



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)  
**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)**

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП ДТФИТ

И.о. зам. директора по учебной и  
научно-исследовательской работе ИНТПМ

  
(подпись)

Нефедев К.В.  
(ФИО)



(подпись)

Красицкая С.Г.  
(ФИО.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физика конденсированного состояния**  
**Программа бакалавриата**  
**по направлению подготовки 03.03.02 Физика,**  
**профиль «Цифровые технологии в физике»**

Форма подготовки очная

курс 4 семестр 7

лекции 30 час.

практические занятия 56 час.

лабораторные работы 00 час.

в том числе с использованием

всего часов аудиторной нагрузки 86 час.

самостоятельная работа 22 час.

в том числе на подготовку к экзамену 00 час (если экзамен предусмотрен).

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 7 семестр

экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями  
Федерального государственного образовательного стандарта  
по направлению подготовки **03.03.02 Физика**,  
утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ  
от 7 августа 2020 г. № 891.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента теоретической физики и  
интеллектуальных технологий, протокол № 4 от «25» ноября 2021 г.

Директор Департамента: Нефедев К.В.

Составители: профессор, д.ф.-м.н. Афремов Л. Л., доцент, к.ф.-м.н. Ильюшин И. Г.

Владивосток,  
2022

**Оборотная сторона титульного листа РЦД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: Приобретение систематизированных знаний по физике конденсированного состояния

Задачи:

- изучение основных принципов физики конденсированного состояния;
- освоение математического аппарата физики конденсированного состояния;
- изучение основных понятий и задач физики конденсированного состояния;
- приобретение навыков решения задач по дисциплине физика конденсированного состояния.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-2 Способен применять методы научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии
		ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния
	Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния
	Владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния
ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния
	Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния
	Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния

## 2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы (108 академических часов).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине могут являться:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Лаб	Лабораторные работы
Пр	Практические занятия
ОК	Онлайн курс
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

### Структура дисциплины:

Форма обучения – \_\_\_\_\_.

№	Наименование раздела дисциплины	Семес	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося	Формы промежуточной аттестации

			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1	Описание кристаллического состояния	7	7		12		5		Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1), Тест (ПР-1)
2	Упругие и тепловые свойства кристаллов	7	7		12		5		
3	Электрические свойства кристаллов	7	8		16		6		
4	Магнитные свойства кристаллов	7	8		16		6		
	Итого:	7	30		56		22		

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

**Раздел 1. Описание кристаллического состояния 7 час.** Трансляции. Операции симметрии. Базис. Примитивные ячейки. Основные типы кристаллических решеток. Дифракционные методы. Обратная решетка кристалла. Свойства векторов обратной решетки. Объем обратной решетки. Индексы Миллера. Зоны Бриллюэна.

**Тема 1. Кристаллические решетки 2 час.** Трансляции. Операции симметрии. Базис. Примитивные ячейки. Основные типы кристаллических решеток. Двухмерны и трехмерные кристаллические решетки.

**Тема 2. Дифракция в кристаллах и обратная решетка 2 час.** Дифракционные методы. Обратная решетка кристалла. Свойства векторов обратной решетки. Объем обратной решетки. Индексы Миллера. Зоны Бриллюэна.

**Тема 3. Дифракция в кристаллах и обратная решетка 3 час.** Силы Ван-дер-Ваальса – Лондона. Взаимодействие в ионных, ковалентных, металлических кристаллах и кристаллах с водородными связями. Атомные радиусы.

**Раздел 2. Упругие и тепловые свойства кристаллов 7 час.** Тензоры деформаций и напряжений. Фонон, импульс фонона. Неупругое рассеяние фононов и нейтронов на фононах. Колебания в решетке. Групповая скорость. Функция Гамильтона для тепловых колебаний атомов в одномерной решетке. Распределение фононов по энергиям. Плотность состояний. Теории теплоемкости Эйнштейна и Дебая.

**Тема 1. Упругие деформации 1 час.** Тензоры деформаций и напряжений. Упругие волны в кубических кристаллах.

**Тема 2. Фононы и колебания решетки 1 час.** Импульс фонона. Неупругое рассеяние фотонов и нейтронов на фононах. Колебания в

решетке из одинаковых атомов (двух атомов). Зона Бриллюэна. Групповая скорость.

