

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной
работе

Лейфа А.В. Лейфа

7 июня 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
«ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА»

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) образовательной программы – Физика

Квалификация выпускника – Бакалавр

Год набора – 2024

Форма обучения – Очная

Курс 4 Семестр 7,8

Экзамен 7,8 сем

Общая трудоемкость дисциплины 288.0 (академ. час), 8.00 (з.е)

Составитель Е.В. Стукова, доцент, д-р физ.-мат. наук

Институт компьютерных и инженерных наук

Кафедра физики

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.20 № 891

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

01,02.2024 г. , протокол № 6

Заведующий кафедрой Стукова Е.В. Стукова

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

7 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Стукова Е.В. Стукова

7 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

7 июня 2024 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

7 июня 2024 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

Формирование у обучающихся компетенций в процессе освоения необходимого объема фундаментальных знаний в области физики твердого тела.

Задачи дисциплины:

- формирование представлений об основных понятиях и идеях физики твердого тела и методах решения задач;
- демонстрация способов применения этих представлений в различных областях науки и техники;
- знакомство студентов с экспериментальными и теоретическими методами, применяемыми при исследованиях в этой области.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Физика твердого тела» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, учебного плана.

Для освоения дисциплины необходимо знать:

- 1) курс общей физики;
- 2) дисциплины модуля «Теоретическая физики».

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1 Способен выполнять работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований в соответствующей области знаний	ИД-1ПК-1 Знает основные принципы обработки и анализа научно-технической информации и результатов исследований в соответствующей области знаний ИД-2ПК-1 Понимает, умеет излагать и анализировать научно-техническую информацию, и полученные результаты исследований в соответствующей области знаний
ПК-2 Способен проводить научные исследования в соответствующей области знаний и оформлять результаты исследований и разработок	ИД-1ПК-2 Знает основные методы проведения теоретического и экспериментального исследования в сфере профессиональной деятельности ИД-2ПК-2 Участвует в оформлении результатов исследований и разработок, полученных при проведении научных исследований в сфере профессиональной деятельности

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8.00 зачетных единицы, 288.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Принципы строения твердых тел. Элементы кристаллографии	7	24		14								8	Проверка в ходе практических работ
2	Природа и типы межатомных связей	7	12		8								6	Проверка в ходе практических работ
3	Дефекты и диффузия в твердых телах	7	16		12								8	Проверка в ходе практических работ
4	Экзамен	7									0.3	35.7		
5	Металлы	8	6		6								2	Проверка в ходе практических работ
6	Электропроводность полупроводников	8	10		10								2	Проверка в ходе практических работ
7	Характеристик и носителей зарядов	8	8		8								1	Проверка в ходе практических работ
8	Статистика электронов в полупроводниках и диэлектриках	8	6		6								2	Проверка в ходе практических работ
9	Работа выхода	8	4		4								1	Проверка в ходе практических работ

														работ
10	Полупроводник и в сильных электрических полях	8	6		6								2	Проверка в ходе практических работ
11	Теплопроводность диэлектриков и полупроводников	8	8		8								2	Проверка в ходе практических работ
12	Экзамен	8								0.3	35.7			
	Итого		100.0		82.0		0.0	0.0	0.0	0.6	71.4	34.0		

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Принципы строения твердых тел. Элементы кристаллографии	Классификация конденсированных сред. Кристаллическое состояние и его классификация. Аморфное состояние. Жидкое и газообразное состояния. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Базис решетки. Кристаллографические направления, плоскости и зоны. Сингонии кристаллов. Решетки Бравэ. Ячейки Вигнера-Зейтца. Симметрия кристаллов. Точечные операции симметрии. Пространственные группы симметрии. Обратная решетка. Полиморфизм. Жидкие кристаллы. Методы определения структуры твердых тел. Дифракционные методы. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах.. Экспериментальные методы определения структуры кристаллов. Квазикристаллы. Структура квазикристаллов. Свойства квазикристаллов
2	Природа и типы межатомных связей	Химическая связь и валентность. Энергия связи. Типы межатомных связей в твердых телах. Ионная связь. Ковалентная связь. Металлическая связь. Ван-дер-ваальсова связь. Молекулярные кристаллы. Водородная связь. Структура веществ с ненаправленным взаимодействием. Представление об атомных орбиталях. Случай направленного взаимодействия. Структура веществ с ковалентными связями. Роль обменного взаимодействия в образовании кристаллов
3	Дефекты и диффузия в твердых телах	Классификация дефектов. Точечные дефекты. Дефекты по Френкелю. Дефекты по Шоттки. Термодинамика точечных дефектов. Радиационные дефекты. Центры окраски. Дислокации. Образование дислокаций в кристалле. Движение дислокаций. Дефекты упаковки. Границы зерен. Влияние дислокаций на

