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 2)

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**
7	4-5	144-180	32	48	0		28-64	0	Э
Итого	4-5	144-180	32	48	0	0	28-64	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**
экспертно-аналитический			
Сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и	Результаты исследований, научные и аналитические отчеты.	ПК-14.1 [1] - Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в	З-ПК-14.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: энергетические зоны; классификацию веществ с точки зрения зонной теории, основы

методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий.		приборах физики твердого тела, лазерных и плазменных установках, системах квантовой логики на основе ультрахолодных атомов и ионов в ловушках *Основание:* Профессиональный стандарт: 29.004	физики металлов, полупроводников и наноструктур; основные свойства и теоретические модели, описывающие ультрахолодные атомы и ионы в ловушке.; У-ПК-14.1[1] - уметь сформулировать математическую модель для прототипа или макета разрабатываемого прибора физики твердого тела, лазерной или плазменной установки.; В-ПК-14.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел, терминологией энергетических зон, квазичастиц и размерного квантования, методами компьютерного моделирования физических процессов.
научно-исследовательский			
выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты	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-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.035, 40.011	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 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.
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 *Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001, 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.
конструкторско-технологический			
участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей	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-7 [1] - Способен к разработке прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований *Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001, 29.004	З-ПК-7[1] - Знать текущее положение современных научных достижений, современные методы и алгоритмы для разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований. ; У-ПК-7[1] - Уметь применять современные методы и алгоритмы для разработки наукоемкого программного обеспечения.; В-ПК-7[1] - Владеть навыками разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных

			исследований.

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	**Задачи воспитания (код)**
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (В20)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)

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**
	7 Семестр						
1	Часть 1	1-8	16/24/0		25	КИ-8	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Часть 2	9-16	16/24/0		25	КИ-16	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3,

							В-ПК-3, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	Итого за 7 Семестр		32/48/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1

* – 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.**
	7 Семестр	32	48	0
1-8	**Часть 1**	16	24	0
1 - 2	**Тема 1. Металлическая связь** Электронный газ и статистика Ферми-Дирака. Плотность электронных состояний. Уровень Ферми. Средняя энергия электронов. Электронный вклад в теплоемкость. Когезионная энергия металла. Обменное взаимодействие. Параметр r_s.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	**Тема 2. Кинетические явления в металле** Модель Друде-Лоренца. Электропроводность, диэлектрическая проницаемость. Длина свободного пробега. Скин-эффект. Время релаксации и концентрация примесей. Закон Видемана-Франца. Фононы в металле.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	**Тема 3. Движение электрона в периодическом потенциале** Блоховские электроны. Зоны Бриллюэна. Понятие о дырке. Эффективная масса. Проводимость в зонной схеме. Металлы и диэлектрики. Приближение эффективной массы. Приближение сильной связи. Узельная схема и	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