**Тема 3. Квантовая теория колебаний атомов в решетке 2 час.** Функция Гамильтона для тепловых колебаний атомов в одномерной решетке.

Обобщенные координаты и импульс. Гамильтониан трехмерной решетки.

Операторы рождения и уничтожения фононов.

**Тема 4. Теплоемкость кристаллов 1 час.** Распределение фононов по энергиям. Плотность состояний. Теории теплоемкости Эйнштейна и Дебая.

**Тема 5. Теплопроводность кристаллов 2 час.** Тепловое расширение.

Теплопроводность и процессы переброса. Дефекты решетки.

**Раздел 3. Электрические свойства кристаллов 8 час.** Энергия и плотность состояний электронов в одномерном кристалле. Температурная зависимость распределения электронов по энергиям. Энергия Ферми. Электронный газ Ферми в трехмерной решетке. Средняя энергия и теплоемкость электронного газа Ферми. Электропроводность. Теплопроводность. Теорема Блоха. Граничные условия Борна- Кармана. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми. Задача о движении электрона в слабом периодическом поле решетки. Энергетические зоны и волновые функции электронов в одномерном и трехмерном кристаллах. Задача о движении электрона, сильно связанного со своим атомом. Функции Ванье. Изоэнергетические поверхности. Расщепление энергетических уровней. Задача о движении электрона во внешнем электромагнитном поле. Эффективная масса электронов в кристалле. Циклотронный резонанс. Эффект де Хааза-ван Альфена.

**Тема 1. Модель свободных электронов 2 час.** Энергия и плотность состояний электронов в одномерном кристалле. Температурная зависимость распределения электронов по энергиям. Энергия Ферми. Электронный газ Ферми в трехмерной решетке. Средняя энергия и теплоемкость электронного газа Ферми. Электропроводность. Теплопроводность.

**Тема 2. Движение электрона в периодическом поле кристалла 1 час.**

Теорема Блоха. Граничные условия Борна- Кармана. Зоны Бриллюэна.

Поверхность Ферми.

**Тема 3. Приближение слабо связанных электронов 2 час.** Задача о движении электрона в слабом периодическом поле решетки.

Энергетические зоны и волновые функции электронов в одномерном и трехмерном кристаллах.

**Тема 4. Приближение сильно связанных электронов 1 час.** Задача о движении электрона, сильно связанного со своим атомом. Функции Ванье. Изоэнергетические поверхности. Расщепление энергетических уровней.

### **Тема 5. Динамика электронов. Метод эффективной массы 2 час.**

Задача о движении электрона во внешнем электромагнитном поле.

Эффективная масса электронов в кристалле. Циклотронный резонанс.

Эффект де Хааза-ван Альфена.

**Раздел 4. Магнитные свойства кристаллов 8 час.** Диамагнетизм атомов и молекул. Формула Ланжевена для диамагнетика, для парамагнетика. Квантовая теория парамагнетизма. Ферромагнитный порядок. Обменная энергия и температура Кюри. Спиновые волны. Магноны. Магнитная структура антиферромагнетика и ферримагнетика. Критическая точка и магнитная восприимчивость. Домены. Доменные границы. Петля гистерезиса.

**Тема 1. Диамагнетизм и парамагнетизм 2 час.** Диамагнетизм атомов и молекул. Формула Ланжевена для диамагнетика, для парамагнетика. Квантовая теория парамагнетизма.

**Тема 2. Ферромагнетизм 2 час.** Ферромагнитный порядок. Обменная энергия и температура Кюри. Спиновые волны. Магноны.

**Тема 3. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм 2 час.** Магнитная структура антиферромагнетика и ферримагнетика. Критическая точка и магнитная восприимчивость.