		свойства твердых тел и методы наблюдения дислокаций. Механизмы диффузии в твердых телах. Диффузия в кристаллах. Законы Фика. Твердые электролиты
4	Металлы	Электронный газ. Свободные электроны. Концентрация носителей. Классическая электронная теория металлов. Электроны проводимости. Температурная зависимость удельного сопротивления. Теплоемкость металлов.
5	Электропроводность полупроводников	Рекомбинация электронов. Энергетический спектр: энергетические уровни, энергетические зоны. Диаграммы энергетических спектров валентных электронов в диэлектриках и полупроводниках. Ширина запрещенной зоны. Энергетические уровни электронов примесей в полупроводниках: с донорными примесями, в полупроводниках с акцепторными примесями. Электронный, дырочный и смешанный механизмы электропроводности. Температурная зависимость концентрации носителей в примесных полупроводниках. Дрейфовый ток, диффузионный ток, ток проводимости. Энергия активации и энергия диссоциации. Зависимость удельной электропроводности от температуры в примесных полупроводниках. Температурная зависимость энергии диссоциации. Роль поляризации среды и ее диэлектрических свойств.
6	Характеристики носителей зарядов	Подвижность дырок. Подвижность электронов. Рассеяние электронов в реальных полупроводниках. Механизмы рассеяния носителей тока. Движение электрона в периодическом электрическом поле кристалла. Понятие эффективной массы. Волновой характер движения электрона. Групповая скорость электрона. Энергия электрона. Движение электронов вблизи дна зоны проводимости. Динамика движения электронов, находящихся вблизи верхнего края валентной зоны.
7	Статистика электронов в полупроводниках и диэлектриках	Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми- Дирака. Концентрация электронов и дырок. Уравнение электронейтральности. Заполнение электронами примесных центров. Зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей заряда от температуры в собственном и примесном полупроводниках. Полупроводник, содержащий донорную и акцепторную примесь.
8	Работа выхода	Термоэлектронная эмиссия. Работа выхода. Причины возникновения электронной эмиссии полупроводника. Зависимость эффективности

		работы электронных приборов от работы выхода.
9	Полупроводники в сильных электрических полях	Закон Пауля для электропроводности полупроводников. Термоэлектронная ионизация. Ударная ионизация.
10	Теплопроводность диэлектриков и полупроводников	Коэффициент теплопроводности. Механизм электронной теплопроводности. Фононы и квазичастицы. Температура Дебая.

5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Принципы строения твердых тел. Элементы кристаллографии	Базис решетки. Кристаллографические направления, плоскости и зоны. Решетки Бравэ. Операции симметрии. Индексы Миллера. Принцип плотной упаковки атомов. Примеры простых кристаллических структур.
Природа и типы межатомных связей	Расчеты энергии связи. Постоянная Маделунга. Потенциалы притяжения и отталкивания.
Дефекты и диффузия в твердых телах	Равновесные концентрации дефектов по Шоттки и по Френкелю. Законы Фика для диффузии внедренных атомов и разбавленных твердых растворов. Миграция малых пор.
Металлы	Концентрация носителей заряда. Длина свободного пробега. Тепловые скорости зарядов. Сила тока и плотность тока. Суммарный электрический заряд. Скорость дрейфа. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме. Электропроводность и теплопроводность металлов.
Электропроводность полупроводников	Дрейфовый ток, диффузионный ток, ток проводимости. Энергия активации и энергия диссоциации. Зависимость удельной электропроводности от температуры в примесных полупроводниках.
Характеристики носителей зарядов	Подвижность дырок. Подвижность электронов. Измерение подвижности электронов на практике. Эффективная масса. Групповая скорость электрона. Энергия электрона.
Статистика электронов в полупроводниках и диэлектриках	Определение положений уровней Ферми. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда
Работа выхода	Расчеты работы выхода для различных полупроводников
Полупроводники в сильных электрических полях	Практическое применение резкого снижения удельного сопротивления полупроводников
Теплопроводность диэлектриков и полупроводников	Коэффициент теплопроводности. Удельная теплоемкость. Температура Дебая

