

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	3	108	32	16	0	33	0	Э
8	2	72	12	24	0	9	0	Э
Итого	5	180	44	40	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

Основные области физики твердого тела, изучение которых предусмотрено программой курса и специализацией групп по лазерной физике. Рассматриваются основы кристаллографии, а также методы определения кристаллических структур, различные виды кристаллических связей и дефектов в твердых телах. Описаны колебания кристаллической решетки атомов и обосновано введение понятия «фонон». Основное внимание уделяется металлам и полупроводникам в соответствии с требованиями специализации группы. Поэтому подробно обсуждается зонная теория кристаллов наряду со связью зонной структуры с электрическими свойствами металлов и полупроводников. Также даны основы контактных явлений и детальный анализ работы р-п перехода в качестве одного из основных элементов полупроводниковых лазеров.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

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 уметь 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 ориентироваться в задачах квантовой механики и статистической физики, основные квантовые и классические распределения, элементы квантовой статистики.

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	Объект или	Код и наименование	Код и наименование
--------	------------	--------------------	--------------------

профессиональной деятельности (ЗПД)	область знания	профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательской			
<p>Разработка лазерных и оптических технологий; анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики; экспериментальные исследования в области фотоники и оптоинформатики новых явлений, материалов, систем и устройств</p>	<p>Лазерные технологии, элементы в составе лазерных систем, оптические материалы и детали, дифракционные оптические элементы, голограммы</p>	<p>ПК-1 [1] - способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1[1] - Знать современное состояние развития фотоники и оптоинформатики ; У-ПК-1[1] - уметь анализировать исходные требования при решении задач в области фотоники и оптоинформатики проводить поиск научнотехнической информации по теме решаемой задачи уточнять и корректировать требования к решаемой задаче в области фотоники и оптоинформатики ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками анализа простых исследовательских задач в области фотоники и оптоинформатики</p>
<p>Разработка лазерных и оптических технологий; анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики; экспериментальные исследования в области фотоники и оптоинформатики новых явлений, материалов, систем и устройств</p>	<p>Лазерные технологии, элементы в составе лазерных систем, оптические материалы и детали, дифракционные оптические элементы, голограммы</p>	<p>ПК-3 [1] - способен к наладке, настройке, юстировке и опытной проверке приборов и систем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-3[1] - знать основы теории измерений основы работы с измерительной аппаратурой основы оптикофизических измерений; ; У-ПК-3[1] - Уметь пользоваться основными измерительными и сервисными приборами юстировать оптические установки ;</p>

			В-ПК-3[1] - Владеть методами и приемами наладки, настройки, юстировки и опытной проверки приборов и систем
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное	Создание условий,	1.Использование

воспитание	обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	<p>воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
------------	--	---

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	16/8/0		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Раздел 2	9-16	16/8/0		25	КИ-16	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>8 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-

							3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 1
2	Раздел 2	9-12	4/8/0		25	КИ-12	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	16	0
1-8	Раздел 1	16	8	0
1	Кристаллические структуры	Всего аудиторных часов		

	Основные определения, решетка Браве, элементарная ячейка, примитивная ячейка, ячейка Вигнера-Зейтца, базисные векторы. Примеры ОЦК и ГЦК решеток, координационные сферы, коэффициент заполнения. Оси симметрии.	2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	Типы химических связей в твердых телах Классификация твердых тел. Молекулярные кристаллы, их основные физические свойства. Потенциал Леннарда-Джонса, когезионная энергия, модуль упругости. Ионные кристаллы, их основные физические свойства. Потенциал Борна-Майера, постоянная Маделунга, модуль упругости. Валентные и полупроводниковые кристаллы, их основные физические свойства. Металлические кристаллы, их основные физические свойства. Кристаллы с водородной связью, квантовые кристаллы	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Обратная решетка Определение, базисные векторы, объем, атомная плоскость, индексы Миллера. Условие дифракции. Построение Эвальда, Бриллиуна. Основные методы определения кристаллических структур из рентгеновского рассеяния (Лауэ, качаний, Дебай-Шерер).	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Дефекты в кристаллах Фононы. Дефекты по Шоттки, по Френкелю. F - центры. Дефекты в ионных кристаллах. Дислокации, поляроны и экситоны.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	Фононы - колебания кристаллической решетки Спектры фононов. Основные свойства фононных мод. Оптические, акустические ветви, поляризация. Способы определения спектров из взаимодействия с электромагнитной волной, из нейтронного рассеяния. Модель Дебая и Эйнштейна. Проблемы классической модели. Теплоемкость и способы ее определения. Вклад электронной подсистемы. Решеточная теплопроводность кристаллов. Температурная зависимость. Процессы переброса. Параметры Грюнайзена.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Взаимодействие излучения с периодически расположенными в пространстве центрами рассеяния Амплитуда рассеяния. Атомный, структурный форм-факторы. Влияние разупорядочения. Фактор Дебая-Валлера. Определение фононной плотности состояний	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Раздел 2	16	8	0
9 - 10	Металлическая связь Электронный газ и статистика Ферми-Дирака. Плотность электронных состояний. Уровень Ферми. Средняя энергия электронов. Теплоемкость. Когезионная энергия металла. Параметр rs . Кинетические явления в металле. Модель Друде-Лоренца.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Кинетические явления в металлах Электропроводность, диэлектрическая проницаемость. Длина свободного пробега. Скин-эффект. Время релаксации и концентрация примесей. Закон Видемана-Франца. Фононы в металле.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