**Тема 4. Доменная структура 2 час.** Домены. Доменные границы. Петля гистерезиса.

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

Общие методические указания к практическим занятиям Студент должен изучить основные типы конденсированных сред, классификацию кристаллических решеток, кристаллические сингонии, пространственные группы кристалла; основные приближения зонной теории кристаллов, особенности энергетического спектра электрона в кристалле, понятие эффективной массы, классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Рассмотреть особенности классического и квантово-механического описания электронного газа, основные термодинамические и кинетические характеристики и электромагнитные свойства электронного газа в полупроводниках и металле; методы описания динамики решетки, основные типы колебаний решетки, оптические и акустические фононы и их свойства;

-методы описания и механизмы взаимодействия электрического и магнитного полей с решеткой; физическую теорию магнетизма, основные типы магнетиков. В результате изучения дисциплины студент должен уметь

осуществлять методологическое обоснование научного исследования; использовать в исследовательской работе современные научные методы рассчитывать кинетические и термодинамические характеристики квантового электронного газа; находить спектр локализованных состояний методами теории возмущений.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1. Кристаллическая решетка 3 час.**

Устный опрос. Примерные вопросы: Конденсированное состояние вещества. Кристаллическое состояние, жидкости. Фазовый переход. Аморфные тела. Кристаллическая решетка, трансляционная симметрия. Векторы решетки, элементарная ячейка, ячейка Вигнера-Зейтца. Обратная решетка, зоны Бриллюэна. Дифракция рентгеновских лучей.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2. Дифракция в кристаллах и обратная решетка 3 час.**

Устный опрос. Примерные вопросы: Колебания линейной одноатомной цепочки атомов, закон дисперсии колебаний. Колебания линейной двухатомной периодической структуры, акустическая и оптическая ветви колебаний. Циклические граничные условия (условия Борна-Кармана), полный набор волновых векторов.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3. Типы связей в кристаллах 3 час.**

Устный опрос. Примерные вопросы: Типы связей в кристаллах (силы Ван-дер-Ваальса, ионные кристаллы, ковалентные кристаллы, металлические кристаллы, водородная связь).

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. Упругие деформации 3 час.**

Устный опрос. Примерные вопросы: Дефекты кристаллической структуры - перечислить.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5. Фононы и колебания решетки 3 час.**

Устный опрос. Примерные вопросы: Квантовая теория колебаний кристалла, понятие о фононах. Статистика фононов и теплоемкость решетки. Теплоемкость при высоких температурах - закон Дюлонга и Пти.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6. Квантовая теория колебаний атомов в решетке 3 час.**

Устный опрос, примерные вопросы: Критическая температура, магнитные свойства, эффект Мейсснера-Оксенфельда. Критическое магнитное поле, сверхпроводники 2-го рода. Теплоемкость сверхпроводников. Основы теории Бардина-Купера-Шриффера, электрон-фононное взаимодействие, куперовские пары. Ферми газ и Бозе конденсат, квантование магнитного потока. Эффекты Джозефсона.

Высокотемпературные сверхпроводники. Сверхтекучесть

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7. Понятие теплоемкости и**

**теплоемкость в кристалле 3 час.** Устный опрос. Примерные вопросы: Низкотемпературное приближение - зависимость решеточной



теплоемкости от температуры. Дебаевская модель колебательного спектра кристаллов, теплоемкость кристаллов по Дебаю. Эффекты ангармонизма: тепловое расширение твердых тел, теплопроводность кристаллической решетки.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8. Электрон в периодическом поле**

**ректки 3 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Электроны в периодическом поле кристалла. Функция Блоха и ее свойства. Случай сильной связи. Эффективная масса. Приближенное вычисление нижних уровней энергии. Электрон в кристаллическом поле. Случай слабой связи. Энергетические зоны, запрещенная щель.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 9. Модель свободных электронов 3 час.**

Устный опрос. Примерные вопросы: Движение электрона в кристалле под действием внешнего поля. Классификация твердых тел по их электрическим свойствам на основе зонной теории. Проводники. Диэлектрики. Полупроводники. Статистика электронов в кристалле. Функция Ферми и ее свойства. Энергия Ферми. Поверхность Ферми.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 10. Приближение слабо связанных**

