МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по УРиМД
_____Нариманова Г.Н.
«05» _____03_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Электроника, микроэлектроника и программирование цифровых устройств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора 2025 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	5 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
Самостоятельная работа	38	38	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Экзамен	5

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Нариманова Г.Н.
Должность: И.о. проректора по УРиМД
Дата подписания: 05.03.2025
Уникальный программный ключ:
eb4e14e0-de8d-48f7-bf05-ceacb167edfe

Томск

Согласована на портале № 83591

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Целью изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» является освоение теоретических основ строения конденсированных материалов и их физических свойств.

1.2. Задачи дисциплины

1. Установление зависимостей физических свойств конденсированных материалов от их химического состава и структуры.
2. Приобретение навыков математического описания физических процессов, протекающих в твердых телах.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Индекс дисциплины: Б1.В.ДВ.01.02.05.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 83591

ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1. Знает эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик электронных приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Знает методики исследования параметров и характеристик конденсированных веществ
	ПК-2.2. Умеет аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик электронной компонентной базы, приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Умеет на практике определять параметры конденсированных веществ
	ПК-2.3. Владеет навыками выбора и реализации на практике эффективной методики экспериментального исследования параметров и характеристик электронных приборов, схем устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	Владеет практическим навыком проведения экспериментальных исследований по определению параметров и характеристик конденсированных веществ

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		5 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	70	70
Лекционные занятия	36	36

Согласована на портале № 83591

Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	38	38
Подготовка к тестированию	14	14
Подготовка к контрольной работе	12	12
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	12	12
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
5 семестр						
1 Электронная структура конденсированных материалов	3	4	-	4	11	ПК-2
2 Структура кристаллов и способы ее определения	2	2	-	4	8	ПК-2
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	8	2	4	6	20	ПК-2
4 Зонная теория конденсированных материалов	3	-	-	1	4	ПК-2
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	4	2	4	6	16	ПК-2
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	3	2	-	3	8	ПК-2
7 Электрические свойства конденсированных материалов	2	-	-	1	3	ПК-2
8 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	3	2	-	3	8	ПК-2
9 Магнитные свойства конденсированных материалов	2	2	4	4	12	ПК-2
10 Сверхпроводимость конденсированных материалов	2	-	-	1	3	ПК-2
11 Оптические свойства конденсированных материалов	2	2	-	1	5	ПК-2
12 Физические свойства аморфных конденсированных материалов	2	-	4	4	10	ПК-2
Итого за семестр	36	18	16	38	108	
Итого	36	18	16	38	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Согласована на портале № 83591

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
5 семестр			
1 Электронная структура конденсированных материалов	Цели и задачи дисциплины. Модель атома Бора. Квантово-механическое описание строения атома. Электрон как волна и как частица. Электрон и потенциальный барьер. Квантовый осциллятор. Химическая связь. Образование молекул. Обобществление электронов. Метод ЛКАО. Ионная связь. Строение молекул. Связь в твердых телах: ионная, ковалентная, силы Вандер-Ваальса, водородная, металлическая.	3	ПК-2
	Итого	3	
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Простые и сложные кристаллические решетки. Решетка с базисом. Индексы Миллера. Обратная решетка. Определение кристаллических структур с помощью дифракции рентгеновских лучей. Стоячие волны. Зоны Бриллюэна.	2	ПК-2
	Итого	2	
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Фононы. Электроны проводимости. Плазмоны. Поляроны. Экситоны. Магноны. Тепловые колебания. Амплитуды. Нормальные колебания простой одномерной решетки. Нормальные колебания одномерной решетки с базисом. Спектр нормальных колебаний решетки. Теплоёмкость твёрдых тел. Закон Дюлонга — Пти. Теория теплоёмкости Эйнштейна. Теория теплоёмкости Дебая. Вывод формулы для теплоёмкости, исходя из представления о фононах. Теплоёмкость металлов. Учет вклада свободных электронов. Тепловое расширение твёрдых тел. Теплопроводность твёрдых тел. Теплопроводность, обусловленная атомными колебаниями. Теплопроводность металлов. Учёт вклада свободных электронов. Диффузия в твердых телах.	8	ПК-2
	Итого	8	
4 Зонная теория конденсированных материалов	Зонная теория конденсированных материалов	3	ПК-2
	Итого	3	

