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 3)

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**
8	3-4	108-144	24	24	0		24-60	0	Э
Итого	3-4	108-144	24	24	0	0	24-60	0	

АННОТАЦИЯ

Курс является одним из центральных в обучении студентов 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

Курс является одним из центральных в обучении студентов 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.

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			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в	Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов	ПК-5.1 [1] - Способен работать над проектами в области разработки полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий, оптоэлектронных приборов, тонкопленочных	З-ПК-5.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: энергетические зоны; классификация кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, физику металлов,

соответствии с утвержденными планами и методиками исследований. участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок;		покрытий и наноструктурированных материалов. *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.049	понятие квазичастицы; квазиимпульса, энергетического спектра, эффективной массы и заряда квазичастиц; колебания кристаллической решетки и фононы, основы физики полупроводников, основы физики наноструктур; У-ПК-5.1[1] - уметь применять основные модели физики твердого тела, оценочные соотношения физики полупроводников и наноструктур для оценки параметров эксперимента; В-ПК-5.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел, терминологией энергетических зон, квазичастиц и размерного квантования
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований.	Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов.	ПК-14.2 [1] - Способен проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния вещества с целью разработки полупроводниковых, сверхпроводниковых, тонкопленочных и наноструктурированных материалов, сверхпроводящих устройств и оптоэлектронных	З-ПК-14.2[1] - знать основные современные достижения физики твердого тела и возможности современной экспериментальной техники; основы физической оптики, теорию интерференции, дифракции, основы атомной и молекулярной спектроскопии; способы и методы

участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок, участие во внедрении результатов исследований и разработок.		приборов; в области оптического приборостроения, оптических материалов и технологий; в области лазерной физики с целью создания новых эталонов, методик ведения измерений и средств измерений с их последующей аттестацией и вводом в реестр средств измерений для нужд нанометрологии *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.049	создания новых эталонов.; У-ПК-14.2[1] - уметь построить математическую модель явления, рассчитать схему эксперимента, провести оценки параметров материалов, выбрать необходимые материалы и методики для решения конкретных задач с учетом дальнейшего применения в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики конденсированного состояния вещества и средств измерений.; В-ПК-14.2[1] - владеть основами спектроскопии атомов и молекул, методиками ведения измерений и средств измерений; методами получения, анализа и описания параметров и характеристик процессов в экспериментальных установках физики твердого тела и лазерной физики.
участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в	ПК-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области *Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001, 25.035,	З-ПК-2[1] - Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. ; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и

математической модели явления, аналитические и численные расчеты создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок	области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	25.049, 40.011	методов исследований в избранной предметной области ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.
сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике,	ПК-3 [1] - Способен применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач *Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001, 25.049, 40.011	З-ПК-3[1] - Знать численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач. ; У-ПК-3[1] - Уметь применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач.; В-ПК-3[1] - Владеть навыками решения дифференциальных и интегральных уравнений численными методами для физико-технических задач.

проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации;	технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.		
конструкторско-технологический			
Создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей.	комплексы программ для научно-исследовательских и прикладных целей	ПК-5.3 [1] - Способен к проведению математического моделирования для прототипа или макета разрабатываемого прибора физики твердого тела *Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001	З-ПК-5.3[1] - знать современные теоретические представления и математические модели при описании взаимодействий атомов и электронных оболочек в кристалле, термодинамических, оптических, магнитных и электрофизических свойств твердых тел, наноструктур, сверхпроводников; У-ПК-5.3[1] - уметь сформулировать математическую модель для прототипа или макета разрабатываемого прибора физики твердого тела; В-ПК-5.3[1] - владеть основными теоретическими моделями для описания термодинамических, оптических, магнитных и электрофизических свойств твердых тел, наноструктур и сверхпроводников

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
	8 Семестр						
1	Часть 1	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, З-ПК-5.3, У-ПК-5.3, В-ПК-5.3, З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
2	Часть 2	9-12	8/8/0		25	КИ-12	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, З-ПК-5.3, У-ПК-5.3, В-ПК-5.3, З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
	Итого за 8 Семестр		22/22/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2,

							З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-5.1, У-ПК-5.1, В-ПК-5.1, З-ПК-5.3, У-ПК-5.3, В-ПК-5.3, З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2