**электронов в кристалле 3 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Электроны в периодическом поле кристалла. Функция Блоха и ее свойства. Случай сильной связи. Эффективная масса. Приближенное вычисление нижних уровней энергии. Электрон в кристаллическом поле. Случай слабой связи. Энергетические зоны, запрещенная щель. Движение электрона в кристалле под действием внешнего поля. Классификация твердых тел по их электрическим свойствам на основе зонной теории.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 11. Приближение сильно связанных**

**электронов в кристалле 3 час.** Устный опрос. Примерные вопросы: Полупроводники с точки зрения зонной теории твердых тел, носители заряда в собственном (беспримесном) полупроводнике, уровни Ферми, электропроводность полупроводников. Примеси и их влияние на свойства полупроводников, доноры и акцепторы, полупроводники n и p-типа. Контактные явления в полупроводниках, контакт Шоттки, омический контакт. p-n переход, вольтамперная характеристика p-n перехода. Ток генерации и ток рекомбинации, диод на p-n переходе. Воздействие света на полупроводник, фотопроводимость.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 12. Динамика электронов. Метод**

**эффективной массы. 3 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Элементарные возбуждения в полупроводнике, экситоны Ванье-Мотта, экситоны Френкеля, плазмоны. Полупроводниковые фотоприемники, фоторезисторы, фотодиоды. Биполярный транзистор, полевой транзистор

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 13. Диамагнетизм и парамагнетизм 5 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Классификация твердых тел по их магнитным свойствам: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики - физические проявления и причины. Диамагнетизм - классический и квантовый. Парамагнетизм - восприимчивость в классической и квантовой теории, феноменологическая теория ферромагнетизма, теория молекулярного поля.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 14. Ферромагнетизм 5 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Квантовая теория ферромагнетизма, спиновые волны - магноны. Статистика спиновых волн, намагниченность ферромагнетика при низких температурах.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 15. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм 5 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Антиферромагнетизм в приближении молекулярного поля, теория Нееля

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 16. Доменная структура 5 час.** Устный опрос, примерные вопросы: Ферромагнетизм, классическая теория Вейсса. Антиферромагнетизм, теория Нееля. Квантовая природа сильного магнетизма. спиновые волны в ферромагнетиках. Сверхпроводимость, ее проявления, типы сверхпроводников. Критическое магнитное поле. Магнитное упорядочение. Доменная структура. Стенки Блоха

## **5. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ** (и Онлайн курса при наличии)

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Общие требования к самостоятельной работе:

1. Должен быть в отдельной тетради, подписанный.
2. Обязательно писать план занятия с указанием темы, вопросов, списка литературы и источников.
3. Отражать проблематику всех поставленных вопросов (анализ источника, литературы).
4. Иметь по ним аргументированные выводы. Слово «аргументированные» является ключевым. Главное - доказуемость выводов.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;

- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы:

- Работа на семинарских занятиях.
- Зачет.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать

### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Дата/сроки выполнения	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
	Задания для самостоятельной работы к разделу 1.	2 неделя	5	Зачет
	Задания для самостоятельной работы к разделу 2.	4 неделя	5	Зачет
	Задания для самостоятельной работы к разделу 3.	6 неделя	6	Зачет
	Задания для самостоятельной работы к разделу 4.	8 неделя	6	Зачет

### Задания для самостоятельной работы к разделу 1.

Подготовка вопросов к зачету: Элементарная ячейка и её свойства. Простые и сложные кристаллические решетки. Преобразования симметрии. Точечные группы. Кристаллические сингонии. Решетки Браве. Пространственные группы. Прямая и обратная решетка кристалла.

### **Задания для самостоятельной работы к разделу 2.**

Подготовка вопросов к зачету: Теорема Блоха. Адиабатическое приближение. Природа сил притяжения в кристаллической решетке. Природа сил отталкивания в кристаллической решетке. Колебания атомов в простой одномерной решетке. Колебания атомов в сложной одномерной решетке.

### **Задания для самостоятельной работы к разделу 3.**

Циклические условия Борна-Кармана. Нормальные координаты для одномерной решетки. Фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Уравнение состояния твердого тела

### **Задания для самостоятельной работы к разделу 4.**

Подготовка вопросов к зачету: Ферромагнетизм. Антиферромагнетизм. Ферримагнетизм. Доменные стенки. Квантовая природа сильного магнетизма. спиновые волны в ферромагнетиках. Теория Нееля.