Согласована на портале № 83591

5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Функция распределения электронов и дырок по состояниям. Функция плотности состояний для электронов и дырок. Вычисление концентрации электронов в зоне проводимости. Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике. Температурная зависимость уровня Ферми.	4	ПК-2
	Итого	4	
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Классификация дефектов. Тепловые точечные дефекты. Равновесная концентрация точечных дефектов. Тепловые дефекты в бинарных кристаллах. Радиационные дефекты. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Дефекты упаковки и частичные дислокации. Границы зерен. Дефекты в нестехиометрических кристаллах.	3	ПК-2
	Итого	3	
7 Электрические свойства конденсированных материалов	Основные свойства металлов. Электропроводность металлов. Собственная проводимость полупроводников. Электропроводность диэлектриков. Свойства конденсированных материалов в сильных электрических полях.	2	ПК-2
	Итого	2	
8 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	Поляризация конденсированных материалов. Основные характеристики. Электронная упругая поляризация. Ионная упругая поляризация. Дипольная упругая поляризация. Особенности тепловой поляризации. Ионная тепловая поляризация. Электронная тепловая поляризация. Дипольная тепловая поляризация. Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Диэлектрические потери.	3	ПК-2
	Итого	3	
9 Магнитные свойства конденсированных материалов	Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Диамагнетизм и парамагнетизм твердых тел. Ферромагнетизм. Опыт Дорфмана. Обменное взаимодействие и его роль в возникновении ферромагнетизма. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.	2	ПК-2
	Итого	2	

Согласована на портале № 83591

10 Сверхпроводимость конденсированных материалов	Нулевое сопротивление. Температура сверхпроводящего перехода. Кристаллическая структура и изотопический эффект. Поглощение электромагнитного излучения. Высокотемпературная сверхпроводимость. Теория сверхпроводимости Ф. и Г. Лондонов. Теория Гинзбурга — Ландау. Куперовские пары. Теория Бардина — Купера — Шриффера.	2	ПК-2
	Итого	2	
11 Оптические свойства конденсированных материалов	Виды взаимодействия света с твёрдым телом. Оптические константы. Поглощение света кристаллами. Рекомбинационное излучение в полупроводниках. Спонтанное и индуцированное излучение.	2	ПК-2
	Итого	2	
12 Физические свойства аморфных конденсированных материалов	Структура аморфных конденсированных материалов. Энергетический спектр некристаллических конденсированных материалов. Аморфные полупроводники. Применение аморфных полупроводников. Аморфные диэлектрики. Аморфные металлы.	2	ПК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
5 семестр			
1 Электронная структура конденсированных материалов	Модель атома Бора.	2	ПК-2
	Виды химических связей. Расчет энергии образования химической связи.	2	ПК-2
	Итого	4	
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Кристаллическое строение твердых тел.	2	ПК-2
	Итого	2	
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Тепловые свойства конденсированных материалов.	2	ПК-2
	Итого	2	

Согласована на портале № 83591

5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Статистика электронов и дырок в конденсированных материалов.	2	ПК-2
	Итого	2	
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Дефекты в конденсированных материалах.	2	ПК-2
	Итого	2	
8 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	Диэлектрические свойства конденсированных материалов. Поляризуемость.	2	ПК-2
	Итого	2	
9 Магнитные свойства конденсированных материалов	Магнитные свойства конденсированных материалов. Намагниченность.	2	ПК-2
	Итого	2	
11 Оптические свойства конденсированных материалов	Оптические свойства конденсированных материалов.	2	ПК-2
	Итого	2	
	Итого за семестр	18	
	Итого	18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
5 семестр			
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.	4	ПК-2
	Итого	4	
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.	4	ПК-2
	Итого	4	
9 Магнитные свойства конденсированных материалов	Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.	4	ПК-2
	Итого	4	
12 Физические свойства аморфных конденсированных материалов	Исследование температурной зависимости электропроводности аморфных полупроводников.	4	ПК-2
	Итого	4	
	Итого за семестр	16	
	Итого	16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

Согласована на портале № 83591

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
5 семестр				
1 Электронная структура конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	4		
2 Структура кристаллов и способы ее определения	Подготовка к тестированию	2	ПК-2	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	4		
3 Тепловые свойства конденсированных материалов	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	3	ПК-2	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	6		
4 Зонная теория конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	1		
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	3	ПК-2	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	6		
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	3		
7 Электрические свойства конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	1		