* – 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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	8 Семестр	22	22	0
1-8	**Часть 1**	16	16	0
1	**Тема 1. Поглощение в полупроводниках** Прямые, непрямые переходы. Экситонное поглощение. Примеси и свободные носители.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Тема 2. Фотопроводимость** Фотомагнитный эффект. Вывод формулы для ЭДС фотомагнитного эффекта. Фотомагнитомеханический эффект. Люминесценция. Флюоресценция. Механизмы люминисценции в полупроводниках	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	**Тема 3. Сегнетоэлектричество** Сегнетова соль. Физические основы. Применение	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	**Тема 4. Эффект Холла в полупроводниках** Коэффициент Холла и магнитосопротивление. Температурная и полевая зависимость. Методы измерения и интерпретации экспериментальных данных. Эффект Эттингсгаузена Особенности поведения магнитосопротивления для многозонных веществ.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	**Тема 5. Гетероструктуры на основе полупроводников** Уровни размерного квантования и двумерный электронный газ. Сверхрешетки. Квантовый эффект Холла	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		

		0	0	0
6	**Тема 6. Циклотронный резонанс** Циклотронный резонанс, эксперимент Азбеля-Каннера. Эффективная циклотронная масса. Получение информации о зонной структуре.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Тема 7. Эффект де-Гааза-ван-Альфена** Уровни Ландау. Условия проведения эксперимента. Построение поверхностей Ферми. Гигантские квантовые осцилляции поглощения ультразвука в металлах. Восстановление зонной структуры.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	**Тема 8. Гамма-резонансная спектроскопия** Эффект Мессбауэра, «мессбауэровские» изотопы. Интерпретация мессбауэровских спектров. Изомерный сдвиг. Квадрупольное расщепление, расщепление уровней ядра в магнитном поле соседних электронов. Фактор Лэмба-Мессбауэра. Влияние температуры на мессбауэровские спектры	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Тема 9. Аннигиляция позитронов в веществе** Аннигиляция позитронов в веществе – диагностика электронной структуры. Основы метода. Источники позитронов. Схема эксперимента для измерений двухквантовой аннигиляции позитронов. Интерпретация экспериментальных данных. Комптоновское рассеяние как альтернатива аннигиляционного метода.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	**Часть 2**	8	8	0
9	**Тема 10. Метод ядерного магнитного резонанса в физике твердого тела** Основы метода. Спектры ЯМР. Продольная и поперечная релаксация. Ядра, представляющие интерес для ЯМР-спектроскопии. Интерпретация спектров ЯМР: положение, интенсивность, дисперсия тонкой структуры. Сдвиг Найта.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9	**Тема 11. Метод электронного парамагнитного резонанса** Основы метода. Отличия метода ЭПР от ЯМР-метода. Спектры ЭПР, спин-решеточная и спин-спиновая релаксация. Интерпретация спектров ЭПР.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Тема 12. Двойные резонансы** Акустический парамагнитный резонанс, акустический ядерный магнитный резонанс, двойной электронно-ядерный резонанс. Общие представления.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	**Тема 13. Фотоэмиссия и EXAFS** Фотоэмиссионные и инверсные фотоэмиссионные спектры. Методы XANES, EXAFS – исследование электронной подсистемы твердого тела.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	**Тема 14. Жидкие кристаллы** Смектики и нематики. Элементарное описание. Применение.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	8 Семестр
1 - 3	**Радиоспектроскопия электронного парамагнитного резонанса (лабораторная работа №1)** Цель работы: изучение явления электронного парамагнитного резонанса и экспериментальных методов его наблюдения.
4 - 6	**Спектрометр ядерного магнитного резонанса (лабораторная работа №2)** Цель работы: изучение явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и экспериментальных методов его наблюдения.
7 - 8	**Измерение ширины запрещенной зоны в полупроводнике (лабораторная работа №5).** Цель работы: определение ширины запрещенной зоны в полупроводнике по температурной зависимости электропроводности и постоянной Холла.
9 - 10	**Ферромагнитный резонанс (лабораторная работа №15)** Цель работы: изучение явления ферромагнитного резонанса и экспериментальных методов его наблюдения.
11 - 12	**Эффект Фарадея.** Цель работы: ознакомление с гистерезисными свойствами магнитных пленок на примере исследования висмутсодержащего граната с помощью эффекта Фарадея.