## 6. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел № 1, Описание кристаллического состояния	ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №1-4
	Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния				
	Раздел № 2, Упругие и тепловые свойства кристаллов	ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №4-8
			Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии		

			технологии в области теории конденсированного состояния		
			Владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния		
2	Раздел № 3, Электрические свойства кристаллов	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №8-13
			Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния		
			Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния		
3	Раздел № 4, Магнитные свойства кристаллов	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №12-17
			Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР,		

			готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния		
			Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния		

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие результаты обучения, представлены в Приложении

## 7. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

*(электронные и печатные издания)*

1. Физика конденсированного состояния. / В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук. — Минск : Белорусская наука, 2009. — 648 с. <https://www.iprbookshop.ru/11505.html>
2. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. Санкт-Петербург: Лань, 2010, 218 с <https://reader.lanbook.com/book/262>
3. Цвелик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2004. - 320 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2714](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2714)

### Дополнительная литература

*(печатные и электронные издания)*

1. Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-2379-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/90003>
2. Физика конденсированного состояния в примерах и задачах : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 04.03.02 «Химия, физика и механика материалов» / В. Н. Белко, Е. А. Тутов, А. И. Никишина, А. В. Абрамов. — Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 79 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/72951.html> (дата обращения: 03.03.2023).
3. Черевко, А. Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойств : учебное пособие / А. Г. Черевко. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/69566.html>

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет»**



1. Электронный каталог учебной литературы <https://www.iprbookshop.ru/>
2. Библиотека ДВФУ <https://lib.dvfu.ru/>
3. Каталог издательства научной литературы «Лань» <https://e.lanbook.com/book>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

Не применяется в рамках курса.

## **8.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его.

Методические указания по сдаче зачета.

Зачеты принимаются ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора филиала по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины.

Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Зачетные ведомости являются основными первичными документами по учету успеваемости студентов. Администраторы образовательных программ до начала процедуры приема зачетов и экзаменов формируют зачетно-экзаменационные ведомости.

Преподаватель заполняет соответствующие графы зачетной книжки студента, а именно: название дисциплины записывается полностью, без сокращений, в соответствии с учебным планом, также указывается фамилия преподавателя, оценка, дата, подпись, трудоемкость дисциплины, указанная в зачетно-экзаменационной ведомости или листе.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливаются оценки: по зачетам: «зачтено» и «не зачтено».

В экзаменационную ведомость вносятся только положительные оценки, неудовлетворительные оценки вносятся только в экзаменационную ведомость. При заполнении ведомости не допускаются прочерки или незаполненные графы. Неявка студента на зачет без уважительной причины может быть засчитана как получение неудовлетворительной оценки, при этом в ведомости делается запись «не явился».

Оценки, выставленные экзаменатором по итогам зачетов, не подлежат пересмотру.

Студент, не согласный с выставленной оценкой, имеет право в течение следующего рабочего дня подать заявление, согласованное с руководителем ООП, на имя директора Института (филиала) с просьбой о пересдаче экзамена комиссии. В случае обоснованности поданного заявления директор Института создает комиссию в составе не менее 3 профильных преподавателей по соответствующей кафедре. Оценка, полученная студентом во время пересдачи экзамена комиссии, является окончательной.

Студент должен изучить основные типы конденсированных сред, классификацию кристаллических решеток, кристаллические сингонии, пространственные группы кристалла; основные приближения зонной теории кристаллов, особенности энергетического спектра электрона в кристалле, понятие эффективной массы, классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории;