Согласована на портале № 83591

8 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	3		
9 Магнитные свойства конденсированных материалов	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	3	ПК-2	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	4		
10 Сверхпроводимость конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	1		
11 Оптические свойства конденсированных материалов	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	1		
12 Физические свойства аморфных конденсированных материалов	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	3	ПК-2	Лабораторная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Итого	4		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр

Согласована на портале № 83591

5 семестр				
Контрольная работа	15	0	15	30
Лабораторная работа	0	10	10	20
Тестирование	6	6	8	20
Экзамен				30
Итого максимум за период	21	16	33	100
Нарастающим итогом	21	37	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Физика конденсированного состояния [Текст] : учебное пособие для вузов / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 294 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 46 экз.).

7.2. Дополнительная литература

1. Павлов П.В. Физика твердого тела: Учебник для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 496 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 58 экз.).

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

Согласована на портале № 83591

1. Физика конденсированного состояния: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника», профиль «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике» / Е. В. Саврук, В. В. Каранский, С. В. Смирнов - 2016. 51 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/6277.

2. Физика твердого тела : Учебное методическое пособие / С. В. Смирнов, Н. В. Зариковская ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТМЦДО, 2001. - 37 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 26 экз.).

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Температурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».

- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.),

Согласована на портале № 83591

амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- LibreOffice;
- PDF-XChange Viewer;
- PTC Mathcad 13, 14;
- Windows XP;

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория физики конденсированного состояния и материалов электронной техники: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 119 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Лабораторные макеты: «Температурные свойства ферромагнитных материалов», «Температурные свойства проводящих материалов», «Объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов», «Пробой тонкопленочных конденсаторов (ТПК)», «Температурная зависимость проводимости диэлектриков», «Фотоэлектрические свойства полупроводниковых материалов», «Определение ширины запрещенной зоны полупроводников», «Определение термо-ЭДС полупроводников», «Эффект Холла», «Эффект Пельтье».

- Лабораторное оборудование и приборы: измеритель Е7-8 (2 шт.), вольтметр В7-22А (5 шт.), амперметр Ф-195, М-253 (2 шт.), источник постоянного тока Б5-47, электрометр В7Э-42, мультиметр В7-22А (2 шт.), измеритель иммитанса Е7-20, тераомметр Е6-13, печь лабораторная (2 шт.), прибор для исследования пробоя ТПК, лабораторный стенд СФП-5 (2 шт.), вольтметр В7-26, вольтметр цифровой Ф4214, вольтметр Ф238,

источник постоянного тока Б5-47, измеритель иммитанса Е7-20;

- Компьютерные лабораторные работы (4 шт.);
- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (4 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- LibreOffice;
- PTC Mathcad 13, 14;
- Windows XP;

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;

Согласована на портале № 83591

- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Электронная структура конденсированных материалов	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Структура кристаллов и способы ее определения	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 83591

3 Тепловые свойства конденсированных материалов	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Зонная теория конденсированных материалов	ПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Статистика электронов и дырок в конденсированных материалах	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
6 Структурные дефекты в конденсированных материалах	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
7 Электрические свойства конденсированных материалов	ПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
8 Диэлектрические свойства конденсированных материалов	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
9 Магнитные свойства конденсированных материалов	ПК-2	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 83591

10 Сверхпроводимость конденсированных материалов	ПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
11 Оптические свойства конденсированных материалов	ПК-2	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
12 Физические свойства аморфных конденсированных материалов	ПК-2	Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции

Согласована на портале № 83591

2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Первая теория строения атома водорода, которая успешно объясняла наиболее важные его свойства была предложена…
   а) Ньютоном;
   б) Эйнштейном;
   в) Бором;
   г) де Бройлем.
2. Тетрагональные решетки могут быть:
   а) простыми, объемо-центрированными и гранецентрированными;
   б) простыми и объемо-центрированными;
   в) простыми и базоцентрированными;
   г) простыми и гранецентрированными.
3. Для какой системы характерны следующие свойства: две кристаллические оси не перпендикулярны друг другу, но третья перпендикулярна им обеим, периоды трансляции различны во всех трех направлениях:
   а) триклинная;
   б) тетрагональная;
   в) моноклинная;
   г) гексагональная.
4. Акустические волны представляют…
   а) звуковые (одна продольная и две поперечные);
   б) звуковые (две продольные и две поперечные);
   в) звуковые (одна продольная и три поперечные);
   г) звуковые (три продольные и две поперечные).
5. Фононы, как и фотоны, подчиняются статистике…
   а) Максвелла-Больцмана;
   б) Больцмана;
   в) Ферми-Дирака;
   г) Бозе-Эйнштейна.
6. Не оказывают влияния на термодинамические свойства электронной системы…
   а) плазмоны;
   б) фононы;

Согласована на портале № 83591

в) фотоны;
г) магноны.