12	Носители заряда в зонной схеме Движение электрона в периодическом потенциале. Приближение сильной связи. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса. Блоховские электроны. Понятие о дырке. Проводимость в зонной схеме.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Полупроводники 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. Равновесные и неравновесные носители заряда. Время жизни. Квазиуровень Ферми. Рекомбинация. Линейная и квадратичная. Поглощение света. Прямые и непрямые переходы. Контактная разность потенциала. Генерация, диффузия и дрейф в примесном полупроводнике.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Термоэлектрические эффекты Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томпсона. Вывод формулы для коэффициента термоЭДС.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	Гетероструктуры на основе полупроводников Уровни размерного квантования и двумерный электронный газ. Сверхрешетки.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<i>8 Семестр</i>	12	24	0
1-8	Раздел 1	8	16	0
1	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		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Полупроводники в сильных электрических полях ВАХ N-типа. Эффект Ганна. Туннельный эффект.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Генерация и рекомбинация Излучательная рекомбинация. Безизлучательная рекомбинация. Кинетика носителей заряда. Время жизни. Глубокие примеси. Рекомбинация ОЖЭ.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Фотопроводимость Фотомагнитный эффект. Вывод формул для ЭДС фотомагнитного эффекта. Фотомагнитомеханический эффект. Люминесценция. Флюоресценция. Механизмы люминесценции в полупроводниках.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Сегнетоэлектричество Сегнетова соль. Физические основы. Применение.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

6	Эффект Холла Коэффициент Холла и магнитосопротивление. Угол Холла. Методы измерения и интерпретации экспериментальных данных. Особенности поведения магнитосопротивления для многозонных веществ. Квантовый эффект Холла. Эффект Эттингсгаузена	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Циклотронный резонанс Циклотронный резонанс, эксперимент Азбеля-Канера. Эффективная циклотронная масса. Получение информации о зонной структуре.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	Раздел 2	4	8	0
9	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		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Аннигиляция позитронов в веществе Диагностика электронной структуры. Основы метода. Источники позитронов. Схема эксперимента для измерений двухквантовой аннигиляции позитронов. Интерпретация экспериментальных данных	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Магнитные резонансы: ЯМР, ЭПР 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. 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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Двойные резонансы и методы EXAFS Акустический парамагнитный резонанс, акустический ядерный магнитный резонанс, двойной электронно-ядерный резонанс. Общие представления. Фотоэмиссионные и инверсные фотоэмиссионные спектры. Методы XANES, EXAFS - исследование электронной подсистемы твердого тела.	Всего аудиторных часов		
		1	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 СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 8	Кристаллические структуры Основные определения. Типы химических связей в твердых телах. Обратная решетка. Условие дифракции. Дефекты в кристаллах. Фононы. Амплитуда рассеяния. Атомный, структурный форм-факторы.
9 - 16	Электронная подсистема Металлическая связь. Электронный газ и статистика Ферми-Дирака. Кинетические явления в металлах. Носители заряда в зонной схеме. Зоны Бриллюэна. Эффективная масса. Полупроводники. Термоэлектрические эффекты. Гетероструктуры на основе полупроводников.
	<i>8 Семестр</i>
1 - 6	Полупроводники Контактные явления в полупроводниках. Генерация и рекомбинация. Фотопроводимость. Эффект Холла.
	Экспериментальные методы исследования твердых тел Циклотронный резонанс. Эффект де-Гааза-ван-Альфена. Гамма-резонансная спектроскопия. Аннигиляция позитронов в веществе. Ядерный магнитный резонанс. Электронный парамагнитный резонанс. Фотоэмиссионные и инверсные фотоэмиссионные спектры.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются презентации, обсуждения последних научных работ, новые модели в физике конденсированного состояния. Обязательным условием успешного освоения дисциплины является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-12
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16	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:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А 71 Введение в теорию полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2016
2. 538.9 П30 Основы физики конденсированного состояния : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2013
3. ЭИ П 19 Полупроводниковые приборы : Учебное пособие для вузов, Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 53 Л22 Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика.Ч.1, Москва: Физматлит, 2013
5. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. ЭИ С 77 Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2022
7. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.1 Физика твердого тела, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
8. 621.38 О-62 Оптоэлектроника Ч.1 Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника, , Москва: Янус-К, 2010
9. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.1 Целый и дробный квантовые эффекты Холла, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
10. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, , Москва: Физматлит, 2008
11. 538.9 С24 Сверхтекучесть и бозе-конденсация : учебное пособие для вузов, В. А. Кашурников [и др.], Москва: МИФИ, 2008
12. 536 К31 Численные методы квантовой статистики : , В. А. Кашурников, А. В. Красавин, Москва: Физматлит, 2010
13. ЭИ Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : , И. Н. Николаев, А. И. Маймистов, Москва: МИФИ, 2009
14. 539.2 Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : , И. Н. Николаев, А. И. Маймистов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2009
15. ЭИ К12 Теоретическая физика твердого тела : , Ю. М. Каган, В. Н. Собакин, С. В. Ивлиев, М.: МИФИ, 2009