Рассмотреть особенности классического и квантово-механического описания электронного газа, основные термодинамические и кинетические характеристики и электромагнитные свойства электронного газа в полупроводниках и металле; методы описания динамики решетки, основные типы колебаний решетки, оптические и акустические фононы и их свойства; -методы описания и механизмы взаимодействия электрического и магнитного полей с решеткой; физическую теорию магнетизма, основные типы магнетиков. В результате изучения дисциплины студент должен уметь осуществлять методологическое обоснование научного исследования; использовать в исследовательской работе современные научные методы рассчитывать кинетические и термодинамические характеристики квантового электронного газа; находить спектр локализованных состояний методами теории возмущений. **Студент должен овладеть** принципами расчета кинетических и термодинамических характеристик твердого тела; методами расчета колебаний атомной решетки; описывать электронные состояния в конденсированных средах; методами использующие представление

вторичного квантования; методами квантовой механики в приложении к задачам физики конденсированных состояний.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о.Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы <sup>1</sup>	Оснащенность специальных помещений и помещений для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:		
D208/347, D303, D313а, D401, D453, D461, D518, D708, D709, D758, D761, D762, D765, D766, D771, D917, D918, D920, D925, D576, D807	Лекционная аудитория оборудована маркерной доской, аудиопроигрывателем	ЗДЕСЬ ДОПОЛНИТСЯ ЛИЦЕНЗИОННЫМ ПО
D229, D304, D306, D349, D350, D351, D352, D353, D403, D404, D405, D414, D434, D435, D453, D503, D504, D517, D522, D577, D578, D579, D580, D602, D603, D657, D658, D702, D704, D705, D707, D721, D722, D723, D735, D736, D764, D769, D770, D773, D810, D811, D906, D914, D921, D922, D923, D924, D926	2 этаж, пом № 135, Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления	
D207/346	Мультимедийная аудитория: Проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема	

<sup>1</sup> В соответствии с п.4.3. ФГОС

	аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления),	
D226	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления), D362 (профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; Компьютерный класс на 15 посадочных мест	
D447, D448, D449, D450, D451, D452, D502, D575	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления	
D446, D604, D656, D659, D737, D808, D809, D812	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс; Рабочее место: Компьютеры (Твердотельный диск - объемом 128 ГБ; Жесткий диск - объем 1000 ГБ; Форм-фактор – Tower); комплектуется клавиатурой, мышью. Монитором AOC i2757Fm; комплектом шнуров эл. питания) Модель - M93p 1; Лингафонный класс, компьютеры оснащены программным комплексом Sanako study 1200	
D501, D601	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс на 26 рабочих мест. Рабочее место: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK	
Помещения для самостоятельной работы:		
A1042 аудитория для самостоятельной работы студентов	Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.; Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox; Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C; Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS Оборудование для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья: Дисплей Брайля	Microsoft Windows 7 Pro MAGic 12.0 Pro, Jaws for Windows 15.0 Pro, Open book 9.0, Duxbury BrailleTranslator, Dolphin Guide (контракт № А238-14/2); Неисключительные права на использование ПО Microsoft рабочих станций пользователей (контракт ЭА-261-18 от

	<p>Focus-40 Blue – 3 шт.; Дисплей Брайля Focus-80 Blue; Рабочая станция Lenovo ThinkCentre E73z – 3 шт.; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой; Устройство портативное для чтения плоскопечатных текстов PEarl; Сканирующая и читающая машина для незрячих и слабовидящих пользователей SARA; Принтер Брайля Emprint SpotDot - 2 шт.; Принтер Брайля Everest - D V4; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Видео увеличитель Topaz 24" XL стационарный электронный; Обучающая система для детей тактильно-речевая, либо для людей с ограниченными возможностями здоровья; Увеличитель ручной видео RUBY портативный – 2 шт.; Экран Samsung S23C200B; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой.</p>	<p>02.08.2018): - лицензия на клиентскую операционную систему; - лицензия на пакет офисных продуктов для работы с документами включая формат.docx , .xlsx , .vsd , .ppt.; - лицензия на право подключения пользователя к серверным операционным системам , используемым в ДВФУ : Microsoft Windows Server 2008/2012; - лицензия на право подключения к серверу Microsoft Exchange Server Enterprise; - лицензия на право подключения к внутренней информационной системе документооборота и порталу с возможностью поиска информации во множестве удаленных и локальных хранилищах, ресурсах, библиотеках информации, включая порталные хранилища, используемой в ДВФУ: Microsoft SharePoint; - лицензия на право подключения к системе централизованного управления рабочими станциями, используемой в ДВФУ: Microsoft System Center.</p>
--	---	--