7. Поведение теплоемкость при высоких температурах корректно описывает закон…
   а) Дебая;
   б) Дюлонга-Пти;
   в) Эйнштейна;
   г) Фурье.
8. Процесс распространения тепла от более нагретых элементов тела к менее нагретым называется…
   а) теплопроводностью;
   б) тепловым расширением;
   в) тепловым сжатием;
   г) теплоемкостью.
9. В чем сущность приближения Борна-Оппенгеймера?
   а) электроны в кристалле неподвижны;
   б) электроны и ядра неподвижны;
   в) неподвижны только ядра;
   г) неподвижны только электроны.
10. Что объясняет модель Кронига-Пенни?
    а) вид волновой функции электрона;
    б) форму зон Бриллюэна;
    в) существование разрешенных и запрещенных зон;
    г) наличие кристаллического поля.
11. Чему равно полное число электронных состояний в первой зоне Бриллюэна?
    а) числу фононов;
    б) числу электронов;
    в) числу атомов в кристалле;
    г) массе электронов.
12. Величину, равную отношению электрического момента диэлектрика к его объему называют:
    а) диэлектрической проницаемостью среды;
    б) относительной диэлектрической восприимчивостью;
    в) поляризуемостью;
    г) дипольным моментом.
13. Одной из основных характеристик любого магнетика является…
    а) относительная диэлектрическая восприимчивость;
    б) поляризуемость;
    в) намагниченность;
    г) диэлектрическая проницаемость среды.
14. Намагниченность с увеличением индукции магнитной поля…
    а) сначала возрастает, затем уменьшается;
    б) увеличивается;
    в) уменьшается;
    г) не изменяется.
15. Количество дислокаций…
    а) не зависит от температуры;
    б) зависит от температуры по линейному закону;
    в) зависит от температуры по квадратичному закону;
    г) зависит от температуры по кубическому закону.
16. Между дислокациями существует:
    а) слабое упругое взаимодействие;
    б) слабое неупругое взаимодействие;
    в) сильное упругое взаимодействие;
    г) сильное неупругое взаимодействие.
17. Точечные дефекты, возникающие при облучении кристаллов быстрыми частицами, получили название…
    а) линейных дефектов;

Согласована на портале № 83591

б) дефектов по Шоттки;
в) дефектов по Френкелю;
г) радиационных дефектов.

18. Один из возможных механизмов размножения дислокаций был предложен…
    а) Шоттки и Ридом;
    б) Франком и Ридом;
    в) Френкелем и Франком;
    г) Гиббсом и Ридом.
19. Образование дефектов по Шоттки уменьшает плотность кристалла из-за…
    а) увеличения его объема при постоянной массе;
    б) уменьшение его массы при постоянном объеме;
    в) уменьшением его объема и увеличением массы;
    г) уменьшение его массы и уменьшения объема.
20. При температуре абсолютного нуля уровень Ферми для собственного полупроводника располагается…
    а) посередине между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны;
    б) посередине между дном зоны проводимости и уровнем донорной примеси;
    в) посередине между уровнем акцепторной примеси и потолком валентной зоны;
    г) находится в валентной зоне.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Модель атома Бора.
2. Уравнение Шредингера.
3. Квантово-механическое описание строение атома (электрон как волна и как частица, электрон и потенциальный барьер, квантовый осциллятор).
4. Точечная симметрия кристаллов.
5. Прямая решетка. 14 трансляционных решеток Бравэ.
6. Обратная решетка.
7. Методы определения атомной структуры конденсированных материалов.
8. Классификация конденсированных материалов. Типы связей. Энергия связи.
9. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Металлы.
10. Классификация дефектов.
11. Тепловые точечные дефекты. Равновесная концентрация точечных дефектов.
12. Радиационные дефекты.
13. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Напряжения, связанные с дислокациями. Энергия дислокаций. Источники дислокаций.
14. Дефекты стехиометрии.
15. Тепловые колебания атомов. Амплитуды.
16. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Теория Эйнштейна. Теория Дебая.
17. Теплоемкость металлов. Учет вклада свободных электронов.
18. Тепловое расширение конденсированных материалов.
19. Теплопроводность конденсированных материалов. Теплопроводность металлов, изоляторов и полупроводников.
20. Диффузия в конденсированных материалах.
21. Классификация конденсированных материалов по величине электропроводности.
22. Уравнение Шредингера для твердого тела. Одноэлектронное приближение.
23. Функция Блоха.
24. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.
25. Поверхность Ферми.
26. Энергетический спектр электронов в кристалле. Модель Кронига-Пенни.
27. Эффективная масса электрона.
28. Основные свойства металлов. Электропроводность металлов.
29. Собственная проводимость полупроводников.
30. Электропроводность изоляторов.
31. Поляризация конденсированных материалов. Основные характеристики.
32. Упругая поляризация. Электронная. Ионная. Дипольная.
33. Тепловая поляризация. Электронная. Ионная. Дипольная.