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	8 Семестр
1	**Тема 1. Поглощение** Спектр поглощения света. Собственное поглощение при прямых и непрямых переходах.: край поглощения, зависимость коэффициента поглощения от энергии. Спектры экситонного поглощения. Поглощение инфракрасного излучения свободными носителями и решеткой. Характерные линии примесного поглощения.
2	**Тема 2. Фотопроводимость в магнитном поле** Фотопроводимость в магнитном поле: зависимость фотоЭДС и тока короткого замыкания от величины поля и интенсивности излучения. Четный и нечетный фотомагнитоэлектрический эффект. Циркуляция поверхностного тока при ФМЭ. Люминесценция и люминофоры. Классификация люминесценции по типу возбуждения, длительности свечения и механизму элементарных процессов. Стоксова и антистоксова люминесценция. Краевая и экситонная люминесценция в полупроводниках, центры свечения
3	**Тема 3. Сегнетоэлектричество**

	Поляризационная катастрофа и критерий сегнетоэлектричества для нейтральных атомов. Сгнетоэлектричество ионных кристаллов, роль низкочастотных оптических фононов. Антисегнетоэлектричество и пьезоэлектричество.
4	**Тема 4. Особенности гальваномагнитных явлений в полупроводниках** Особенности гальваномагнитных явлений в полупроводниках: температурная зависимость коэффициента Холла, холловская подвижность вырожденных и невырожденных полупроводников. Учет влияния эффекта Эттингсгаузена в измерениях коэффициента Холла. Поперечный и продольный магнитрезистивный эффект многозонных полупроводников.
5	**Тема 5. Квантовый эффект Холла** Квантовый эффект Холла в инверсионном слое в поперечном поле: целый и дробный эффекты, условия наблюдения. Основы описания эффекта: двумерный электронный газ и квантовая жидкость, роль локализованных состояний. Метрологические применения.
6	**Тема 6. Циклотронный резонанс** Циклотронный резонанс: условия наблюдения, особенности измерений в СВЧ и инфракрасном диапазонах. Определение компонент тензора эффективной массы носителей при измерениях циклотронного резонанса вдоль различных направлений кристаллической решетки.
6	**Тема 7. Применение эффекта де-Гааза-ван-Альфена** Применение эффекта де-Гааза-ван-Альфена в исследованиях топологии поверхности Ферми: связь площади экстремальных сечений с периодом осцилляций магнитной восприимчивости. Условия проведения эксперимента, преимущества метода по сравнению с другими методами исследования поверхности Ферми.
7	**Тема 8. Акустоэлектронное взаимодействие в металлах и полупроводниках** Поглощение ультразвука в сильных магнитных полях: условия наблюдения квантовых осцилляций в металлах и вырожденных полупроводниках и акустического циклотронного резонанса в невырожденных полупроводниках. Восстановление зонной структуры.
8	**Тема 9. Изучение локальной структуры с помощью мессбауэровской спектроскопии** Изучение локальной структуры с помощью мессбауэровской спектроскопии: изомерный сдвиг и локальная электронная структура; квадрупольный дублет и градиент кристаллического поля; сверхтонкая структура и распределение электронной и спиновой плотности. Мессбауэровские изотопы и температурная зависимость спектров.
9	**Тема 10. ЯМР спектроскопия** Спин-спиновое и спин-решеточное взаимодействие и времена продольной и поперечной релаксации. Форма ЯМР линии и ее расщепление. Химический сдвиг и сдвиг Найта. Принципиальная схема ЯМР-спектрометра, условия измерения эффекта. Акустический ядерный магнитный резонанс.
10	**Тема 11. ЭПР спектроскопия** ЭПР спектроскопия: тонкая структура уровней в кристаллическом поле, взаимодействие с магнитными моментами ядер, сверхтонкая и суперсверхтонкая структура линий. Времена спин-спиновой и спин-решеточной релаксации. Эффект насыщения. Принципиальная схема ЭПР-спектрометра, условия измерения эффекта. Акустический парамагнитный резонанс.
11	**Тема 12. Масс-спектрометрия** Основные методы исследования элементного состава сложных соединений. Масс-спектрометрия и рентгеновский флуоресцентный анализ, преимущества и недостатки обоих методов. Применение обратного резерфордовское рассеяние для анализа состава тонких слоев.

12	**Тема 13. Фотоэлектронная и оже-спектроскопия** Фотоэлектронная и оже-спектроскопия – методы исследования электронной структуры поверхности. Рентгеновская спектроскопия поглощения – метод исследования локальной кристаллической и электронной структуры кристаллических и аморфных тел. Структура края поглощения – XANES спектроскопия, далекая тонкая структура осцилляций поглощения – EXAFS спектроскопия.