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств представлены в приложении.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ФИЛИАЛ)**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Физика конденсированного состояния»**  
**Программа бакалавриата**  
**по направлению подготовки 03.03.02 Физика,**  
**профиль «Цифровые технологии в физике»**

**Владивосток**  
**2022**

**Перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины / модуля**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел № 1, Описание кристаллического состояния	ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №1-4
			Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния		
			Владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния		
	Раздел № 2, Упругие и тепловые свойства кристаллов	ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии	Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №4-8
			Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную		

			приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния		
			Владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния		
2	Раздел № 3, Электрические свойства кристаллов	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №8-13
			Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния		
			Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния		
3	Раздел № 4, Магнитные свойства кристаллов	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	УО-1 Собеседование	Зачет Вопросы №12-17



		планов и программ отдельных этапов НИР	<p>Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния</p> <p>Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния</p>		
--	--	--	---	--	--

### Оценочные средства для текущего контроля

Вопросы для собеседования:

1. Кристаллические решетки. Трансляции. Операции симметрии. Базис. Примитивные ячейки. Основные типы кристаллических решеток. Двухмерны и трехмерные кристаллические решетки.
2. Дифракция в кристаллах и обратная решетка. Дифракционные методы. Обратная решетка кристалла. Свойства векторов обратной решетки. Объем обратной решетки. Индексы Миллера. Зоны Бриллюэна.
3. Типы связей в кристаллах. Силы Ван-дер-Ваальса – Лондона. Взаимодействие в ионных, ковалентных, металлических кристаллах и кристаллах с водородными связями. Атомные радиусы.
4. Упругие деформации. Тензоры деформаций и напряжений. Упругие волны в кубических кристаллах.
5. Фононы и колебания решетки. Импульс фонона. Неупругое рассеяние фотонов и нейтронов на фононах. Колебания в решетке из одинаковых атомов (двух атомов). Зона Бриллюэна. Групповая скорость.
6. Квантовая теория колебаний атомов в решетке. Функция Гамильтона для тепловых колебаний атомов в одномерной решетке. Обобщенные координаты и импульс. Гамильтониан трехмерной решетки. Операторы рождения и уничтожения фононов.
7. Теплоемкость кристаллов. Распределение фононов по энергиям. Плотность состояний. Теории теплоемкости Эйнштейна и Дебая.
8. Теплопроводность кристаллов. Тепловое расширение. Теплопроводность и процессы переброса. Дефекты решетки.

9. Модель свободных электронов. Энергия и плотность состояний электронов в одномерном кристалле. Температурная зависимость распределения электронов по энергиям. Энергия Ферми. Электронный газ Ферми в трехмерной решетке. Средняя энергия и теплоемкость электронного газа Ферми. Электропроводность. Теплопроводность.
10. Движение электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Граничные условия Борна- Кармана. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми.
11. Приближение слабо связанных электронов. Задача о движении электрона в слабом периодическом поле решетки. Энергетические зоны и волновые функции электронов в одномерном и трехмерном кристаллах.
12. Приближение сильно связанных электронов. Задача о движении электрона, сильно связанного со своим атомом. Функции Ванье. Изоэнергетические поверхности. Расщепление энергетических уровней.
13. Динамика электронов. Метод эффективной массы. Задача о движении электрона во внешнем электромагнитном поле. Эффективная масса электронов в кристалле. Циклотронный резонанс. Эффект де Хааза-ван Альфена.
14. Диамагнетизм и парамагнетизм. Диамагнетизм атомов и молекул. Формула Ланжевена для диамагнетика, для парамагнетика. Квантовая теория парамагнетизма.
15. Ферромагнетизм. Ферромагнитный порядок. Обменная энергия и температура Кюри. Спиновые волны. Магноны.
16. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Магнитная структура антиферромагнетика и ферримагнетика. Критическая точка и магнитная восприимчивость.
17. Доменная структура. Домены. Доменные границы. Петля гистерезиса.