Согласована на портале № 83591

34. Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости.
35. Диэлектрические потери.
36. Классификация магнетиков.
37. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма.
38. Виды взаимодействия света с твердым телом.
39. Оптические константы. Поглощение света кристаллами.
40. Структура аморфных конденсированных материалов.
41. Энергетический спектр некристаллических конденсированных материалов.
42. Аморфные полупроводники. Применение.
43. Аморфные металлы и изоляторы.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

Пример контрольной работы №1

1. Каково должно быть расстояние между Na и Cl, если их полная энергия равна нулю, r0 = 2,36 Å? Сколько энергии требуется на образование этой пары ионов из пары атомов?
2. Найдите углы отражения от плоскостей [100], [110], [111] кристалла марганца, соответствующие дифракционным максимумам 1 – ого порядка для характеристического рентгеновского излучения Cu.
3. Найдите энергию и скорость электрона в кристаллической решетке Al, если его волновой вектор находится во второй зоне Бриллюэна с координатами кх=π/a, ку=π/a.
4. Какова теплоемкость железа при 500 °C? Какова частота Дебая колебаний атома Fe?
5. Вычислите коэффициент линейного теплового расширения серебра, если среднее расстояние между атомами при температуре 1000 °C равно 5% от постоянной кристаллической решетки.

Пример контрольной работы №2

1. Найдите разницу энергий (в единицах кТ) между электроном, находящимся на уровне Ферми, и электронами, находящимися на уровнях, вероятности заполнения которых равны 0,20 и 0,80.
2. Вычислите эффективную плотность состояний в зоне валентности и в зоне проводимости для полупроводника при комнатной температуре. Считайте, что эффективные массы носителей выражаются через массу электрона m следующим образом: m*n =1,1m; m*p=0,56m.
3. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу B=0,1 Вб/м2, а максимальное поглощение обнаружено при ν=14 ГГц. Найдите эффективную плотность состояний в зоне проводимости.
4. Электрическое сопротивление диэлектрика при нагреве от 300 до 500 К изменилось в 10 раз. Найдите энергию активации проводимости.
5. Энергия образования вакансий в катионной и анионной решетках NaCl составляет 0,8 эВ, расстояние между ближайшими соседями 2,8 А. Определите концентрацию дефектов в кристалле при 500 К.

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Определение частоты колебаний поперечных оптических фононов в ионных кристаллах.
2. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.
3. Исследование температурной зависимости электропроводности поликристаллических ферромагнетиков.
4. Исследование температурной зависимости электропроводности аморфных полупроводников.

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает

Согласована на портале № 83591

работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Согласована на портале № 83591

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 83591

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 163 от «26» 11 2024 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ИРЭТ	А.М. Заболоцкий	Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c-b856-20e4ba4f0e52
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	И.В. Кулинич	Согласовано, d2a0f42b-ed8d-43b9-8776-2e1f79c72b0a
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Директор, каф. ИРЭТ	А.М. Заболоцкий	Согласовано, 47c2d4ff-8c0e-484c-b856-20e4ba4f0e52
Профессор, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ФЭ	С.В. Смирнов	Разработано, 57c2a753-1aab-4c62-b975-6090adf83285

Согласована на портале № 83591