	закон дисперсии в реальном веществе. Поверхность Ферми.			
7 - 8	**Тема 4. Эффект Холла в металле** Коэффициент Холла и магнитосопротивление. Угол Холла. Методы измерения и интерпретации экспериментальных данных.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	 6 0	 0 0
9-16	**Часть 2**	16	24	0
9 - 10	**Тема 5. Термоэлектрические эффекты** Кинетическое уравнение во внешних полях и градиенте температуры. Термоэлектрическая матрица. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томпсона. Вывод формулы для коэффициента термоЭДС, для эффекта Томпсона.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	 6 0	 0 0
11 - 12	**Тема 6. Термодинамика полупроводников** Собственный полупроводник. Концентрация электронов и дырок. Закон действующих масс. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике. Подвижность. Температурная зависимость. Примесный полупроводник. Температурная зависимость концентрации носителей. Примесная зона. Полуметаллические состояния.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	 6 0	 0 0
13 - 14	**Тема 7. Генерация и рекомбинация во внешних полях. Нелинейные эффекты** Равновесные и неравновесные носители заряда. Время жизни. Квазиуровень Ферми. Рекомбинация. Линейная и квадратичная. Генерация, диффузия и дрейф в примесном полупроводнике. Соотношения Эйнштейна. Полупроводники в сильных электрических полях. Рассеяние на фононах. ВАХ N-типа. Эффект Ганна. Ударная ионизация. Туннельный эффект. Излучательная рекомбинация. Безизлучательная рекомбинация. Кинетика носителей заряда. Время жизни. Глубокие примеси. Рекомбинация ОЖЕ. Диффузия и дрейф	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	 6 0	 0 0
15 - 16	**Тема 8. Контактные явления в полупроводниках** Контакт металл – полупроводник. Область обедненного заряда. Запорный слой. Антизапорный слой. Барьер Шоттки. Элементарные представления о p-n- переходе. Выпрямление. Вывод вольтамперной характеристики. Квазиуровень Ферми на границе раздела. Туннельные диоды. Гетеропереход.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	 6 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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	**Темы занятий / Содержание**
	7 Семестр
1 - 2	**Тема 1. Металлическая связь** Теплоемкость металла. Физические причины слабого затухания низкотемпературной теплоемкости металла. Статистика фононов и электронов. Химический потенциал электронов. Квазичастица «свободный электрон», ее эффективная масса, изотропный металл. Плотность электронов в металлах. Поверхность Ферми. Энергия Ферми, средняя энергия, скорость Ферми и их зависимость от концентрации электронов. Кратность вырождения электронных состояний. Вывод формулы для теплоемкости металла. Плотность состояний на поверхности Ферми. Температурная зависимость химического потенциала. Аналитические выражения и оценки величин для изотропного металла.
3 - 4	**Тема 2. Кинетические явления** Кинетическое уравнение. Вывод формулы для проводимости в приближении времени релаксации. Проводимость изотропного металла, формула Друде-Лоренца. Оценка количества электронов, возбуждаемых воздействием малой энергии, количество электронов, участвующих в электропроводности. Длина свободного пробега. Основные каналы рассеяния электронов в металле. Температурная зависимость сопротивления. Оценка характерных величин длин свободного пробега и времен релаксации. Методы измерения сопротивления. Скин-эффект. Проводимость в переменном поле. Частотная зависимость глубины скин-слоя и импеданса. Нормальный и аномальный скин-эффект. Исследование топологии поверхности Ферми в измерениях ВЧ импеданса. Методы измерения импеданса. Палазменные колебания. Прозрачность металла в ультрафиолетовом диапазоне.
5 - 6	**Тема 3. Зонная структура металла** Рассмотрение расширенной, повторяющейся и приведенной зонной схем на энергетических зон при квази-параболическом законе дисперсии. Принцип заполнения электронных состояний и заполнение зон квадратной решетки. Построение четырех первых зон Бриллюэна. Эволюция вида поверхности Ферми в зависимости от количества электронов, электронные и дырочные зоны. Теорема Латтинжера
7	**Тема 4. Гальваномагнитные явления** Коэффициент Холла в металлах с замкнутой поверхностью Ферми. Электронные и дырочные металлы. Эффект Холла в ферромагнитных металлах: обыкновенный и аномальный коэффициенты Холла. Четырех и пятиконтактные схемы измерения коэффициента Холла. Холловские датчики.
8	**Тема 5. Термоэлектрические эффекты** Тепло Томсона, температурная зависимость коэффициента Томсона. Тепло Пельтье, связь между коэффициентами Пельтье и Томсона. Элементы Пельтье. Эффект Зеебека, связь между термоЭДС и теплом Пельтье. Термопары для измерения высоких и низких температур, дифференциальные термопары
9 - 10	**Тема 6. Зонная структура и термодинамика полупроводников** Симметрия зоны Бриллюэна и количество долин в кремнии и германии, эффективные массы носителей в долинах и валентных зонах. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Плотность состояний в валентной зоне и зоне проводимости. Ширина запрещенной зоны кремния и германия и ее температурная зависимость. Расчет концентрации собственных носителей в германии. Сравнение собственной проводимости германия и кремния с проводимостью металлов. Легированные