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Принципы строения твердых тел. Элементы кристаллографии	Проверка в ходе практических работ	8
2	Природа и типы межатомных связей	Проверка в ходе практических работ	6
3	Дефекты и диффузия в твердых телах	Проверка в ходе практических работ	8
4	Металлы	Проверка в ходе практических работ	2
5	Электропроводность полупроводников	Проверка в ходе практических работ	2
6	Характеристики носителей зарядов	Проверка в ходе практических работ	1
7	Статистика электронов в полупроводниках и диэлектриках	Проверка в ходе практических работ	2
8	Работа выхода	Проверка в ходе практических работ	1
9	Полупроводники в сильных электрических полях	Проверка в ходе практических работ	2
10	Теплопроводность диэлектриков и полупроводников	Проверка в ходе практических работ	2

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 – «Физика» реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

При преподавании дисциплины «Физика твердого тела» используются как традиционные (лекция, лекция - беседа, проблемная лекция, лекция-семинар), так и инновационные технологии (применение мультимедийного проектора, семинар-дискуссия, использование ресурсов сети Internet и электронных учебников).

Лекционные занятия проводятся с использованием традиционной, активной и интерактивной форм обучения. Практические занятия проводятся с использованием активных и интерактивных форм обучения.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, а также методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков отражены в фонде оценочных средств по дисциплине «Физика твердого тела».

Примерные вопросы к экзамену в 7-ом семестре

1. Классификация конденсированных сред
2. Кристаллическое состояние и его классификация
3. Аморфное состояние
4. Жидкое и газообразное состояния
5. Кристаллическая решетка
6. Элементарная ячейка. Базис решетки
7. Кристаллографические направления, плоскости и зоны
8. Сингонии кристаллов
9. Решетки Бравэ. Ячейки Вигнера-Зейтца
10. Симметрия кристаллов
11. Точечные операции симметрии
12. Пространственные группы симметрии
13. Обратная решетка
14. Принцип плотной упаковки атомов
15. Примеры простых кристаллических структур
16. Полиморфизм
17. Жидкие кристаллы
18. Методы определения структуры твердых тел
19. Дифракционные методы
20. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах
21. Экспериментальные методы определения структуры кристаллов
22. Квазикристаллы
23. Структура квазикристаллов
24. Свойства квазикристаллов
25. Химическая связь и валентность
26. Энергия связи
27. Типы межатомных связей в твердых телах
28. Ионная связь
29. Ковалентная связь
30. Металлическая связь
31. Ван-дер-ваальсова связь. Молекулярные кристаллы
32. Водородная связь
33. Структура веществ с ненаправленным взаимодействием
34. Представление об атомных орбиталях
35. Случай направленного взаимодействия. Структура веществ с ковалентными связями
36. Роль обменного взаимодействия в образовании кристаллов
37. Классификация дефектов
38. Точечные дефекты
39. Дефекты по Френкелю
40. Дефекты по Шоттки
41. Термодинамика точечных дефектов
42. Радиационные дефекты
43. Центры окраски
44. Дислокации
45. Образование дислокаций в кристалле
46. Движение дислокаций
47. Дефекты упаковки
48. Границы зерен
49. Влияние дислокаций на свойства твердых тел и методы наблюдения дислокаций
50. Механизмы диффузии в твердых телах
51. Диффузия в кристаллах
52. Законы Фика
53. Твердые электролиты