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации			
		Не зачтено		Зачтено	Отлично
ПК -2.1 Применяет методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований,	Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в	Не знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния		Знает методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	

современную приборную базу и информационные технологии	области теории конденсированного состояния		
	Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	Не умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	Умеет применять методы научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния
	Владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	Не владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния	Владеет навыками применения методов научных экспериментальных и теоретических физических исследований, современную приборную базу и информационные технологии в области теории конденсированного состояния
ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	Не знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	Знает, как планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния
	Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы	Не умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных	Умеет планировать отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных

	документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	этапов НИР в области физики конденсированного состояния	этапов НИР в области физики конденсированного состояния
	Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	Не владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния	Владеет навыками проведения отдельных стадий исследования, составлять общий план НИР, готовить элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР в области физики конденсированного состояния

#### Вопросы к зачету

- 1. Кристаллические решетки.** Трансляции. Операции симметрии. Базис. Примитивные ячейки. Основные типы кристаллических решеток. Двухмерны и трехмерные кристаллические решетки.
- 2. Дифракция в кристаллах и обратная решетка.** Дифракционные методы. Обратная решетка кристалла. Свойства векторов обратной решетки. Объем обратной решетки. Индексы Миллера. Зоны Бриллюэна.
- 3. Типы связей в кристаллах.** Силы Ван-дер-Ваальса – Лондона. Взаимодействие в ионных, ковалентных, металлических кристаллах и кристаллах с водородными связями. Атомные радиусы.
- 4. Упругие деформации.** Тензоры деформаций и напряжений. Упругие волны в кубических кристаллах.
- 5. Фононы и колебания решетки.** Импульс фонона. Неупругое рассеяние фотонов и нейтронов на фононах. Колебания в решетке из одинаковых атомов (двух атомов). Зона Бриллюэна. Групповая скорость.
- 6. Квантовая теория колебаний атомов в решетке.** Функция Гамильтона для тепловых колебаний атомов в одномерной решетке. Обобщенные координаты и импульс. Гамильтониан трехмерной решетки. Операторы рождения и уничтожения фононов.

7. **Теплоемкость кристаллов.** Распределение фононов по энергиям. Плотность состояний. Теории теплоемкости Эйнштейна и Дебая.
8. **Теплопроводность кристаллов.** Тепловое расширение. Теплопроводность и процессы переброса. Дефекты решетки.
9. **Модель свободных электронов.** Энергия и плотность состояний электронов в одномерном кристалле. Температурная зависимость распределения электронов по энергиям. Энергия Ферми. Электронный газ Ферми в трехмерной решетке. Средняя энергия и теплоемкость электронного газа Ферми. Электропроводность. Теплопроводность.
10. **Движение электрона в периодическом поле кристалла.** Теорема Блоха. Граничные условия Борна- Кармана. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми.
11. **Приближение слабо связанных электронов.** Задача о движении электрона в слабом периодическом поле решетки. Энергетические зоны и волновые функции электронов в одномерном и трехмерном кристаллах.
12. **Приближение сильно связанных электронов.** Задача о движении электрона, сильно связанного со своим атомом. Функции Ванье. Изоэнергетические поверхности. Расщепление энергетических уровней.
13. **Динамика электронов. Метод эффективной массы.** Задача о движении электрона во внешнем электромагнитном поле. Эффективная масса электронов в кристалле. Циклотронный резонанс. Эффект де Хааза-ван Альфена.
14. **Диамагнетизм и парамагнетизм.** Диамагнетизм атомов и молекул. Формула Ланжевена для диамагнетика, для парамагнетика. Квантовая теория парамагнетизма.
15. **Ферромагнетизм.** Ферромагнитный порядок. Обменная энергия и температура Кюри. Спиновые волны. Магноны.
16. **Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.** Магнитная структура антиферромагнетика и ферримагнетика. Критическая точка и магнитная восприимчивость.
17. **Доменная структура.** Домены. Доменные границы. Петля гистерезиса.

## **Заключение работодателя на ФОС (ОМ)**