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	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-12
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-12
ПК-5.1	З-ПК-5.1	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-5.1	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-5.1	Э, КИ-8, КИ-12
ПК-5.3	З-ПК-5.3	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-5.3	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-5.3	Э, КИ-8, КИ-12
ПК-14.2	З-ПК-14.2	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-14.2	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-14.2	Э, КИ-8, КИ-12

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 А 71 Введение в теорию полупроводников : , Ансельм А. И., Санкт-Петербург: Лань, 2022

2. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч., М.: МедиаСтар, 2006

3. ЭИ Л12 Лабораторный практикум "Механика твердого тела" : , Щербачев О.В. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

4. 539.1 О-75 Основы ядерного магнитного резонанса : учеб. пособие, , Москва: Вузовский учебник, 2018

5. ЭИ Д 14 Поверхностные свойства сплавов на основе свинца, олова, индия, кадмия : учебное пособие, Кутуев Р. А., Дадашев Р. Х., Созаев В. А., Москва: Физматлит, 2016

6. ЭИ П 19 Полупроводниковые приборы : Учебное пособие для вузов, Пасынков В. В., Чиркин Л. К., Санкт-Петербург: Лань, 2022

7. ЭИ И 87 Полупроводниковые термоэлектрические энергоэффективные устройства : учебное пособие, Гаджиев Х. М., Исмаилов Т. А., Санкт-Петербург: Лань, 2021

8. 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

9. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Шалимова К. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022

10. 621.38 С 77 Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебник для академического бакалавриата, Старосельский В.И., Москва: Юрайт, 2019

11. ЭИ С 77 Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов, Старосельский В. И., Москва: Юрайт, 2022

12. ЭИ Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : лабораторный практикум, Троян В.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

13. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.1 Физика твердого тела, , : МИФИ, 2007

14. ЭИ Е74 Фотопреобразователи солнечной энергии : учебное пособие для вузов, Литвин Н.В., Ермолаева Н.В., Смолин А.Ю., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

15. 621.38 Э41 Экстремальная электроника : текст лекций, Чумаков А.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

16. ЭИ Э 94 Эффект Холла в германии, легированном золотом : Лабораторный практикум, Подливаев А.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 К31 Вычислительные методы в квантовой физике : учеб. пособие для вузов, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: МИФИ, 2005

2. 537 И 39 Изучение эффекта Холла в полупроводниках : Методические указания к выполнению лабораторной работы, , Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019

3. 538.9 Б87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : , Кульбачинский В.А., Брандт Н.Б., Москва: Физматлит, 2016

4. ЭИ С 65 Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебное пособие, Лазарева Н. П., Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Санкт-Петербург: Лань, 2022

5. ЭИ П 30 Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие, Гудков Г. В., Петров М. Н., Санкт-Петербург: Лань, 2021

6. 621.3 С49 Основы материаловедения и технологии полупроводников : Учеб. пособие для вузов, Случинская И.А., Москва: МИФИ, 2002

7. ЭИ Б 83 Полупроводник и ферромагнетик монооксид европия в спинтронике : учебное пособие, Трошин А. В., Борухович А. С., Санкт-Петербург: Лань, 2022

8. 537 К31 Релаксационные колебания в лазерах : , Кащенко С.А., Григорьева Е.В., Москва: Либроком, 2013

9. ЭИ К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, , М.: МИФИ, 2001

10. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, Кашурников В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

11. ЭИ А 46 Технология полупроводниковых материалов : , Греков Ф. Ф., Александров С. Е., Санкт-Петербург: Лань, 2022

12. 539.2 К 89 Тонкопленочные гетерокомпозиции на основе карбида кремния. Особенности получения гетерокомпозиций на основе карбида кремния. : , Каргин Н.И., Сафаралиев Г.К., Кузнецов Г.Д., Москва: Физматлит, 2019

13. ЭИ Е50 Физика и техническое применение наноструктур : лабораторный практикум, Катеев И.Ю., Елесин В.Ф., Безотосный И.Ю., Москва: МИФИ, 2008

14. 539.2 Г95 Физика твердого тела : учеб. пособие для техн. ун-тов, Гуревич А.Г., СПб: Невский диалект; БХВ-Петербург, 2004

15. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.1 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979

16. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.2 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979

17. 621.38 Е74 Фотопреобразователи солнечной энергии : учебное пособие для вузов, Литвин Н.В., Ермолаева Н.В., Смолин А.Ю., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

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)

3. сайт издательства Elsevier ()

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