Примерные вопросы к экзамену в 8-ом семестре

1. Классическая теория диамагнетизма.
2. Квантовая теория диамагнетизма.
3. Диамагнетизм Ландау.
4. Парамагнетизм ионов, атомов и молекул.
5. Спиновый парамагнетизм Паули.
6. Ферромагнетизм. Обменная теория ферромагнетизма.
7. Спиновые волны. Антиферромагнетизм.
8. Ферримагнетизм. Магнитные спектры вещества.
9. Критическая температура сверхпроводящего перехода. Эффект Мейснера.
10. Природа явления сверхпроводимости. Квантование магнитного потока как пример макроскопического квантования.
11. Сверхпроводники первого и второго рода. Теплоемкость сверхпроводников.
12. Поглощение электромагнитного излучения сверхпроводниками. Изотопический эффект.
13. Основы теории БКШ: образование куперовских пар, энергетическая щель.
14. Эффекты Джозефсона.
15. Высокотемпературная сверхпроводимость.
16. Применение сверхпроводников. Современные твердотельные приборы
17. Квантовая жидкость. Сверхтекучесть жидкого гелия. Квантовые кристаллы.
18. Индуцированное излучение. Инверсная населенность уровней и «отрицательные» температуры.
19. Трехуровневая система и лазеры.
20. Применение квантовых генераторов
21. Задача о частице в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.
22. Электродипольное взаимодействие.
23. Вероятность перехода в случае немонахроматической волны.
24. Спонтанное излучение.
25. Условие существования излучения в квантовой системе.
26. Основные характеристики плазмы. Электрическое поле в плазме.
27. Плазма в магнитном поле.
28. Дрейфовое движение. Колебания и волны в плазме.
29. Плазменное состояние вещества в природе. Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) литература

- вещества : учебное пособие / А. В. Румянцев. — Калининград : Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2012. — 119 с. — ISBN 978-5-9971-0221-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: [https:// www.iprbookshop.ru/23770.html](https://www.iprbookshop.ru/23770.html) (дата обращения: 06.06.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 624 с. — ISBN 978-5-8114-0762-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: [https:// e.lanbook.com/ book/212255](https://e.lanbook.com/book/212255) (дата обращения: 06.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0922-8. — Текст : электронный // Лань : электронно- библиотечная система. — URL: <https://>

e.lanbook.com/ book/210524 (дата обращения: 06.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; под редакцией Л. А. Алешина. — Москва : Техносфера, 2012. — 560 с. — ISBN 978-5-94836-327-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: [https:// www.iprbookshop.ru/26903.html](https://www.iprbookshop.ru/26903.html) (дата обращения: 06.06.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

5. Разумовская, И. В. Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки / И. В. Разумовская. — Москва : Прометей, 2011. — 64 с. — ISBN 978-5-4263-0032-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: [https:// www.iprbookshop.ru/9611.html](https://www.iprbookshop.ru/9611.html) (дата обращения: 06.06.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

6. Физика твердого тела : учебное пособие / А. А. Корнилович, В. И. Ознобихин, И. И. Суханов, В. Н. Холявко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 71 с. — ISBN 978-5-7782-2160-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45187.html> (дата обращения: 06.06.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	http:// dxdy.ru/ fizika-f2.html	Научный форум. Физика, Математика, Химия, Механика и Техника. Обсуждение теоретических вопросов, входящих в стандартные учебные курсы. Дискуссионные темы физики: попытки опровержения классических теорий и т.п. Обсуждение нетривиальных и нестандартных учебных задач. Полезные ресурсы сети, содержащие материалы по физике

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	http://window.edu.ru	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
2	https://scholar.google.ru/	Google Scholar —поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин.
3	http://e.lanbook.com	Электронная библиотечная система «Издательства «Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки.
4	http:// www.iprbookshop.ru	Научно- образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу.
5	http://grotrian.nsu.ru/	Электронная структура атомов Российская информационно- справочная система по спектральным данным атомов и ионов с одной из самых полных баз спектральных данных среди мировых систем.
6	http:// www.mavicanet.ru/	MavicaNET - Многоязычный Поисковый Каталог. Теоретическая физика. Институты, лаборатории и др. организации, занимающиеся исследованиями в области теоретической физики. Может содержать все существующие подкатегории раздела физика, если источник связан с теоретическими исследованиями

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, лабораторных занятий, аудиторий курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.