	полупроводники. Донорные и акцепторные примеси, мелкие и глубокие примесные уровни, характерные глубины залегания однозарядных примесных уровней в германии и кремнии. Полупроводники p и n типа, компенсированные полупроводники. Температурная зависимость концентрации носителей, зависимость ширины области насыщения от ширины запрещенной зоны, глубины залегания примесного уровня и концентрации легирующей примеси.
11	**Тема 7. Неравновесные носители заряда** Монополярная и биполярная генерация. Типы рекомбинации: излучательная, безизлучательная и ударная (Оже). Центры рекомбинации и прилипания. Сечения захвата электронов и дырок. Связь времени жизни носителей с параметрами полупроводника и ловушек в модели Шокли-Рида. Характерные времена жизни носителей в собственных и примесных полупроводниках.
12 - 13	**Тема 8. Диффузия и дрейф** Неоднородные пространственные распределения неравновесных носителей. Поверхностная генерация и рекомбинация. Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф. Диффузионная длина и радиус экранирования. Биполярная диффузия. Установление электронейтральности при биполярной диффузии. Эффект Дембера. Расчет напряжения между освещенной и неосвещенной поверхностью полупроводника при поверхностном поглощении света.
14 - 15	**Тема 9. Контактные явления** Оценка основных характеристик p-n- перехода: величины потенциального барьера, ширины двойного обедненного слоя, напряженности поля в обедненном слое, емкости перехода. Инжекция и экстракция. Лавинный пробой. Световая генерация и рекомбинация носителей в p-n- переходах. Вентильный фотоэффект: плотность тока короткого замыкания, напряжение холостого хода. Светодиод: соотношение между излучаемой энергии и выделяемым теплом, между длиной волны излучения и масштабом напряжения на переходе. Полупроводниковый лазер.

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-14.1	З-ПК-14.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-14.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-14.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16

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. 669 И85 Закономерности развития кристаллографической текстуры и субструктурной неоднородности в циркониевых сплавах при деформации и термообработке : монография, Перлович Ю.А., Исаенкова М.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

4. ЭИ К 93 Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3-х тт. Т. 2 Курс дифференциального и интегрального исчисления, , : , 2022

5. ЭИ С 89 Материаловедение: методы исследования структуры и состава материалов : учебное пособие для вузов, Суворов Э. В., Москва: Юрайт, 2022

6. ЭИ Б 91 Основы полупроводниковой электроники : учебное пособие, Бурбаева Н. В., Москва: Физматлит, 2012

7. ЭИ А 16 Основы теории металлов : учебное пособие, Абрикосов А. А., Москва: Физматлит, 2010

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

9. ЭИ Н 62 Рефлектометрия поляризованных нейтронов : , Никитенко Ю. В., Сыромятников В. Г., Москва: Физматлит, 2013

10. 538 С50 Сборник задач по физике конденсированного состояния : учебное пособие для вузов, Исаенкова М.Г., Елманов Г.Н., Смирнов Е.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

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

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

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

14. ЭИ М12 Эффект Фарадея в магнитных плёнках : лабораторный практикум по курсу физики конденсированного состояния: учебное пособие для вузов, Маврицкий О.Б., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П 18 Введение в квантовую физику : , Паршаков А. Н., Санкт-Петербург: Лань, 2022

2. 53 К31 Вычислительные методы в квантовой физике : учеб. пособие для вузов, Красавин А.В., Кашурников В.А., Москва: МИФИ, 2005

3. 539.1 И39 Изучение аннигиляции позитрона : Лаб.работа N12, , М.: МИФИ, 2004

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

5. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, Кашурников В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

6. 539.2 Г95 Физика твердого тела : учеб. пособие для техн. ун-тов, Гуревич А.Г., СПб: Невский диалект; БХВ-Петербург, 2004

7. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.1 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979

8. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.2 , Ашкрофт Н. , М.: Мир, 1979

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