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 89 Межфазные взаимодействия при гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов : монография, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ А 46 Технология полупроводниковых материалов : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.1 , , М.: Мир, 1979
4. 539.2 А98 Физика твердого тела Т.2 , , М.: Мир, 1979
5. 539.2 Г95 Физика твердого тела : учеб. пособие для техн. ун-тов, А.Г. Гуревич, СПб: Невский диалект; БХВ-Петербург, 2004
6. 530 3-17 Принципы теории твердого тела : , Дж. Займан; Пер. с англ., Москва: Мир, 1966
7. 53 3-17 Принципы теории твердого тела : , Дж. Займан; Пер. со 2-го англ. изд., Москва: Мир, 1974
8. 539.2 Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : Учеб. пособие, И. Н. Николаев, А. И. Маймистов, М.: МИФИ, 1990
9. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч.; Пер. с англ., М.: Гостехиздат, 1957
10. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч.;Пер.с 4 амер.изд., М.: Наука, 1978
11. 530.5 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч.;Пер.с англ., М.: Физматгиз, 1962
12. 621.37 С80 Физика полупроводников : , Л. С. Стильбанс, М.: Сов. радио, 1967
13. 539.2 М13 Физика твердого тела. Локализованные состояния : , Маделунг О.;Пер.с нем. и англ., М.: Наука, 1985
14. 538.9 Б87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : , Н. Б. Брандт, В. А. Кульбачинский, М.: Физматлит, 2005
15. 539.2 Б87 Экспериментальные методы исследования энергетических спектров электронов и фононов в металлах : Физические основы, Н.Б. Брандт, С.М. Чудинов, М.: МГУ, 1983
16. 539.2 Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : , Николаев И.Н.,Маймистов А.И., М.: МИФИ, 1998
17. 539.2 М13 Теория твердого тела : , О. Маделунг, М.: Наука, 1980
18. 530 У98 Физика твердого тела : , Уэрт Ч.,Томсон Р.;Пер. с англ., М.: Мир, 1966
19. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Ч. Киттель , М.: МедиаСтар, 2006
20. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Ч. Киттель, Москва: Физматлит, 1963
21. 533 Ч-43 Введение в физику плазмы : , Чен Ф.Ф.;Пер.с англ., М.: Мир, 1987

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

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.

Необходимо 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 конденсированное 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. Необходимо обсудить основные методы исследования структуры твердого тела: рентгеновские и нейтронные, методы измерения фононных спектров. Научить методам изучения зонной структуры: циклотронный резонанс, эффект де-Гааза-ван-Альфена, аннигиляция позитронов, фотоэмиссия, ЯМР и ЭПР, эффект Мессбауэра, эффект Холла. Достаточно подробно рассмотреть физику полупроводников, диффузию и дрейф носителей заряда, рекомбинацию и генерацию, контактные явления, поглощение, особенности эффекта Холла в полупроводниках. Рассказать о примесных полупроводниках, о донорах и акцепторах, о температурной зависимости проводимости, о квазиуровнях Ферми.

Автор(ы):

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

Иванов Андрей Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент