2022

4. ЭИ А47 Нейтронные методы в физике конденсированного состояния : учебное пособие для вузов, Менушенков А.П., Алексеев П.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

5. 621.3 С49 Основы материаловедения и технологии полупроводников : Учеб. пособие для вузов, Случинская И.А., Москва: МИФИ, 2002

6. 539.1 И 85 Расшифровка кристаллической структуры материала по дифракционному спектру методом Ритвельда : Лабораторная работа, Крымская О.А., Перлович Ю.А., Исаенкова М.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2019

7. 539.2 Г95 Физика твердого тела : учеб. пособие для техн. ун-тов, Гуревич А.Г., СПб: Невский диалект; БХВ-Петербург, 2004

8. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.1 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979

9. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.2 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979

10. ЭИ Р 15 Электротехническое материаловедение : учебное пособие, Радченко М. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Freemat (http://freemat.sourceforge.net)

2. Компилятор Fortran (http://gcc.gnu.org/wiki/GFortran)

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. сайт кафедры №70 НИЯУ МИФИ (http://kaf70.mephi.ru/)

2. сайт Американского физического общества (http://www.aps.org)

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса необходимо твердо усвоить современные представления о кристаллических структурах, о методах их экспериментального определения, о фононной и электронной подсистемах твердого тела, о классификации твердых тел. Следует изучить основные методы определения фононного спектра, плотности фононных состояний. Понимать значение фактора Дебая-Валлера в амплитуде рассеяния. Иметь представление о дефектах структуры, об элементарных возбуждениях. Знать особенности ионной связи, расчета постоянной Маделунга.

Необходимо уметь оценивать характерные параметры различных подсистем в конденсированной фазе, уметь ориентироваться в многообразии физических явлений твердого состояния. Знать особенности электронной подсистемы твердого тела, вид блоховской волновой функции, особенности зонной структуры и движения блоховского электрона во внешних полях. Уметь объяснить различие металла и диэлектрика, полуметалла и полупроводника. Рассчитывать статистику электронов и дырок, понимать значение эффективной массы для динамики носителей заряда. Знать основные методы определения концентрации носителей и знака их заряда, методы расчета зонной структуры, примесных состояний.

Небходимо владеть современными теоретическими представлениями при описании взаимодействий атомов и электронных оболочек в кристалле, о термодинамических, оптических, магнитных и электрофизических свойствах твердых тел, а также представлять основные резонансно-магнитные и другие экспериментальные методы.

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо дать студентам основные представления об электронной и фононной подсистемах твердого тела.

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: уравнения математической физики, квантовая механика, макроэлектродинамика, теория вероятностей, статистическая физика и термодинамика. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо проверить умение работать с операторами, знать дифференциальное и интегральное исчисление, тензорный и векторный анализ, статистику и термодинамику, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах. Необходимо, чтобы студенты ориентировались в задачах квантовой механики и статистической физики, основные квантовые и классические распределения, элементы квантовой статистики. В процессе освоения материала следует дать основные представления об электронной и фононной подсистемах твердого тела, о классификации межатомных связей, слагающих кондесированное состояние, о различных методах экспериментального исследования этих подсистем. Следует рассказать об основных общепринятых теоретических представлениях о физических процессах в твердых телах, об отличии твердого состояния от других агрегатных состояний вещества. Необходимо научить понятию о дальнем и ближнем порядке, о дефектах кристаллической структуры, о кинетических и термодинамических свойствах и моделях, описывающих эти свойства.

Автор(ы):

Кашурников Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н.,
профессор

Кузнецов Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.

Конюхов Игорь Юрьевич